



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**TEMA:**

---

**“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y  
MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS  
HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA  
DE TUNGURAHUA”**

---

**AUTOR:** HUGO RODRIGO VILEMA PEÑA

**TUTOR:** ING. MG. FAVIO PAÚL PORTILLA YANDÚN

**Ambato - Ecuador**

**Agosto -2020**

## CERTIFICACIÓN

Yo, Favio Portilla, en mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación certifico que el presente trabajo: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** realizado por el Señor Hugo Rodrigo Vilema Peña, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera profesional e inédito que reúne los requisitos para ser sometido a evaluación.

Ambato, agosto 2020



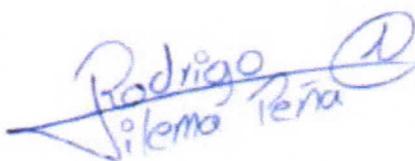
Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

**TUTOR**

## AUTORÍA

Yo, Hugo Rodrigo Vilema Peña con C.I. 160048273-9, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** es de mi autoría.

Ambato, agosto 2020



---

Hugo Rodrigo Vilema Peña

C.I. 1600482739

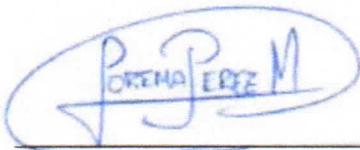
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

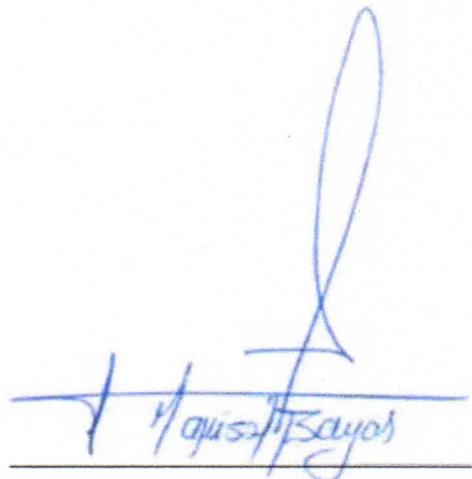
Los suscritos miembros del tribunal calificador, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el Tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** del egresado Hugo Rodrigo Vilema Peña, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2020

Por constancia firman,



Ing. Mg. Lorena Pérez Maldonado



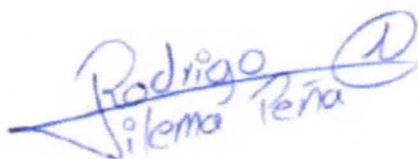
Ing. Mg. Marisol Bayas Altamirano

## **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 Trabajo Experimental, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto del 2020



---

Hugo Rodrigo Vilema Peña

C.I. 1600482739

**AUTOR**

## **DEDICATORIA**

*A Dios como agradecimiento por todas las bendiciones derramadas sobre mí.*

*A mis padres Mario Vilema y Rosa Peña como recompensa a todo el esfuerzo para brindarme la educación y por la confianza puesta en mí.*

*A mi abuelita Blanca Guevara en gratitud de su confianza y apoyo.*

*A mis sobrinos Elian y Rosalinda por ser el motivo de alegría de la familia.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por cuidarme y bendecirme a lo largo de toda mi vida.*

*A mis padres Mario Vilema y Rosa Peña por el cuidado y amor brindados a lo largo de mi vida. Un agradecimiento muy especial a mi madre que es un pilar fundamental en mi vida y siempre ha estado para apoyarme incondicionalmente, por su trabajo incansable, su fortaleza, por eso y mucho más posee mi gratitud eterna.*

*A mi abuelita Blanca Guevara por siempre considerarme como un hijo y por su apoyo a lo largo de toda la carrera.*

*A mis hermanas Andrea y Samantha con quienes he compartido los mejores años de mi vida, les agradezco por su cariño incondicional.*

*A mis sobrinos Elian y Rosalinda por llenarme de alegría cada día y brindarme la dicha de verlos crecer.*

*A mi tutor Favio Portilla por el tiempo y los conocimientos impartidos.*

*A mi novia Vanessa por el amor, la confianza, la paciencia y la compañía en los buenos y malos momentos además de ser mi compañera y colaboradora incondicional en este trabajo de titulación.*

*A mis amigos y compañeros de carrera: Farit, Diego, Braulio, Fabricio y José Luis con quienes compartí y aprendí a lo largo de esta etapa. A mis amigos Darwin, Sebastián y Jonnathan compañeros a la largo de mi vida universitaria.*

*A todos mis familiares que me han brindado su apoyo durante este trayecto.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xix
ABSTRACT .....	xx
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1.    Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1.    Antecedentes .....	1
1.1.2.    Justificación .....	3
1.1.3.    Fundamentación Teórica .....	4
1.1.3.1.    Suelo .....	4
1.1.3.2.    Suelos Cohesivos .....	5
1.1.3.3.    Suelos Granulares .....	6
1.1.3.4.    Cangahua .....	6
1.1.3.5.    Clasificación de Suelos .....	7
1.1.3.5.1.    Sistema de Clasificación AASHTO .....	7
1.1.3.5.2.    Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	9
1.1.3.6.    Propiedades Índice .....	11
1.1.3.6.1.    Contenido de Humedad (W%) .....	11
1.1.3.6.2.    Densidad de Campo .....	12
1.1.3.6.3.    Relación de Vacíos .....	12
1.1.3.6.4.    Porosidad .....	13
1.1.3.6.5.    Grado de Saturación de Agua .....	13
1.1.3.6.6.    Grado de Saturación del Aire .....	13
1.1.3.6.7.    Gravedad Específica .....	13

1.1.3.6.8.	Granulometría .....	14
1.1.3.6.9.	Límite Líquido (LL) .....	16
1.1.3.6.10.	Límite Plástico (LP).....	17
1.1.3.6.11.	Índice Plástico (IP).....	18
1.1.3.7.	Propiedades Mecánicas .....	18
1.1.3.7.1.	Resistencia al Corte .....	18
1.1.3.7.2.	Consolidación y Capacidad de Carga .....	19
1.1.3.7.3.	Permeabilidad.....	19
1.1.3.7.4.	Compactación del Suelo .....	20
1.1.3.7.5.	California Bearing Ratio (CBR).....	23
1.1.3.7.6.	Dinamic Cone Penetrometer (DCP) .....	25
1.1.3.8.	Correlaciones existentes entre el CBR .....	28
1.1.3.9.	Teoría de la Correlación y la Regresión.....	30
1.1.3.9.1.	Regresión.....	30
1.1.3.9.2.	Correlación.....	34
1.1.3.9.3.	Correlación Múltiple .....	37
1.1.3.10.	Análisis de Tráfico .....	40
1.1.3.10.1.	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	40
1.1.3.10.2.	Método de la Treintava Hora.....	41
1.1.3.10.3.	Tráfico Futuro (Tf).....	43
1.1.3.10.4.	Factor de Daño (Fd).....	45
1.1.3.10.5.	Ejes Equivalentes (W18) .....	45
1.1.3.11.	Diseño de Pavimento Flexible Método AASHTO 93.....	46
1.1.3.11.1.	Período de Diseño .....	47
1.1.3.11.2.	Confiabilidad (R) .....	47
1.1.3.11.3.	Desviación Estándar Normal (Zr) .....	48
1.1.3.11.4.	Desviación Estándar Global.....	48
1.1.3.11.5.	Pérdida de Serviciabilidad .....	49
1.1.3.11.6.	Módulo de Resiliencia (M <sub>R</sub> ) .....	50
1.1.3.11.7.	Coefficientes Estructurales y Módulos de Elasticidad .....	51
1.1.3.11.8.	Coefficientes de Drenaje (m <sub>2</sub> , m <sub>3</sub> ) .....	53
1.1.3.11.9.	Números estructurales y espesores por capa .....	54
1.1.3.11.10.	Espesores mínimos requeridos.....	56

1.1.4.	<b>Hipótesis</b> .....	57
1.1.4.1.	<b>Hipótesis nula</b> .....	57
1.1.4.2.	<b>Hipótesis alternativa</b> .....	57
1.2.	<b>Objetivos</b> .....	57
1.2.1.	<b>Objetivo General</b> .....	57
1.2.2.	<b>Objetivos Específicos</b> .....	58
	<b>CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.</b> .....	59
2.1.	<b>Materiales y Equipos</b> .....	63
2.2.	<b>Métodos</b> .....	64
2.2.1.	<b>Plan de Recolección de Datos</b> .....	64
2.2.2.	<b>Plan de Procesamiento y Análisis de Información.</b> .....	69
	<b>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	75
3.1.	<b>Análisis y discusión de los resultados</b> .....	75
3.1.1.	<b>Características Generales de los suelos estudiados</b> .....	75
3.1.2.	<b>Propiedades del Suelo</b> .....	77
3.1.3.	<b>Correlaciones</b> .....	81
3.1.3.1.	<b>Resumen de Correlaciones realizadas</b> .....	81
3.1.3.2.	<b>Análisis de Correlaciones</b> .....	82
3.1.4.	<b>Conteo manual de tráfico</b> .....	112
3.1.5.	<b>Diseño de Pavimento Flexible</b> .....	118
3.1.5.1.	<b>Diseño 1</b> .....	118
3.1.5.2.	<b>Diseño 2</b> .....	124
3.1.5.3.	<b>Diseño 3</b> .....	127
3.1.5.4.	<b>Diseño 4</b> .....	129
3.2.	<b>Verificación de Hipótesis</b> .....	133
	<b>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	134
4.1.	<b>Conclusiones</b> .....	134
4.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	136
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	137
	<b>ANEXOS</b> .....	140
	<b>Anexo A: Fotografías)</b> .....	140
	<b>Anexo B: Ensayos</b> .....	144
	<b>Huachi Grande – San José</b> .....	144
	<b>Huachi Grande – La Florida</b> .....	163
	<b>Huachi Grande – El Porvenir</b> .....	182

<b>Santa Rosa – El Quinche .....</b>	<b>202</b>
<b>Santa Rosa – Las Lajas.....</b>	<b>220</b>
<b>Santa Rosa – El Tropezón.....</b>	<b>239</b>
<b>Anexo C (Correlaciones).....</b>	<b>258</b>
<b>Anexo D (Conteo de Tráfico).....</b>	<b>264</b>
<b>Anexo E (Diseño de Pavimento) .....</b>	<b>268</b>
<b>Diseño 1 .....</b>	<b>268</b>
<b>Diseño 2.....</b>	<b>269</b>
<b>Diseño 3.....</b>	<b>270</b>
<b>Diseño 4.....</b>	<b>271</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Meteorización química de los minerales que comúnmente forman las rocas	5
Tabla 2. Definiciones del tamaño de las partículas.....	7
Tabla 3. Sistema AASHTO.....	8
Tabla 4. Sistema SUCS.....	10
Tabla 5. Rango de Tamices utilizado comúnmente para el análisis del tamaño de las partículas.....	14
Tabla 6. Especificaciones de Ensayos de Compactación.....	22
Tabla 7. Valor de carga unitaria patrón.....	23
Tabla 8. Clasificación del material en función del CBR.....	25
Tabla 9. Tolerancias del equipo DCP.....	26
Tabla 10. Expresiones para correlacionar el DCP con otras propiedades.....	29
Tabla 11. Tipos de Curvas de Aproximación.....	32
Tabla 12. Tipos de Funciones Matemáticas.....	32
Tabla 13. Rangos de confiabilidad de la correlación.....	37
Tabla 14. Conteo horario de vehículos en un año.....	41
Tabla 15. Tasa de crecimiento vehicular.....	45
Tabla 16. Factor de Distribución por Carril.....	46
Tabla 17. Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera.....	47
Tabla 18. Niveles de Confiabilidad recomendados por AASHTO.....	47
Tabla 19. Valores de ZR en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad	48
Tabla 20. Valores recomendados para Desviación Estándar (So).....	49
Tabla 21. Calificación de los Índices de Serviciabilidad.....	49
Tabla 22. Correlaciones entre el CBR y el Módulo de Resiliencia.....	50
Tabla 23. Calidad del drenaje.....	54
Tabla 24. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	54
Tabla 25. Espesores mínimos de Carpeta asfáltica y Base Granular, en función del número de ejes equivalentes.....	57
Tabla 26. Zonas de Estudio del Macro Proyecto.....	60
Tabla 27. Ubicación Georreferenciada de las muestras extraídas.....	61
Tabla 28. Materiales y Equipos necesarios para los ensayos.....	63
Tabla 29. Plan de recolección de datos.....	64
Tabla 30. Resumen de las propiedades de los suelos ensayados.....	78
Tabla 31. Correlaciones entre propiedades índice, mecánicas y CBR.....	81
Tabla 32. Tráfico de hora de mayor tránsito.....	113
Tabla 33. Tráfico actual en la vía Santa Rosa – El Quinche.....	114
Tabla 34. Factor de daño según del tipo de Vehículo MTOP.....	115
Tabla 35. Humedad in situ y Granulometría Pozo 1.....	145
Tabla 36. Humedad in situ y Granulometría Pozo 2.....	146
Tabla 37. Densidad de Campo Pozo 1.....	147
Tabla 38. Densidad de Campo Pozo 2.....	148
Tabla 39. Límite Líquido y Plástico Pozo 1.....	149

Tabla 40. Límite Líquido y Plástico Pozo 2.....	150
Tabla 41. Gravedad Específica Pozo 1 .....	151
Tabla 42. Gravedad Específica Pozo 2 .....	152
Tabla 43. DCP Pozo 1.....	153
Tabla 44. DCP Pozo 2.....	154
Tabla 45. Proctor Pozo 1 .....	155
Tabla 46. Proctor Pozo 2.....	156
Tabla 47. Compactación CBR Pozo 1.....	157
Tabla 48. Compactación CBR Pozo 2.....	158
Tabla 49. Ensayo CBR Pozo 1 .....	159
Tabla 50. Ensayo CBR Pozo 2.....	161
Tabla 51. Humedad in situ y Granulometría Pozo 3.....	163
Tabla 52. Humedad in situ y Granulometría Pozo 4.....	164
Tabla 53. Densidad de Campo Pozo 3 .....	165
Tabla 54. Densidad de Campo Pozo 4 .....	166
Tabla 55. Límite Líquido y Plástico Pozo 3.....	167
Tabla 56. Límite Líquido y Plástico Pozo 4.....	168
Tabla 57. Gravedad Específica Pozo 3 .....	169
Tabla 58. Gravedad Específica Pozo 4 .....	170
Tabla 59. DCP Pozo 3.....	171
Tabla 60. DCP Pozo 4.....	172
Tabla 61. Proctor Pozo 3.....	174
Tabla 62. Proctor Pozo 4.....	175
Tabla 63. Compactación CBR Pozo 3.....	176
Tabla 64. Compactación CBR Pozo 4.....	177
Tabla 65. Ensayo CBR Pozo 3.....	178
Tabla 66. Ensayo CBR Pozo 4.....	180
Tabla 67. Humedad in situ y Granulometría Pozo 5 .....	182
Tabla 68. Humedad in situ y Granulometría Pozo 6.....	183
Tabla 69. Densidad de Campo Pozo 5 .....	184
Tabla 70. Densidad de Campo Pozo 6 .....	185
Tabla 71. Límite Líquido y Plástico Pozo 5.....	186
Tabla 72. Límite Líquido y Plástico Pozo 6.....	187
Tabla 73. Gravedad Específica Pozo 5 .....	188
Tabla 74. Gravedad Específica Pozo 6 .....	189
Tabla 75. DCP Pozo 5.....	190
Tabla 76. DCP Pozo 6.....	192
Tabla 77. Proctor Pozo 5.....	194
Tabla 78. Proctor Pozo 6.....	195
Tabla 79. Compactación CBR Pozo 5.....	196
Tabla 80. Compactación CBR Pozo 6.....	197
Tabla 81. Ensayo CBR Pozo 5.....	198
Tabla 82. Ensayo CBR Pozo 6.....	200

Tabla 83. Humedad in situ y Granulometría Pozo 7 .....	202
Tabla 84. Humedad in situ y Granulometría Pozo 8 .....	203
Tabla 85. Densidad de Campo Pozo 7 .....	204
Tabla 86. Densidad de Campo Pozo 8 .....	205
Tabla 87. Límite Líquido y Plástico Pozo 7 .....	206
Tabla 88. Límite Líquido y Plástico Pozo 8 .....	207
Tabla 89. Gravedad Específica Pozo 7 .....	208
Tabla 90. Gravedad Específica Pozo 8 .....	209
Tabla 91. DCP Pozo 7 .....	210
Tabla 92. DCP Pozo 8 .....	211
Tabla 93. Proctor Pozo 7 .....	212
Tabla 94. Proctor Pozo 8 .....	213
Tabla 95. Compactación CBR Pozo 7 .....	214
Tabla 96. Compactación CBR Pozo 8 .....	215
Tabla 97. Ensayo CBR Pozo 7 .....	216
Tabla 98. Ensayo CBR Pozo 8 .....	218
Tabla 99. Humedad in situ y Granulometría Pozo 9 .....	220
Tabla 100. Humedad in situ y Granulometría Pozo 10 .....	221
Tabla 101. Densidad de Campo Pozo 9 .....	222
Tabla 102. Densidad de Campo Pozo 10 .....	223
Tabla 103. Límite Líquido y Plástico Pozo 9 .....	224
Tabla 104. Límite Líquido y Plástico Pozo 10 .....	225
Tabla 105. Gravedad Específica Pozo 9 .....	226
Tabla 106. Gravedad Específica Pozo 10 .....	227
Tabla 107. DCP Pozo 9 .....	228
Tabla 108. DCP Pozo 10 .....	229
Tabla 109. Proctor Pozo 9 .....	231
Tabla 110. Proctor Pozo 10 .....	232
Tabla 111. Compactación CBR Pozo 9 .....	233
Tabla 112. Compactación CBR Pozo 10 .....	234
Tabla 113. Ensayo CBR Pozo 9 .....	235
Tabla 114. Ensayo CBR Pozo 10 .....	237
Tabla 115. Humedad in situ y Granulometría Pozo 11 .....	239
Tabla 116. Humedad in situ y Granulometría Pozo 12 .....	240
Tabla 117. Densidad de Campo Pozo 11 .....	241
Tabla 118. Densidad de Campo Pozo 12 .....	242
Tabla 119. Límite Líquido y Plástico Pozo 11 .....	243
Tabla 120. Límite Líquido y Plástico Pozo 12 .....	244
Tabla 121. Gravedad Específica Pozo 11 .....	245
Tabla 122. Gravedad Específica Pozo 12 .....	246
Tabla 123. DCP Pozo 11 .....	247
Tabla 124. DCP Pozo 12 .....	248
Tabla 125. Proctor Pozo 11 .....	249

Tabla 126. Proctor Pozo 12.....	251
Tabla 127. Compactación CBR Pozo 11.....	252
Tabla 128. Compactación CBR Pozo 12.....	253
Tabla 129. Ensayo CBR Pozo 11.....	254
Tabla 130. Ensayo CBR Pozo 12.....	256
Tabla 131. Correlación Múltiple # 22.....	258
Tabla 132. Correlación Múltiple # 23.....	259
Tabla 133. Correlación Múltiple # 24.....	260
Tabla 134. Correlación Múltiple # 25.....	261
Tabla 135. Correlación Múltiple # 26.....	262
Tabla 136. Correlación Múltiple # 27.....	263
Tabla 137. Vehículos en el sentido Santa Rosa – El Quinche.....	265
Tabla 138. Vehículos en el sentido El Quinche – Santa Rosa.....	266
Tabla 139. Vehículos en la vía Santa Rosa – Quinche (ambos sentidos).....	267

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación Granulométrica según SUCS .....	9
Figura 2. Cubo Unitario .....	11
Figura 3. Ejemplos de curvas granulométricas .....	15
Figura 4. Modelo para determinación del LL .....	17
Figura 5. Equipo de Compactación.....	21
Figura 6. Curva de compactación Proctor Estándar (PE) y Modificado (PM) .....	21
Figura 7. Curvas de penetración “CBR” para distintos tipos de suelos .....	24
Figura 8. Equipo DCP .....	26
Figura 9. Curva DCP para una serie de valores .....	27
Figura 10. Curvas de diseño CBR.....	28
Figura 11. Curva de mejor ajuste por mínimos cuadrados.....	33
Figura 12. Diagrama de Dispersión .....	35
Figura 13. Curva de ajuste .....	35
Figura 14. Relación entre la hora pico y los volúmenes de tránsito medio diario en arterias rurales .....	42
Figura 15. Factor de Daño según el tipo de vehículo.....	45
Figura 16. Coeficiente estructural para capa asfáltica relacionado con varios ensayos .....	51
Figura 17. Coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes .....	52
Figura 18. Coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes .....	53
Figura 19. Programa .exe para determinación del SN .....	55
Figura 20. Espesores y número estructural por capa del pavimento.....	55
Figura 21. Tipos de suelo según SUCS y AASHTO para Huachi Grande .....	62
Figura 22. Tipos de suelo según SUCS y AASHTO para Santa Rosa.....	62
Figura 23. Realización del Pozo a Cielo Abierto.....	66
Figura 24. Realización de la Densidad de Campo .....	66
Figura 25. Peso del cono y la muestra extraída.....	66
Figura 26. Ensayo DCP.....	67
Figura 27. Ensayo Granulométrico .....	67
Figura 28. Ensayo de Límite Líquido .....	68
Figura 29. Ensayo de Límite Líquido .....	68
Figura 30. Ensayo de Gravedad Específica.....	68
Figura 31. Ensayo Proctor.....	69
Figura 32. Ensayo CBR.....	69
Figura 33. Herramienta Análisis de Datos - Regresión.....	71
Figura 34. Rango Granulométrico de los suelos ensayados.....	80
Figura 35. Representación de los suelos ensayados en la Carta de Plasticidad .....	80
Figura 36. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico .....	82
Figura 37. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación del Agua.....	83

Figura 38. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación del Aire .....	84
Figura 39. Correlación Límite Líquido vs Densidad Seca Máxima.....	85
Figura 40. Correlación Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima.....	86
Figura 41. Correlación Límite Plástico vs Densidad Húmeda In Situ .....	87
Figura 42. Correlación Densidad Húmeda In Situ vs Grado de Compactación.....	88
Figura 43. Correlación Densidad Seca In Situ vs Grado de Compactación.....	89
Figura 44. Correlación Relación de Vacíos vs Grado de Compactación.....	90
Figura 45. Correlación Porosidad vs Grado de Compactación .....	91
Figura 46. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Densidad Seca Máxima.....	92
Figura 47. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Coeficiente de Curvatura....	93
Figura 48. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Tamaño Nominal Máximo .	94
Figura 49. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Tamaño Nominal Máximo .....	95
Figura 50. Correlación Límite Plástico vs Índice de Penetración .....	96
Figura 51. Límite Líquido vs Índice de Penetración.....	97
Figura 52. Correlación Humedad Óptima vs Índice de Penetración.....	98
Figura 53. Correlación Humedad Natural vs Índice de Penetración.....	99
Figura 54. Correlación CBR mayor vs Índice de Penetración.....	100
Figura 55. Correlación Densidad Seca Máxima vs CBR mayor.....	101
Figura 56. Correlación Humedad Óptima vs CBR mayor .....	102
Figura 57. Correlación Límite Líquido – Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima .....	103
Figura 58. Gráfica 3D Límite Líquido – Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima .....	104
Figura 59. Ubicación de las muestras en la Correlación 3D.....	104
Figura 60. Correlación Límite Líquido- % Finos vs Densidad Seca Máxima.....	105
Figura 61. Gráfica 3D Límite Líquido – %Finos vs Densidad Seca Máxima .....	106
Figura 62. Correlación Límite Líquido – Humedad Óptima vs CBR mayor.....	106
Figura 63. Gráfica 3D Límite Líquido – Humedad Óptima vs CBR mayor.....	107
Figura 64. Correlación Densidad Seca In Situ – Humedad Óptima vs CBR mayor	108
Figura 65. Gráfica 3D Densidad Seca In Situ – Humedad Óptima vs CBR mayor.	109
Figura 66. Correlación Límite Líquido - %Finos vs CBR mayor.....	109
Figura 67. Gráfica 3D Límite Líquido – %Finos vs CBR mayor .....	110
Figura 68. Correlación Índice Plástico – Humedad Óptima vs CBR mayor .....	111
Figura 69. Gráfica 3D Índice Plástico – Humedad Óptima vs CBR mayor .....	112
Figura 70. Excavación de calicata.....	140
Figura 71. Toma de coordenadas .....	140
Figura 72. Ensayo de Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa).....	140
Figura 73. Ensayo DCP.....	141
Figura 74. Ensayo de Humedad in situ .....	141
Figura 75. Cribado de las muestras extraídas para su secado .....	141
Figura 76. Pesaje del suelo retenido en cada tamiz (Granulometría).....	142
Figura 77. Ensayo de Límite Líquido .....	142
Figura 78. Ensayo de Límite Plástico .....	142

Figura 79. Ensayo de Gravedad Específica.....	143
Figura 80. Ensayo de Compactación Proctor .....	143
Figura 81. Ensayo de Compactación CBR.....	143
Figura 82. Inmersión de moldes CBR.....	144
Figura 83. Medición de Esponjamiento de moldes CBR.....	144
Figura 84. Ensayo de Compresión CBR .....	144
Figura 85. Conteo de tráfico Vía Santa Rosa – El Quinche.....	264

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo es de carácter experimental y tuvo como finalidad establecer correlaciones confiables entre el CBR de laboratorio con las propiedades índice y mecánicas de suelos de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa. Las ecuaciones presentaron un coeficiente de correlación,  $r$ , mayor a 0,50 y se aplicaron para establecer el valor de CBR de una vía seleccionada en función de las propiedades del suelo en esa zona. Se diseñaron cuatro tipos de pavimentos flexibles que tuvieron como variaciones el valor de CBR de laboratorio y el CBR obtenido mediante las correlaciones, además de las consideraciones de un tráfico bajo y alto.

Se seleccionaron tres vías por parroquia para determinar dos puntos adyacentes a cada carretera, en lados opuestos o en el mismo sentido separados con un mínimo de 500 metros para realizar las calicatas correspondientes, dando un total de 12 muestras extraídas. Para los ensayos in situ se empleó el Cono Dinámico de Penetración (DCP) y el Cono y Arena de Ottawa para la Densidad en Campo. En laboratorio se realizó la Granulometría, los Límites de Atterberg, la determinación de la Gravedad Específica, el Ensayo de Compactación para Proctor Modificado “B” y el ensayo de CBR.

Una vez procesados los datos de los ensayos de cada muestra, se correlacionaron con Excel mediante métodos estadísticos, para establecer que existe asociación entre el CBR de laboratorio con las propiedades índice y mecánicas, debido a que los espesores de diseño no variaron empleando el CBR de laboratorio o el obtenido mediante las ecuaciones.

## ABSTRACT

The present work is of an experimental nature and was intended to establish reliable correlations between the laboratory CBR with the index and mechanical properties of soils of Huachi Grande and Santa Rosa parishes. The presented equations a correlation coefficient,  $r$ , greater than 0.50 and were applied to establish the CBR value of a selected road based on the properties of the soil in that area. Four types of flexible pavements were designed, whose variations were the value of laboratory CBR and the CBR obtained through correlations, in addition to the considerations of low and high traffic.

Three roads were selected per parish to determine two points adjacent to each road, on opposite sides or in the same direction separated with a minimum of 500 meters to make the corresponding calicatas, giving a total of 12 samples taken. For in-situ tests, the Dynamic Penetration Cone (DCP) and the Ottawa Cone and Sand for Field Density were used. In the laboratory, Granulometry, Atterberg Limits, the Determination of Specific Gravity, the Compaction Test for Modified Proctor "B" and the CBR test were performed.

Once the test data of each sample was processed, they were correlated with Excel by statistical methods, to establish that there is an association between the laboratory CBR with the index and mechanical properties, because the design thicknesses did not vary using the CBR of laboratory or the one obtained through the equations.

## **CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1. Antecedentes**

En el año 2001 el Ing. Favio Paul Portilla Yandún junto con la Ing. Alejandra del Carmen Pillajo de la Cruz, realizaron un estudio donde se correlaciona el CBR (California Bearing Ratio) de laboratorio y el Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCP) de los suelos granulares del Ecuador para proponer una base de datos que facilite y optimice el proceso de determinación de la resistencia del suelo de la subrasante y su aplicación en el diseño de caminos vecinales. [1]

En 2016 en la Universidad Técnica de Ambato, Omar Guamán, correlaciona el CBR vs el Penetrómetro Cónico Estático determinando la probabilidad del 84.29% de que la Resistencia al corte de un suelo se pueda establecer mediante valores de CBR o viceversa. [2] En el mismo año la Ing. María Victoria Salazar Vaca determina la Resistencia al Corte del suelo, Contenido de Humedad y los Pesos Secos Unitarios de cada muestra mediante la correlación entre Proctor y CBR para establecer el uso que puede tener el suelo en la Parroquia de Ambatillo alto en el sector de San Pedro. [3]

El Ing. Andrés Oswaldo Manotoa Santana en 2016 correlaciona el DCP vs el CBR, en donde el análisis de la estructura del pavimento, con el CBR de Laboratorio, DCP y con la integración de ambos conceptos, permitió establecer diseños sostenibles, en base a la economía y calidad de los materiales. El Diseño Estructural de Pavimento con el CBR in situ y de laboratorio permitieron obtener un diseño estructural más eficiente.[4]

Una propuesta de la norma ASTM D 6951-03 es determinar el CBR de una subrasante mediante una expresión empírica. Para corroborar su aplicabilidad, la Universidad del Azuay (2018), determinó las propiedades físicas y mecánicas de un suelo en la ciudad de Cuenca mediante ensayos granulométricos, de plasticidad, compactación y CBR en condiciones sumergidas y no sumergidas para comparar el CBR calculado mediante la expresión y el CBR obtenido en laboratorio.[5]

En 2012 el Ing. Carlos Giovanni Fernández Paucar y la Ing. María Belén Suarez Galarza, nos demuestran que la correlación entre del DCP y CBR de laboratorio no se restringe únicamente a la estimación de las propiedades índice y mecánicas del suelo, también se puede estimar el Módulo de Reacción “K” en el diseño de pavimento rígido debido a que las variaciones que existen entre el ensayo y las correlaciones son pequeñas. [6]

Josué Bermúdez Sierra, Oswaldo Vásquez Sikaffy y Rigoberto Moncada López, en el año 2016, indica los resultados de la validación del DCP para encontrar un CBR in situ que se pueda comparar con un CBR de laboratorio, los datos obtenidos en campo y en laboratorio se aproximaron a la función indicada por la norma ASTM D 6951 comprobando que la fórmula establecida por ASTM D 6951 es válida y aplicable en los suelos de Tegucigalpa. [7]

Dado que el CBR in situ no se mide fácilmente, su predicción, a partir de las propiedades del suelo y pruebas simples como el DCP es una alternativa valiosa. La comparación de los valores medidos y pronosticados de CBR sin remojar y DCP indicó que existe una relación lineal muy buena de la resistencia del suelo medida con el factor de estado inicial del suelo como se describe mediante la combinación de densidad inicial seca, contenido de agua y relación de vacíos confirmando claramente la validez del proceso. [8]

Para el diseño de un pavimento flexible se requiere conocer la resistencia de la subrasante. Este valor se estima mediante el CBR, ensayo que evalúa la idoneidad de la subrasante y de los materiales empleados en la subbase y la base. El CBR es un estudio costoso que consume mucho tiempo, es difícil moldear en el laboratorio la muestra a la densidad in situ deseada. Como alternativa a estos problemas, se emplea el DCP para evaluar la resistencia in situ de la base del pavimento, subbase y materiales de subrasante. Los valores de CBR se obtienen en laboratorio y con ayuda del DCP, ambos valores se correlacionan para determinar el CBR convencional usando DCP en el campo, haciendo fácil obtener la fuerza de la subrasante a lo largo del camino. [9]

Existe gran cantidad de estudios entre el CBR y las propiedades del suelo, la mayoría de los antecedentes mencionados se han realizado en Ecuador, lo cual sirve como base de partida para determinar la correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades

índice y mecánicas de los suelos granulares de las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa.

### **1.1.2. Justificación**

El suelo posee propiedades que dependen del lugar y su composición, llegando a ser un conjunto con una distribución de partículas definidas que varían de forma vectorial. Las propiedades intrínsecas del suelo varían más rápida de forma vertical (estratos o perfiles) que de forma horizontal. [10]

Se puede definir al suelo como un material complejo en donde sus propiedades varían debido a la descomposición química o la desintegración mecánica. La normalización de ensayos en suelos ha permitido establecer métodos de uso internacional, para determinar las propiedades índice y mecánicas de los mismos. Existen obras cuya obtención de datos se vuelve repetitiva y tediosa, motivo por el cual se busca emplear correlaciones entre los métodos convencionales de campo y los ensayos de laboratorio que ofrezcan una estimación de resultados confiable. [11]

Para compactar el suelo de una manera apropiada se emplea los métodos Proctor. En suelos cohesivos y cenizas volantes, las propiedades mecánicas y la permeabilidad dependen del contenido de humedad y el grado de compactación máximo, mas no debe ser el único parámetro de estimación de la compactación del suelo. Por lo tanto, para tales suelos, se emplea el CBR como un indicador de la capacidad de carga del suelo. [12]

El CBR, es una prueba de resistencia arbitraria, que permite valorar la calidad de la sub rasante, base y sub base en los pavimentos. No se puede utilizar para evaluar las propiedades del suelo como la cohesión, el ángulo de fricción interna o resistencia de corte. El CBR en campo se obtiene de la correlación entre el ensayo del DCP con el CBR en laboratorio. La correlación de las dos variables ha dado lugar a una fórmula empírica definida por la norma ASTM D 6951 donde el DCP de campo se usa para encontrar un CBR de campo que se acerque lo más posible al CBR de laboratorio. [7]

El equipo DCP está diseñado para el rápido uso en pavimento y en zonas difíciles de ingresar. Una de las mecánicas del DCP es producir el valor de CBR en campo a través de mediciones del índice de penetración en suelos inalterados, optimizando el tiempo y la utilización de recursos humanos y materiales. [8]

Toda obra civil se relaciona con el suelo, al ser un material de construcción o como soporte de la estructura. Un ejemplo notable es el rendimiento de los pavimentos, que depende de la evaluación del tipo de suelo de subrasante, la resistencia de los agregados, en términos de densidad, desgaste y otros parámetros in situ, vitales para que el diseño pueda cumplir la vida útil propuesta. [13]

Con estos antecedentes el fin del Trabajo Experimental es obtener las correlaciones entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa y complementar el estudio macro de las propiedades de los suelos de las parroquias rurales del cantón Ambato, y que de esta manera la obtención del CBR sea más rápida y a un costo moderado, mediante la aplicación de correlaciones confiables.

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1. Suelo**

Se denomina suelo a toda concentración de partículas minerales u orgánicas íntimamente asociadas entre sí. [14]

El suelo se genera debido a la desintegración mecánica y a la descomposición química que sufre la corteza terrestre.

La desintegración mecánica hace referencia a todo tipo de agente físico como: exfoliación (sol), fricción (agua), erosión (viento), cambios de temperatura, congelación, que pueden llegar a formar gravas, arenas y limos. [10]

La descomposición química se trata de agentes que atacan la roca modificando su composición mineralógica o química generados principalmente por la oxidación, carbonatación o hidratación, también los efectos de plantas y organismos pueden llegar

a producir arcillas. [10]. En la Tabla 1. se resumen los minerales que componen la roca, su composición química y el suelo que producen.

Tabla 1. Meteorización química de los minerales que comúnmente forman las rocas

Mineral que forma la roca	Composición química	Susceptibilidad a la meteorización química	Suelo derivado principal
Cuarzo	Dióxido de Silicio	Altamente resistente	Grava, arena y partículas de limo
Ortosa	Alumino-silicatos de Potasio	Moderadamente susceptible	Partículas de mineral de arcilla de los grupos caolinita y la illita
Plagioclasa	Alumino-silicatos de Sodio y Calcio		Partículas de mineral de arcilla de los grupos de la montmorilonita y la illita
Mica	Alumino-silicatos de Potasio, Magnesio y Hierro		
Hornablenda	Silicatos, principalmente de Magnesio y Hierro		
Augita		Altamente susceptible	
Olivino			

Fuente: MECÁNICA DE SUELOS, pág. 3

Autor: Berry Peter y Reid David. [15]

### 1.1.3.2. Suelos Cohesivos

Se conocen igualmente como suelos finos, en los cuales dos de sus dimensiones son mayores al espesor (laminares) o el espesor es mayor a las otras dimensiones (aciculares). En estos suelos al eliminarse su contenido de humedad, mediante la aplicación de una carga se producen deformaciones y asentamientos considerables, además de contracciones volumétricas de un 75% hasta un 80%. [16]

Los suelos cohesivos se clasifican en:

- Limos (M)

Puede ser inorgánico, producto de la trituración de gravas, como a su vez puede ser orgánico (O) comúnmente encontrado en ríos. [14]

- Arcillas (C)

Pueden alcanzar un estado plástico al combinarse con agua, químicamente hablando son silicatos de aluminio, magnesio, hierro, sodio o potasio hidratados. [14]

#### **1.1.3.3. Suelos Granulares**

Presentan partículas, redondeadas, sub redondeadas debido al proceso erosivo, también pueden ser sub angulares con vértices limados y angulares con aristas agudas. Estos suelos son susceptibles al acomodo de sus partículas o su densificación por procesos de compactación, dependen de su módulo de compresibilidad y del ángulo de rozamiento interno entre partículas. [14]

#### **1.1.3.4. Cangahua**

Su término proviene del vocablo quechua “cangagua” cuyo significado es “tierra dura estéril”. Según los naturalistas Wolf (1892) y Sauer (1965) consideraban a la cangahua como una toba endurecida; es decir un material fino endurecido que asemeja su resistencia a la de una roca, de un color café amarillento, cuando no ha sido removida por el hombre o la naturaleza se la puede encontrar a una profundidad de entre 2 m a 5 m. [17]

La cangahua viene a ser el suelo volcánico endurecido, producto de flujos piroclásticos de los volcanes que se encuentran en el norte de la cuenca interandina. Se distribuye de acuerdo a una secuencia climática. Su dureza es muy intensa en las zonas secas y más baja en las zonas de mayor altitud, que son más sombrías. Los suelos con cangahua a menos de 20 cm de profundidad cubren aproximadamente 80,000 hectáreas. [18]

### 1.1.3.5. Clasificación de Suelos

Para clasificar el suelo se emplea el Límite Líquido e Índice Plástico además de un análisis granulométrico. Los rangos de clasificación pueden variar de acuerdo al método a emplearse como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Definiciones del tamaño de las partículas

Descripción de las partículas	Tamaño de partículas			
	Normas Británicas (BS 5930:1981)	AASHTO	ASTM	USCS
Grava	60 mm – 2 mm	75 mm - 2 mm	> 2 mm	75 mm – 4.75 mm
Arena	2 mm – 0.06 mm	2 mm – 0.05 mm	2 mm – 0.075 mm	4.75 mm – 0.075 mm
Limo	0.06 mm – 0.002 mm	0.05 mm – 0.002 mm	0.075 mm – 0.005 mm	< 0.075 mm finos
Arcilla	< 0.002 mm	< 0.002 mm	< 0.005 mm	

Fuente: MECÁNICA DE SUELOS, pág. 4  
Autor: Berry Peter y Reid David. [15]

#### 1.1.3.5.1. Sistema de Clasificación AASHTO

El método de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte Oficial clasifica al suelo en: material granular y material limo-arcillosos. El material granular se subdivide en 3 grupos (A-1, A-2 y A-3) mientras que la otra proporción puede subdividirse en 4 grupos (A-4, A-5, A-6 y A-7). Los grupos A-1, A-2 y A-7 se subdividen de acuerdo al porcentaje en el tamiz #200, el Índice de grupo, Límite Líquido e Índice de Plasticidad.

La clasificación se fundamenta en buscar la columna que cumpla con los requisitos del suelo de acuerdo a los valores de granulometría y los límites de consistencia, en el siguiente orden:

- 1) Porcentaje que pasa el Tamiz #200
- 2) Índice de Grupo (IG)
- 3) Porcentajes que pasan los tamices: #10, #40 y #200
- 4) Límite Líquido (LL)
- 5) Índice Plástico (IP)

La Tabla 3. detalla los parámetros para la clasificación AASHTO.

Tabla 3. Sistema AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULAR (35% o menos pasa el Tamiz #200)							MATERIALES LIMO-ARCILLOSO (más del 35% pasa el Tamiz #200)				
	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
<b>PORCENTAJES QUE PASAN POR LOS TAMICES</b>												
#10	≤ 50											
#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>												
LL			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP < LL=30)	> 41 (IP > LL=30)
IP	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
IG	0	0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20
TIPOS DE MATERIALES CONSTITUYENTES	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina		Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos	Suelos arcillosos			
CALIDAD DE LA SUBRASANTE	Excelente a Buena				Regular			Regular a Mala				

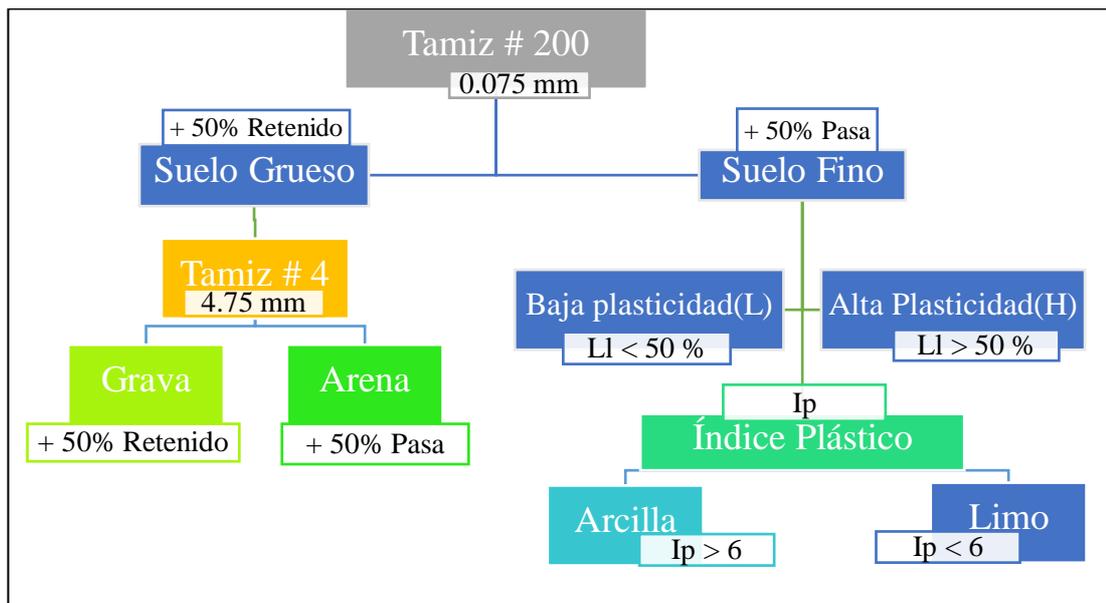
Fuente: AASHTO

### 1.1.3.5.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Este método divide al suelo en dos grupos dependiendo del porcentaje de muestra que pasa el Tamiz #200. Se determina Fino cuando más del 50% de la muestra pasa el tamiz #200 mientras que para considerar un suelo Grueso más del 50% de la muestra debe ser retenida en el Tamiz 200.

La Figura 1. muestra una clasificación resumida del método SUCS mientras que en la Tabla 4. se detalla la clasificación de un suelo de acuerdo al porcentaje granulométrico que pasa el tamiz No. 200. Si el suelo es grueso se clasifica de acuerdo a los valores de Coeficiente de uniformidad y curvatura que presente, mientras que si el suelo es de porción fina se determina su clasificación de acuerdo la ubicación en el gráfico de Plasticidad mediante su Límite Líquido e Índice Plástico.

Figura 1. Clasificación Granulométrica según SUCS



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 4. Sistema SUCS

DIVISIÓN PRINCIPAL		SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN			
Suelos de Granos Gruesos 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	Gravas limpias	GW Gravas bien graduadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	Clasificación basada en el porcentaje de finos * Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GW, GP, SW, SP * Más del 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC (5% a 12% pasa por el tamiz No. 200) Para clasificación de frontera se necesitan símbolos dobles	$Cu = D_{60}/D_{10}$ <span style="float: right;"><math>Cu &gt; 4</math></span> $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ <span style="float: right;"><math>1 &lt; Cc &lt; 3</math></span>		
		Gravas con finos	GP Gravas y mezclas de gravas y arenas mal graduadas con pocos finos o sin finos		Si los criterios para GW no se cumplen		
		Gravas con finos	GM Gravas limosas, mezclas de grava-arena y limo		Límites d Atterberg localizados bajo la línea "A" o $IP < 4$ Límites d Atterberg sobre la línea "A" e $IP > 7$	Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles	
			GC Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena y arcilla				
	ARENAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	Arenas limpias	SW Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o sin finos		Cu = $D_{60}/D_{10}$ <span style="float: right;"><math>Cu &gt; 6</math></span> Cc = $(D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ <span style="float: right;"><math>1 &lt; Cc &lt; 3</math></span>		
			SP Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o sin finos			Si no se cumple los criterios para SW	
		Arenas con finos	SM Arenas limosas, mezclas de arena limo			Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o $IP < 4$ Límites de Atterberg sobre la línea "A" e $IP > 7$	Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles
			SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla				
		Suelos de Granos Finos 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Líquido de Límite 50% o inferior			ML Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	
						CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad							
LIMOS Y ARCILLAS Líquido superior a 50%	MH Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos						
	CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas						
	OH Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media						
	PT Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos		Para la identificación visual y manual, véase ASTM D 2488				

Fuente: MECÁNICA DE SUELOS, pág. 42

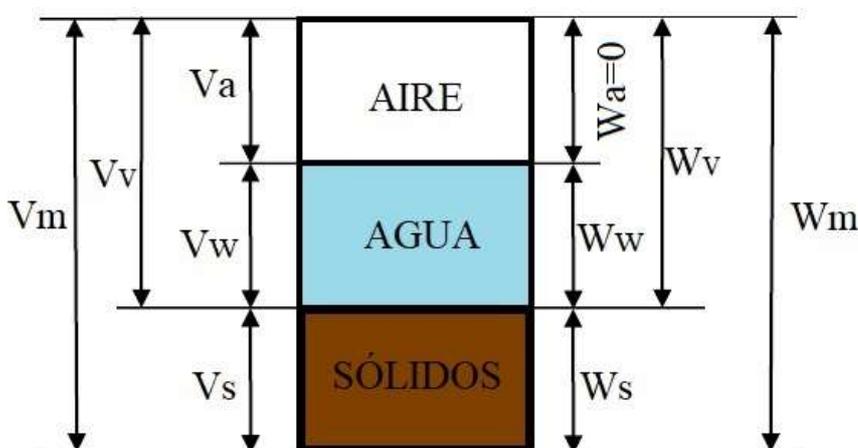
Autor: Berry Peter y Reid David. [15]

### 1.1.3.6. Propiedades Índice

Comúnmente el suelo es un cuerpo trifásico que se constituye por las partículas sólidas finas o gruesas, llenas de aire o agua.

Las propiedades índice se determinan a partir de las relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo. Para ello se idealiza un cubo unitario en donde se concibe de forma separada la fase gaseosa, líquida y sólida de la masa de suelo. La Figura 2. muestra los componentes del suelo viéndolo de forma utópica.

Figura 2. Cubo Unitario



Fuente: Hugo Vilema Peña

Donde:

$V_a$ = Volumen del aire.

$V_w$ = Volumen del agua.

$V_s$ = Volumen de los sólidos.

$V_m$ = Volumen de la masa o muestra de suelo.

$V_v$ = Volumen de vacíos.

$W_m$ = Peso de la masa o muestra de suelo.

$W_v$ = Peso de vacíos.

$W_a$ = Peso del aire.

$W_w$ = Peso del agua.

$W_s$ = Peso de los sólidos.

#### 1.1.3.6.1. Contenido de Humedad (W%)

Es la proporción de agua, determinada mediante la relación entre el peso del agua en una porción de suelo y su peso en estado seco. El valor teóricamente puede variar

desde 0 hasta más del 100% y por lo general se expresa de forma porcentual con la siguiente ecuación. [19]

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

Ec. 1

#### 1.1.3.6.2. Densidad de Campo

Se define a la densidad como la masa por unidad de volumen. Para determinar la Densidad de Campo se ha empleado el Cono y Arena de Ottawa, en donde el proceso da la masa y volumen de una muestra in situ para determinar su Densidad Húmeda, mientras que para la Densidad Seca se emplea el contenido de humedad in situ de la muestra. Se obtiene mediante las siguientes ecuaciones.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Ec. 2

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{(1 + W\%)}$$

Ec. 3

#### 1.1.3.6.3. Relación de Vacíos

Se conoce también como oquedad o índice de poros. Se obtiene al dividir el volumen de vacíos para el volumen de los sólidos de un suelo.

El cociente es un valor adimensional cuyos valores teóricos pueden variar desde 0 (compacto) hasta valores altos (espacio vacío). Valores bajos indican un suelo bien compactado mientras que los valores altos establecen un suelo suelto que puede ser altamente compresible. [10]

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

Ec. 4

#### 1.1.3.6.4. Porosidad

Producto de relacionar el volumen de vacíos para el volumen de masa de un suelo. Se expresa en forma porcentual, donde teóricamente los rangos varían desde 0 (suelo ideal completamente sólido) a 100 (espacio vacío). [10]

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

Ec. 5

#### 1.1.3.6.5. Grado de Saturación de Agua

La relación existente entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos, se expresa en forma porcentual. Varía de 0% (suelo seco) a 100% (suelo saturado). [10]

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

Ec. 6

#### 1.1.3.6.6. Grado de Saturación del Aire

La relación porcentual entre el volumen del aire y el volumen de los vacíos.

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

Ec. 7

#### 1.1.3.6.7. Gravedad Específica

El valor de Gravedad Específica se obtiene mediante la relación del peso al aire de un volumen de suelo con respecto al peso al aire de un volumen igual de agua sin aire a la misma temperatura. [14]

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\text{Peso específico de los sólidos del suelo}}{\text{Peso específico del agua}}$$

Ec. 8

### 1.1.3.6.8. Granulometría

Consiste en tamizar una muestra representativa de suelo en grupos de partículas que tienen el mismo rango de tamaños. Para gravas y arenas se emplea cribado en cambio para la fracción fina como los limos y las arcillas, se emplea el ensayo de sedimentación. [19]

En la actualidad se conoce que en gravas y arenas la distribución granulométrica incide de forma directa en las propiedades índice e hidráulicas, en cambio su relación no es directa para las propiedades técnicas. [14]

Tabla 5. Rango de Tamices utilizado comúnmente para el análisis del tamaño de las partículas

Tamiz	Abertura
3 pulg	75.0 mm
2 pulg	50.0 mm
1 ½ pulg	37.5 mm
1 pulg	25.0 mm
¾ pulg	19.0 mm
3/8 pulg	9.5 mm
No. 4	4.750 mm
No. 8	2.360 mm
No. 10	2.000 mm
No. 12	1.680 mm
No. 20	850 µm
No. 30	600 µm
No. 40	425 µm
No. 50	300 µm
No. 60	250 µm
No. 100	150 µm
No. 200	75 µm

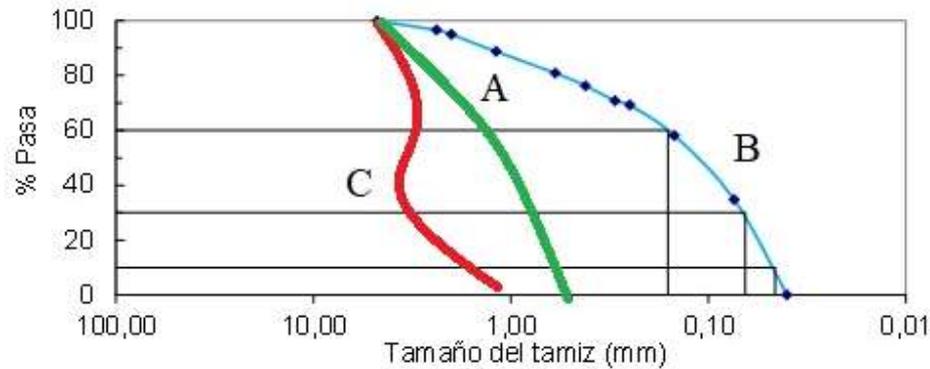
Fuente: MECÁNICA DE SUELOS, pág. 35

Autor: Berry Peter y Reid David. [15]

La distribución de las partículas se representa mediante la curva granulométrica propia de cada muestra ensayada. Como se muestra en la Figura 3. una pendiente muy pronunciada “A” indica un suelo mal graduado; es decir posee una graduación uniforme en donde no hay variación en el tamaño de partículas, mientras que si la

pendiente de la curva es menor “B” el rango de variación de partículas es mayor, puede existir una graduación discontinua “C” en donde exista ausencia de tamaños.

Figura 3. Ejemplos de curvas granulométricas



Fuente: Hugo Vilema Peña

#### 1.1.3.6.8.1. Diámetro Efectivo ( $D_{10}$ )

Es el diámetro en milímetros de las partículas que corresponde al 10% del material que pasa. [15]

#### 1.1.3.6.8.2. Diámetro Equiparable ( $D_{30}$ )

Es el diámetro en milímetros de las partículas que corresponde al 30% del material que pasa. [15]

#### 1.1.3.6.8.3. Diámetro Dimensional ( $D_{60}$ )

Es el diámetro en milímetros de las partículas que corresponde al 60% del material que pasa. [15]

#### 1.1.3.6.8.4. Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ )

Es un coeficiente adimensional que mide la condición de uniformidad de las partículas de suelo. El  $C_u$  es inversamente proporcional a su uniformidad, es decir, mientras más bajo sea el valor de  $C_u$  se consideran suelos uniformes donde su curva granulométrica se extiende poco horizontalmente (pendiente aguda) en cambio cuanto mayor sea  $C_u$  más amplio será el rango de tamaño de partículas presentes en la muestra; se extiende la curva horizontalmente (pendiente suavizada). [15]

Un valor alto de  $C_u$  indica que el  $D_{60}$  y el  $D_{10}$  difieren en tamaño de forma apreciable. Para  $C_u > 4$  o  $6$  se consideran suelos bien graduados. [19] El coeficiente  $C_u$  se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ec. 9

#### **1.1.3.6.8.5. Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ )**

Es un coeficiente adimensional que mide el grado de curvatura del material para determinar su graduación y la distribución de tamaños intermedios. Por lo general el rango sería  $1 < C_c < 3$  para suelos bien graduados, si el  $C_c$  es menor que 1 o mayor que 3 se consideran suelos uniformes (mal graduados). [10]

En el caso que existan valores de  $C_c$  muy diferentes de 1 indica que falta una serie de tamaños correspondientes al  $D_{10}$  y el  $D_{60}$ . [19] En un suelo bien graduado el porcentaje de vacíos es bajo debido a la gran variedad de tamaño de partículas que se acomodan entre sí, por ende, poseerá una mayor densidad, menor compresibilidad, menor permeabilidad y serán más fáciles de trabajar. El  $C_c$  se obtiene a partir de la ecuación.

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

Ec. 10

#### **1.1.3.6.8.6. Tamaño Nominal Máximo (TNM)**

Se puede definir como el tamaño de la malla por el cual pasa la mayor cantidad de muestra pudiendo retenerse del 5% al 15 % de la totalidad en este tamiz, es decir es el tamaño de las partículas mayores que se encuentran en la muestra. [14]

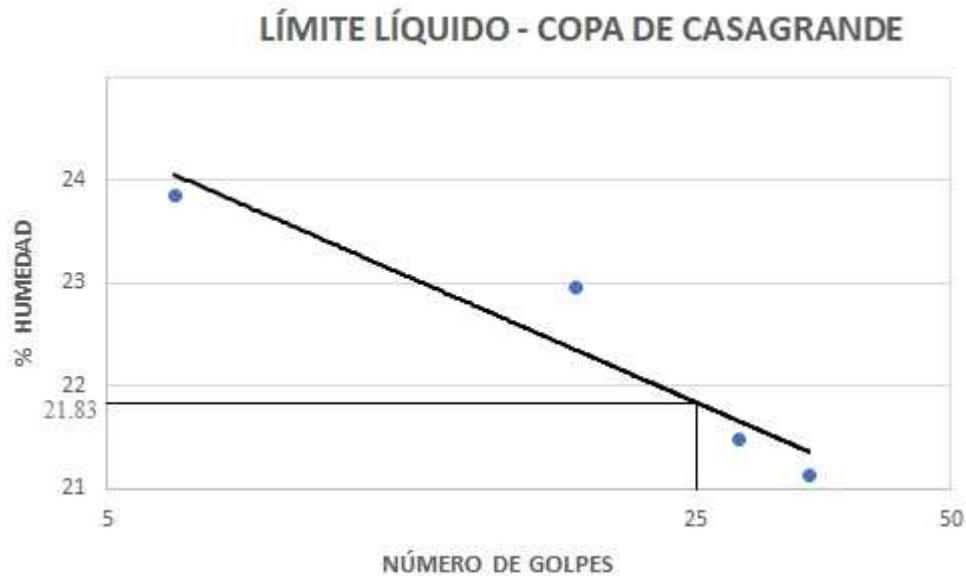
#### **1.1.3.6.9. Límite Líquido (LL)**

Fue llamado por Atterberg como la frontera para que la muestra cambie del estado plástico al estado semilíquido. [15] Este límite es el porcentaje de humedad máximo

que puede tener un suelo para poder ser amasado y comportarse como un material plástico. [19]

El Límite Líquido se determina mediante la Copa de Casa Grande empelando la norma AASHTO T-90-70. El procedimiento consiste en una gráfica semilogarítmica de la curva de escurrimiento de mínimo 4 muestras una de ellas debe producir un número mayor a 25 golpes; en donde el número de golpes se ubica en el eje de las abscisas y en las ordenadas se coloca el contenido de humedad de las muestras. El LL se determina de forma gráfica siendo la intersección del contenido de humedad para 25 golpes en la curva de escurrimiento.

Figura 4. Modelo para determinación del LL



Fuente: Hugo Vilema Peña

#### 1.1.3.6.10. Límite Plástico (LP)

Se establece como Límite Plástico al contenido de Humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico, siendo la frontera entre el estado plástico y el estado semisólido.[10] Es decir el LP es el porcentaje de humedad mínimo que puede tener un suelo para poder ser amasado. Existen suelos en los cuales no puede determinarse el límite plástico, por lo tanto, se los denomina suelos no plásticos (NP). [20]

Para la determinación de esta propiedad se emplea el material que pasa el Tamiz #40, se añade y se realizan mínimo 5 rollos de 3 mm de grosor hasta obtener la mínima cantidad de agua con la que se puede moldear sin fisurarse antes. La prueba es factible cuando se evidencia fisuras en el rollo llegado al diámetro de 3 mm no antes y no después.

El valor del Límite Plástico se obtiene del promedio de los contenidos de humedad de las muestras.

#### **1.1.3.6.11. Índice Plástico (IP)**

El IP indica el contenido de humedad donde el suelo está en estado plástico semisólido. [20] Ciertos suelos arenosos y finos, aparentan asemejarse a las arcillas, pero al intentar determinar su LP es muy difícil realizar los rollitos, revelando una falta de plasticidad; en estos suelos el LL resulta prácticamente igual al LP y aún menor, dando un IP negativo. [14]

El Índice Plástico no se podrá determinar en los siguientes casos:

- Si no se puede determinar el LL o LP y se establece como no plástico. [4]
- Cuando un suelo es muy arenoso, el LP se determina antes del LL. Si no es factible se indica LL y LP como no plástico. [4]
- Cuando el LP es igual o mayor que le LL, se establece como no plástico. [4]

El índice de plasticidad se determina mediante la siguiente ecuación.

$$IP = LL - LP$$

Ec. 11

#### **1.1.3.7. Propiedades Mecánicas**

##### **1.1.3.7.1. Resistencia al Corte**

Se refiere al nivel de fuerzas cortantes que se aplican de forma tangencial a lo largo de una cara del suelo y puede resistir sin fracturarse y su valor se representa en N/m<sup>2</sup>. [20]

En 1776 Coulomb determinó que el empuje de suelo sobre un muro, en el suelo retenido se forma un plano de deslizamiento recto, en donde la máxima resistencia al corte en el plano de falla está dada por la ecuación. [15]

$$\tau_f = C + \sigma (\tan\varphi)$$

Ec. 12

Donde:

$\tau_f$  = Resistencia al corte.

$C$  = Cohesión del suelo.

$\sigma$  = Esfuerzo normal interno total en el plano de falla.

$\varphi$  = Ángulo de fricción interna del suelo.

Para materiales granulares  $C = 0$  y por lo tanto  $\tau_f = \sigma (\tan\varphi)$

La resistencia al corte es difícil de medir y depende de varios factores, entre ellos están: el rozamiento entre partículas, la densidad y contenido de humedad del suelo al momento de aplicar la fuerza, la naturaleza del suelo, la composición granulométrica, los límites de consistencia que pueda alcanzar y la velocidad con la que se aplican las fuerzas de corte.

#### **1.1.3.7.2. Consolidación y Capacidad de Carga**

La consolidación es causada por las cargas que se aplican al suelo y los granos de suelo que son empacados juntos más estrechamente generando como resultado la disminución del volumen del suelo bajo la aplicación de dicha carga. La capacidad de carga de una masa de suelo es la capacidad de resistir las cargas aplicadas por una estructura y se mide en Pascales (N/m<sup>2</sup>).

#### **1.1.3.7.3. Permeabilidad**

Se refiere a la facilidad con la cual el agua puede fluir a través de los poros en el suelo. La permeabilidad se mide en centímetros por segundo.

#### 1.1.3.7.4. Compactación del Suelo

Para compactar suelos el método más común es el ensayo Proctor, que fue desarrollado por Ralph Roscoe Proctor en el año de 1933. El método busca mejorar la resistencia al corte y a la deformación del suelo al reducir la relación de vacíos, aumentando el peso específico por medio de la compactación y así conseguir muestras de baja compresibilidad y menor absorción de agua. [16] La energía empleada para la compactación se puede calcular mediante la ecuación.

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

Ec. 13

Donde:

N= Número de golpes por cada capa.

n= Número de capas de suelo.

w= Peso del martillo de compactación.

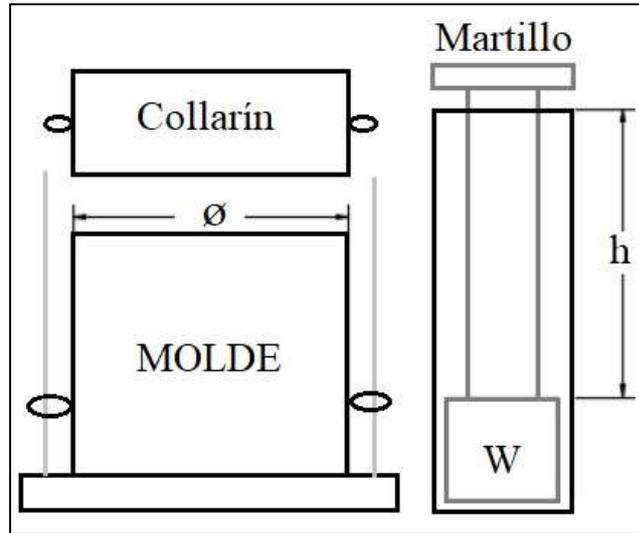
h= Altura de caída libre.

V= Volumen del suelo (muestra compactada).

El ensayo requiere mínimo de 4 puntos en donde los tres primeros generen una curva ascendente y el 4 muestre un punto de inflexión que genere un punto descendente en función de sus valores de humedad y densidad seca.

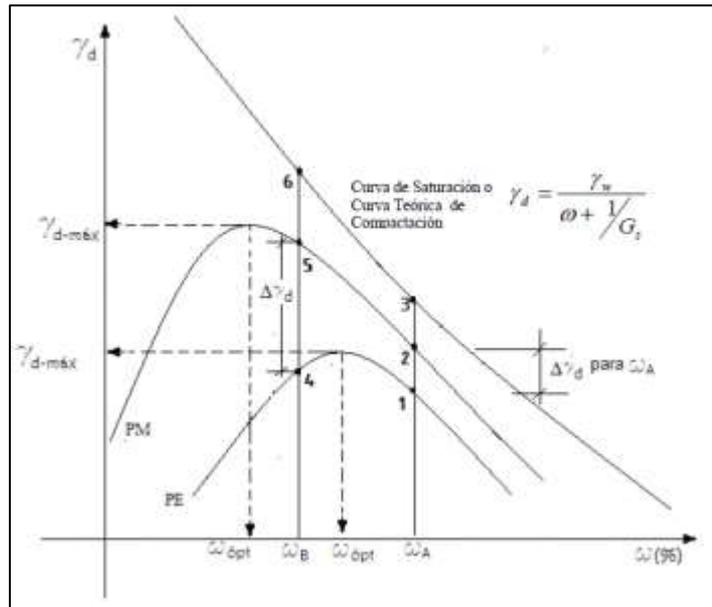
El ensayo de compactación puede ser Estándar o Modificado y dependiendo de ello las dimensiones del equipo y las especificaciones cambiarán según el método como se indica en la Figura 5. y en la Tabla 6.

Figura 5. Equipo de Compactación



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 6. Curva de compactación Proctor Estándar (PE) y Modificado (PM)



Fuente: Compactación de Suelos, pág. 4

Autor: Armas Novoa, Rolando. [21]

Para el ensayo estándar el suelo requiere un contenido de humedad mayor para alcanzar su humedad óptima ( $\omega_{opt}$ ) y su densidad máxima ( $\gamma_d$  máx) mientras que para esa misma muestra el ensayo de Proctor Modificado solicita un contenido de humedad menor para alcanzar la humedad óptima y una mayor densidad máxima.

Tabla 6. Especificaciones de Ensayos de Compactación

ENSAYO	ESTÁNDAR AASHTO T - 99				MODIFICADO AASHTO T - 180			
	Peso del Martillo (W)	5,5 Lb				10 Lb		
Altura de caída (h)	12"				18"			
MÉTODO	A	B	C	D	A	B	C	D
Pasa el tamiz	#4	#4	¾"	¾"	#4	#4	¾"	¾"
∅ del molde	4"	6"	4"	6"	4"	6"	4"	6"
Número de Capas	3	3	3	3	5	5	5	5
Número de golpes por capa (#)	25	56	25	56	25	56	25	56
Volumen estándar (V) en pie <sup>3</sup>	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
Energía de compactación (Lb*pie/pie <sup>3</sup> )	12375	12316,92	12375	12316,92	56250	55986	56250	55986

Fuente: MECÁNICA DE SUELOS I, pág. 65

Autora: Pérez Ruth. [14]

### 1.1.3.7.5. California Bearing Ratio (CBR)

La Relación de Soporte California o CBR fue desarrollado en el año de 1929 por los ingenieros Stanton, T.E. y Porter, O.J. del Departamento de Carreteras de California, pero no fue aceptado como norma técnica por la American Standard for Testing and Materials (ASTM) hasta 1964. [22]

El ensayo de laboratorio está normalizado de acuerdo a la ASTM D 1883, y se emplea para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos. El CBR mide la resistencia de una muestra de suelo a la penetración de un pistón de 3 pulg<sup>2</sup> de área con una velocidad constante de 0.05 plg/min. La fuerza requerida se mide a determinados intervalos de penetración (pulgadas) y se compara con la fuerza requerida para originar penetraciones similares a la de una muestra patrón (piedra partida bien graduada) mediante la siguiente ecuación. [23]

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

Ec. 14

El valor de CBR es un valor porcentual de la carga unitaria patrón, por lo general el símbolo de porcentaje se omite y se expresa como un número entero. Los valores de carga patrón que deben usarse en la ecuación 14 en función de la penetración se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valor de carga unitaria patrón

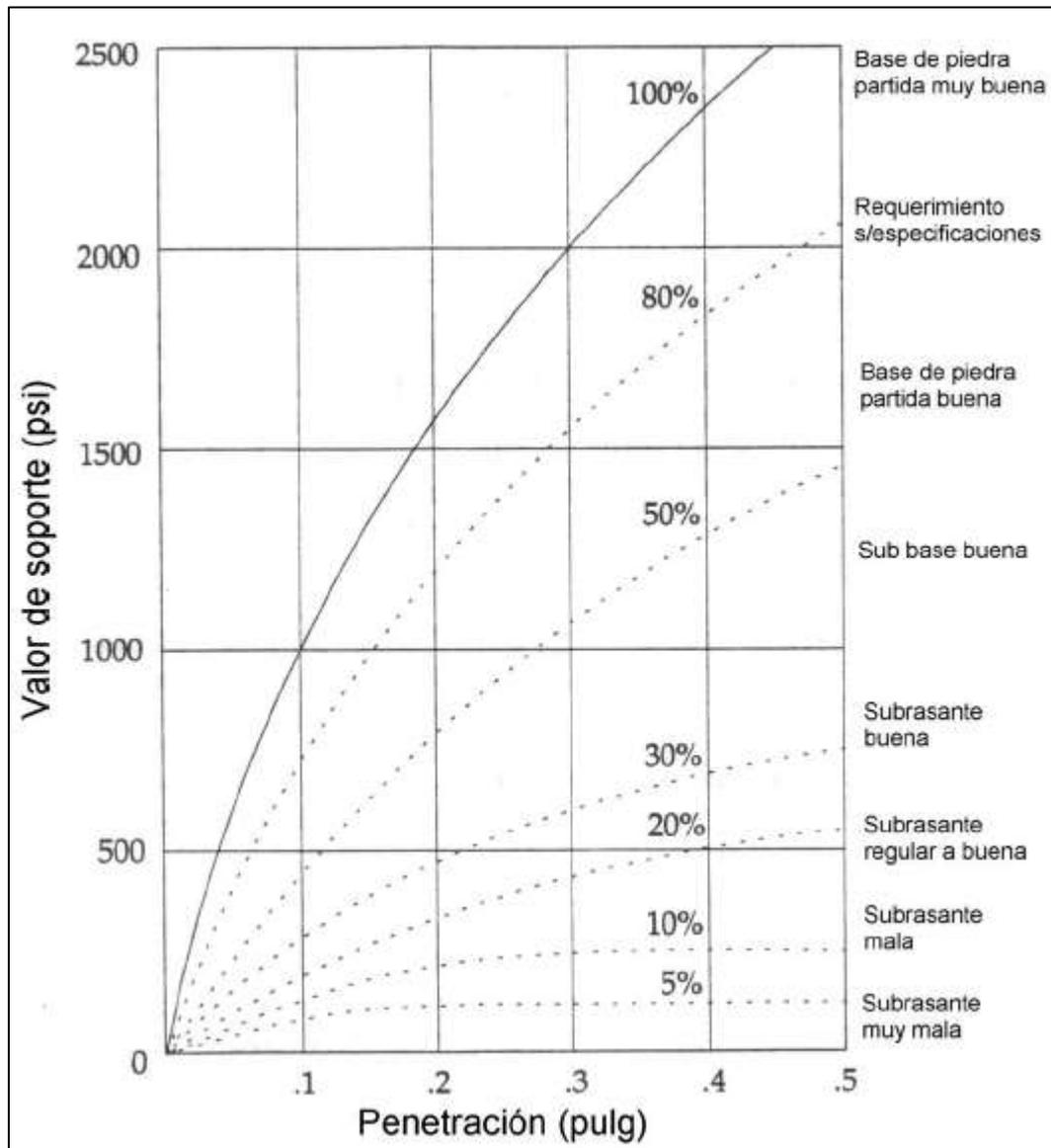
PENETRACIÓN	CARGA UNITARIA PATRÓN	
	MPa	Psi (lb/plg <sup>2</sup> )
pulg		
0,100	6,9	1000
0,200	10,3	1500
0,300	13,0	1900
0,400	16,0	2300
0,500	18,0	2600

Fuente: Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil, pág. 190

Autor: Joseph E. Bowles. [19]

El resultado del ensayo CBR permite clasificar el material para establecer su uso en la construcción de carreteras, además de relacionarlo con la clasificación del tipo de suelo como se muestra en la Figura 7. y en la Tabla 8.

Figura 7. Curvas de penetración “CBR” para distintos tipos de suelos



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93), pág. 64

Autor: Oscar Cordo. [23]

Tabla 8. Clasificación del material en función del CBR

CBR	Calidad	USOS	CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
0–3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3–7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CM, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7–20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20–50	Bueno	Base, Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A3, A-2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A3

Fuente: Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil, pág. 191

Autor: Joseph E. Bowles. [19]

El número de relación de soporte, no es constante ya que depende del estado de la muestra de suelo durante el ensayo, pudiendo existir un valor diferente para dos muestras del mismo suelo ensayadas en condiciones iguales.

#### 1.1.3.7.6. Dinamic Cone Penetrometer (DCP)

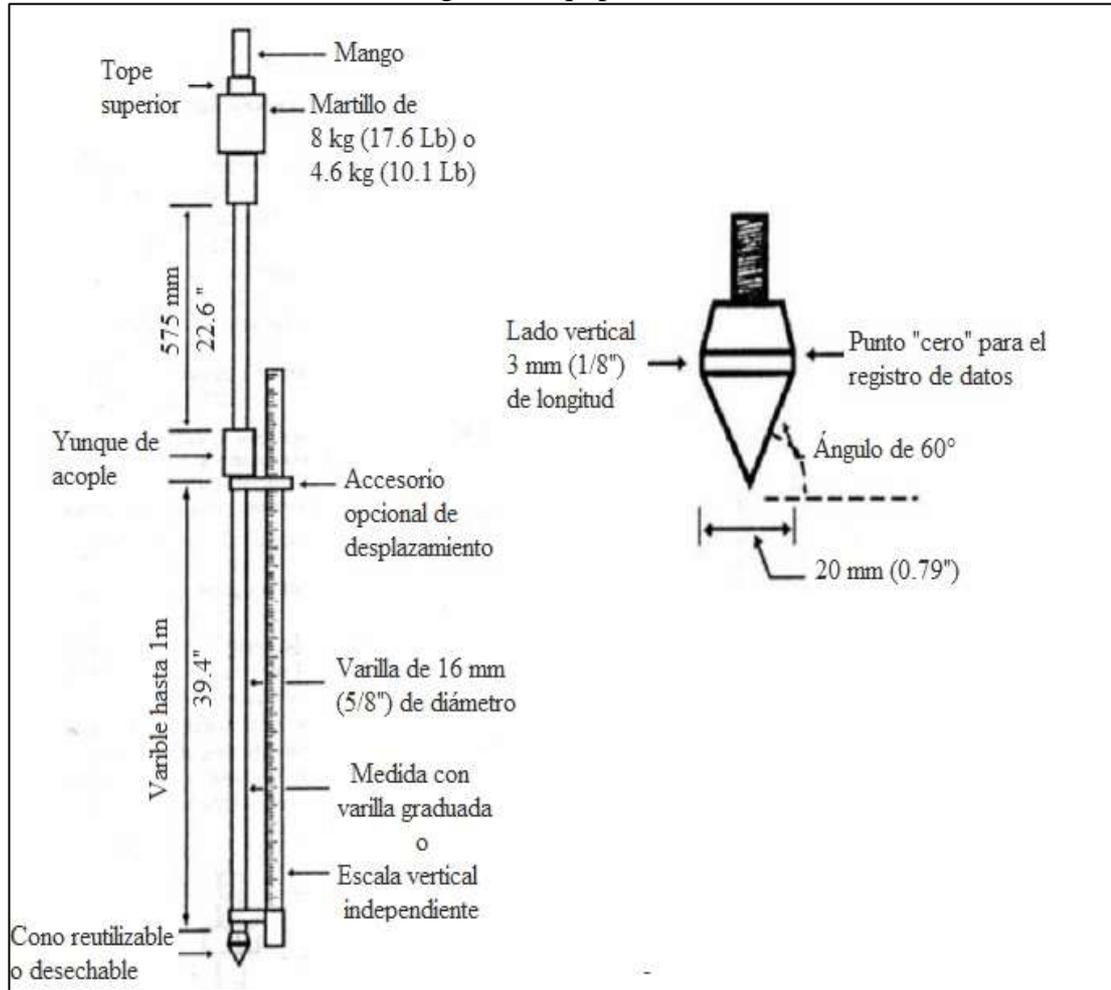
El ensayo del Cono Dinámico de Penetración se encuentra normalizado por la ASTM D 6951-03 y fue desarrollado en 1956 por Scala, cuando presentó su primer artículo en la Segunda Conferencia de Mecánica de Suelos de Australia y Nueva Zelanda. [16]

Su principal función es evaluar la resistencia in situ de subrasantes, inalteradas como compactadas, o también puede estimar la capacidad estructural o espesores de las capas que conforman el pavimento, la resistencia al corte de los estratos del suelo, además de detectar el grado de heterogeneidad que puede encontrarse en una sección y la uniformidad compactación del material. [24]

- **Especificaciones del equipo**

El equipo indicado en la Figura 8. por lo general se construye a base de acero inoxidable a excepción de la punta que puede ser a base de acero endurecido o un material que soporte el uso dinámico. El DCP consta de: un martillo de 8 kg el cual se deja caer desde una altura de 575 mm hacia el yunque de acople, la varilla de penetración de 15,8 mm de diámetro puede tener una longitud máxima de 1 m y la punta de tener un ángulo de 60° y un diámetro de 20 mm a parte de estas dimensiones las tolerancias recomendadas del equipo son las de la Tabla 9.

Figura 8. Equipo DCP



Fuente: Norma ASTM 6951-03 [25]

Tabla 9. Tolerancias del equipo DCP

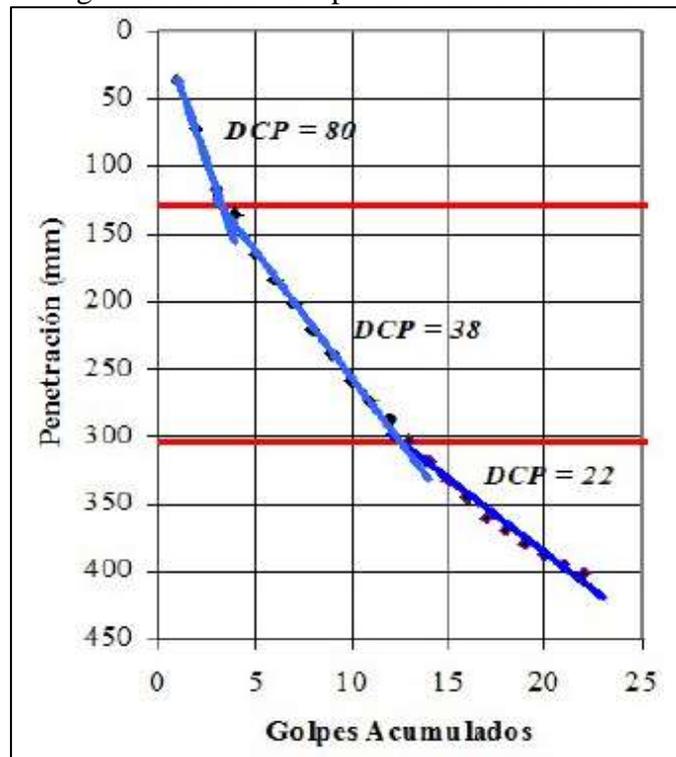
Elemento	Valor	Tolerancia	
Martillo	8 kg	0,01	0,022
Martillo	4,6 kg	0,01	0,022
Caída del martillo	575 mm (22,6")	1 mm	0,039"
Punta-Cono	60 °	1°	
Diámetro Punta del cono	20 mm (0,79")	0,25 mm	0,01"

Fuente: Norma ASTM 6951-03 [25]

- **Curva DCP**

Se representa de forma gráfica e indica la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados para los respectivos datos. Como se muestra en la Figura 9. se puede entrever el número de capas existentes (3) representadas por rectas de diferentes pendientes, asimismo se puede determinar el espesor de las capas.[24]

Figura 9. Curva DCP para una serie de valores



Fuente: EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS, pág. 5

Autor: Viscarra Agreda Fabiana. [24]

- **Índice de penetración DCP (DN)**

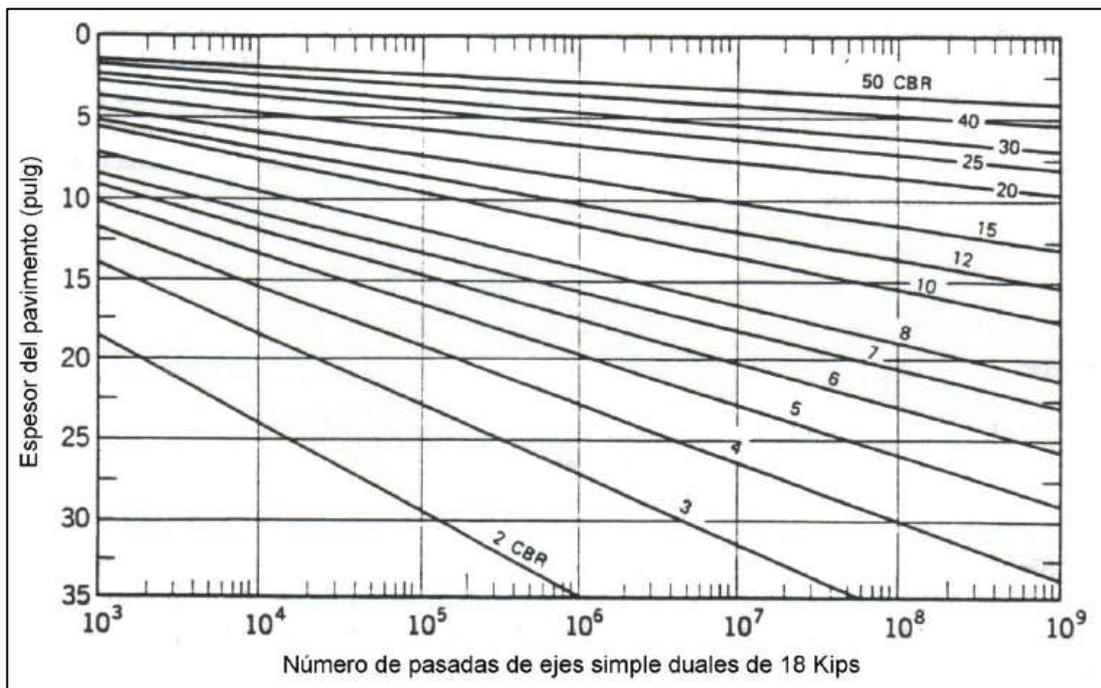
Es un valor numérico que expresa la penetración conseguida por golpe (mm/golpe). El DN es el valor de la pendiente de la curva DCP, mientras mayor sea el DN, la resistencia del suelo será menor; y de manera viceversa cuanto menor sea el valor DN mayor será la resistencia del suelo al corte. [24]

### 1.1.3.8. Correlaciones existentes entre el CBR

Como se menciona en los antecedentes existen una gran cantidad de trabajos que correlacionan no solo el CBR sino varias propiedades del suelo para determinar directamente o indirectamente otras propiedades a partir de uno o más valores conocidos. Las expresiones cambian y varían en función de las características intrínsecas del suelo por lo que no es posible generalizar una expresión para todos los suelos existentes. La correlación depende de varios factores como la cantidad de muestras, los tipos de suelo, las propiedades índice y mecánicas de cada muestra y el error humano que pueda existir al momento de realizar cualquier ensayo.

El método CBR para diseño de pavimentos fue uno de los primeros en emplearse y se fundamenta en la correlación entre el CBR, el espesor de la carpeta asfáltica y el número de ejes de ejes equivalentes como se indica en la Figura 10.

Figura 10. Curvas de diseño CBR



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93), pág. 65

Autor: Oscar Cordo. [23]

El DCP es una alternativa rápida y fácil para la obtención de datos in situ por ello existen muchos trabajos en donde correlacionan este valor con el CBR y las diferentes propiedades del suelo como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Expresiones para correlacionar el DCP con otras propiedades

Relación entre DCP(mm/golpe) y:	Ecuación	Autor/Autores	Observaciones
Límite Líquido (%)	$LL = 0,62 \cdot \text{Log}(DCP) + 1,14$	Gabr, M. et al. (2001)	Suelo con alto contenido de finos (60%).
Grado de Saturación (%)	$S = 1 - e^{-0,065 \cdot DCP}$	Gabr, M. et al. (2001)	Suelo con alto contenido de finos (60%).
Valor de Soporte California (CBR %)	$\text{Log}(CBR) = 2,465 - 1,12 \cdot \text{Log}(DCP)$ o expresada también: $CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}$	Van Vuren (1968), Kleyn (1975), Livneh e Ishai (1987), Webster (1992) y Siekmeier (1999).	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
Valor de Soporte California (%)	$\text{Log}(CBR) = 2,317 - 0,858 \cdot \text{Log}(DCP)$	Transport Road Research TRRL (1986).	Apta para todo tipo de suelos.
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{1}{0,002871 \cdot DCP}$	Webster S.L. et al. (1994).	Para suelos CH.
Valor de Soporte California (%)	$CBR = \frac{1}{(0,017019 \cdot DCP)^2}$	Webster S.L. et al. (1994).	Para suelos CL con CBR < 10 %.
Módulo Resiliente (Mpa)	$MR = 537,76 \cdot DCP^{-0,6645}$	Chen D. et al. (2005).	Estudio realizado en bases y sub-bases de diferentes autopistas de Estados Unidos.

Relación entre DCP(mm/golpe) y:	Ecuación	Autor/Autores	Observaciones
Módulo Resiliente (Mpa)	$MR = 532,1 \cdot DCP^{-0,492}$	George y Uddin (2000).	Suelos finos.
Módulo Resiliente (Mpa)	$MR = 235,3 \cdot DCP^{-0,475}$	George y Uddin (2000).	Suelos gruesos.
Compresión No Confinada (kPa)	$\text{Log}(UCS) = 3,29 - 0,809 \cdot \text{Log}(DCP)$	McElvaney y Djatnika (1991).	Suelos con limos.

Fuente: EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS, pág. 7  
 Autor: Viscarra Agreda Fabiana. [24]

### 1.1.3.9. Teoría de la Correlación y la Regresión

Ambos términos están relacionados entre sí a pesar de obedecer estrategias de análisis diferentes, pues representan métodos estadísticos para estimar la relación existente entre dos o más variables. [26]

La correlación proporciona un coeficiente de correlación que determina la dirección y la fuerza (rango) de relación entre variables, mientras que la regresión genera una ecuación que describe la correlación entre variables formando la línea de regresión (línea de tendencia) la cual pasa por el mayor número de puntos de la dispersión y puede permitir predecir los valores de la variable dependiente (Y) a partir de la variable independiente (X) cuando la asociación entre ambas es fuerte. [26]

La relación entre variables se cataloga como:

- Dependencia causal unilateral. Cuando una variable influye en la otra, pero no al contrario. [27]
- Interdependencia. Cuando la influencia es recíproca entre variables, catalogándose como una relación bilateral. [27]
- Dependencia indirecta. Cuando una tercera variable influye en las otras para que exista correlación. [27]
- Concordancia. Cuando ambas variables son independientes, pero se determina la correlación entre ellas. [27]
- Covariación causal. Cuando la correlación entre variables se da sin que exista una causalidad entre ellas. [27]

#### 1.1.3.9.1. Regresión

- Media aritmética

Se define como la división de la suma de todos los valores para el número total de datos. [27]

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Ec. 15

- Covarianza

Es la variación entre dos variables y puede ser positiva o negativa de acuerdo a la ecuación.

$$m_{xy} = \frac{\sum XY}{n} - \bar{X}\bar{Y}$$

Ec. 16

- Varianza Residual (VR)

Es una medida de dispersión que expresa los puntos que no se encuentran en la línea de regresión. Se determina a partir de la sumatoria de los cuadrados de la diferencia de los valores observados ( $Y_i$ ) y los valores estimados ( $\hat{Y}$ ). [27]

$$S^2_{yx} = \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}$$

Ec. 17

- Varianza Explicada (VE)

Esta varianza solo considera a los puntos que están en la línea de regresión.

$$S^2_{\sigma y} = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{n}$$

Ec. 18

- Varianza Total (VT)

Es la medida de dispersión producto de la diferencia de los valores de la variable y su media aritmética elevados al cuadrado y dividido para la cantidad de datos. Otra forma de cálculo es sumar la varianza residual y la varianza explica [27]

$$S^2_y = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n}$$

Ec. 19

- Desviación típica

Conocida también como desviación estándar se obtiene de la raíz cuadrada de la varianza.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Ec. 20

- Ajuste de curvas

Es el proceso de encontrar la ecuación que mejor se ajuste a los datos de las variables. Es decir, se grafica los datos sobre un plano bidimensional en donde la curva que mejor se adapte a la mayor cantidad de puntos se conocerá como curva de aproximación, línea de regresión o línea de tendencia. [28] Las relaciones entre las variables pueden ser lineales o no lineales como se muestra en la Tabla 11 y en la Tabla 12.

Tabla 11. Tipos de Curvas de Aproximación

TENDENCIA	SCHAUM
Lineal	$y = a_0 + a_1x$
Parabólica	$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$
Logarítmica	$y = a_0 + a_1 \ln x$
Exponencial	$y = a_0 * e^{a_1x}$
Potencial	$y = a_0 * x^{a_1}$
Polinómica	$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$

Fuente: “Estadística Schaum”, pág. 317

Autor: Spiegel Murray y Stephens Larry.[28]

Tabla 12. Tipos de Funciones Matemáticas

TENDENCIA	Ciro Martínez
Lineal	$\hat{y} = bx + c$
Parabólica	$\hat{y} = ax^2 + bx + c$
Logarítmica	$\hat{y} = c + b \ln x$
Exponencial	$\hat{y} = ce^{bx}$
Potencial	$\hat{y} = cx^b$

Fuente: “Estadística y Muestreo”, pág. 571

Autor: Martínez Bencardino Ciro.[27]

- Método de los mínimos cuadrados

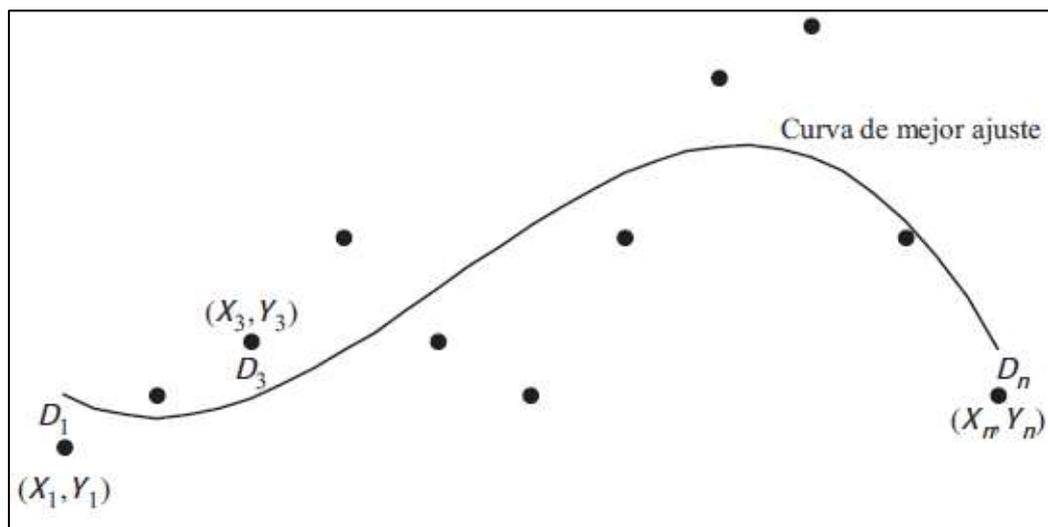
Busca estimar el error mínimo entre la sumatoria de los cuadrados de la diferencia de los valores observados ( $Y_i$ ) y los valores estimados ( $\hat{Y}$ ). [27]

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Ec. 21

De acuerdo a la Figura 11. para un valor  $X_1$ , entre el valor  $Y_1$  y el valor calculado de la curva existe una diferencia ( $D_1$ ) que se conoce como desviación, error o residual. La curva que presente el menor error de la sumatoria de  $(D_1)^2 + (D_2)^2 + \dots + (D_N)^2$  será la curva de mejor ajuste. [28]

Figura 11. Curva de mejor ajuste por mínimos cuadrados



Fuente: “Estadística Schaum”, pág. 319

Autor: Spiegel Murray y Stephens Larry.[28]

- Recta de mínimos cuadrados (2 variables)

La recta viene dada por la ecuación.

$$Y = a_0 + a_1X$$

Ec. 22

Se determina las constantes  $a_1$  y  $a_0$  mediante el sistema de ecuaciones. [28]

$$\begin{aligned}\Sigma Y &= a_0 n + a_1 (\Sigma X) \\ \Sigma XY &= a_0 (\Sigma X) + a_1 (\Sigma X^2)\end{aligned}$$

Ec. 23

Los coeficientes también se pueden resolver mediante las ecuaciones. [28]

$$a_0 = \frac{(\Sigma Y) * (\Sigma X^2) - (\Sigma X) * (\Sigma XY)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

Ec. 24

$$a_1 = \frac{n * (\Sigma XY) - (\Sigma X) * (\Sigma Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

Ec. 25

- Recta de mínimos cuadrados (3 variables)

Para relacionar más de dos variables se lo hace similar a como se hace para dos variables y se expresa mediante la ecuación.

$$Z = a_0 + a_1 X + a_2 Y$$

Ec. 26

El proceso es una extensión del método de mínimos cuadrados, en donde si  $Z$  se aproxima a los valores de  $X$  y  $Y$ , se lo conocerá como plano de regresión de  $Z$  en  $X$  y  $Y$ , donde el sistema de ecuaciones es. [28]

$$\begin{aligned}\Sigma Z &= a_0 n + a_1 (\Sigma X) + a_2 (\Sigma Y) \\ \Sigma XZ &= a_0 (\Sigma X) + a_1 (\Sigma X^2) + a_2 (\Sigma XY) \\ \Sigma YZ &= a_0 (\Sigma Y) + a_1 (\Sigma XY) + a_2 (\Sigma Y^2)\end{aligned}$$

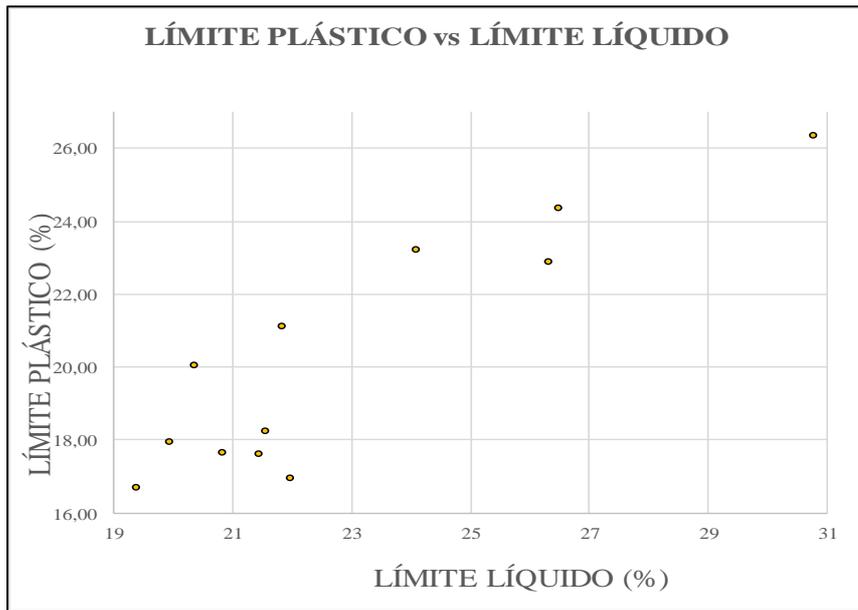
Ec. 27

### 1.1.3.9.2. Correlación

- Diagrama de dispersión

Es la representación gráfica de las variables en un plano cartesiano, donde la variable  $X$  estará ubicada en el eje de las abscisas y el eje de las ordenadas representará la variable  $Y$ .

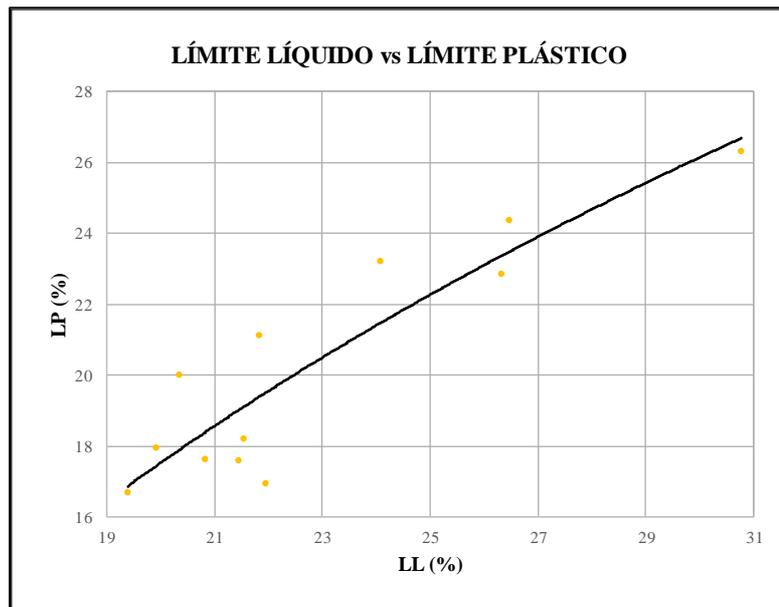
Figura 12. Diagrama de Dispersión



Fuente: Hugo Vilema Peña

Con la ayuda del diagrama de esparcimiento o nube de puntos se puede visualizar la ubicación de los puntos con respecto a la curva de ajuste, la elección de la línea de regresión dependerá de la forma de los puntos y el valor del coeficiente de determinación y regresión.

Figura 13. Curva de ajuste



Fuente: Hugo Vilema Peña

- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ )

Se expresa como  $R^2$  y calcula la variación de la variable dependiente explicada por la variable independiente. [26] Su valor adimensional varía desde 0 a 1, mientras más cercano a cero sea no existirá relación entre variables, en cambio mientras más se acerque a uno la relación entre variables será mayor.

Se puede calcular a partir de las siguientes expresiones.

$$R^2 = \frac{(\text{covarianza})^2}{S^2_x * S^2_y} = \frac{(m_{xy})^2}{S^2_x * S^2_y}$$

Ec. 28

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = \frac{S^2_{\sigma y}}{S^2_y} = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}$$

Ec. 29

$$R^2 = 1 - \frac{VR}{VT} = 1 - \frac{S^2_{yx}}{S^2_y}$$

Ec. 30

- Coeficiente de Correlación ( $r$ )

Es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación por lo tanto sus valores pueden ir desde -1 a 1.

$$r = \frac{\text{covarianza}}{S^2_x * S^2_y} = \frac{m_{xy}}{S_x * S_y}$$

Ec. 31

$$r = \sqrt{R^2}$$

Ec. 32

$$r = \sqrt{\frac{VR}{VT}} = \sqrt{\frac{S^2_{\sigma x}}{S^2_y}} = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

Ec. 33

El valor  $r$  expresa el rango de confiabilidad de la correlación como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13. Rangos de confiabilidad de la correlación

<b>Correlación</b>	<b>Positiva</b>	<b>Negativa</b>
Perfecta	$r = 1$	$r = -1$
Excelente	$0,9 < r < 1$	$-1 < r < -0,9$
Aceptable	$0,8 < r < 0,9$	$-0,9 < r < -0,8$
Regular	$0,6 < r < 0,8$	$-0,8 < r < -0,6$
Mínima	$0,3 < r < 0,6$	$-0,6 < r < -0,3$
No hay correlación	$0 < r < 0,3$	$-0,3 < r < 0$

Fuente: “Estadística y Muestreo”, pág. 571

Autor: Martínez Bencardino Ciro.[27]

### 1.1.3.9.3. Correlación Múltiple

La correlación múltiple para este proyecto asociará 3 variables observadas (X, Y y Z), en donde X y Y serán las variables independientes mientras que la variable Z se definirá como la variable dependiente para obtener la correlación.

- **Modelo Lineal**

La ecuación está dada por:

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y$$

Ec. 34

Los coeficientes se determinan a partir del siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}\Sigma Z &= a_0n + a_1(\Sigma X) + a_2(\Sigma Y) \\ \Sigma XZ &= a_0(\Sigma X) + a_1(\Sigma X^2) + a_2(\Sigma XY) \\ \Sigma YZ &= a_0(\Sigma Y) + a_1(\Sigma XY) + a_2(\Sigma Y^2)\end{aligned}$$

Ec. 35

Para determinar el coeficiente de correlación se parte de las expresiones:

$$S^2_{zxy} = \frac{\Sigma(Z_i - \hat{Z})^2}{n}$$

Ec. 36

$$R^2 = \sqrt{1 - \frac{VR}{VT}} = 1 - \frac{S^2_{zxy}}{S^2_Z}$$

Ec. 37

Cuando la tendencia de los datos no se ajusta a la forma lineal se emplea métodos no lineales en donde se emplea el método de mínimos cuadrados para tres variables con cambios en las variables X, Y y Z dependiendo de la tendencia de los datos.

- **Modelo Exponencial**

Se expresa:

$$Z = a'_0 + e^{a_1X} + e^{a_2Y}$$

Ec. 38

Para la determinación se calcula el logaritmo natural de Z y se lo expresa.

$$Z' = \ln Z$$

Ec. 39

Con la variación de Z los coeficientes se determinan a partir del siguiente sistema:

$$\begin{aligned}\Sigma Z' &= a_0n + a_1(\Sigma X) + a_2(\Sigma Y) \\ \Sigma XZ' &= a_0(\Sigma X) + a_1(\Sigma X^2) + a_2(\Sigma XY) \\ \Sigma YZ' &= a_0(\Sigma Y) + a_1(\Sigma XY) + a_2(\Sigma Y^2)\end{aligned}$$

Ec. 40

De los coeficientes calculados se corrige el  $a_0$  para reemplazar en la ecuación 36.

$$a'_0 = e^{a_0}$$

Ec. 41

- **Modelo Logarítmico**

La ecuación de la tendencia logarítmica múltiple se expresa:

$$Z = a_0 + a_1 \log X + a_2 Y$$

Ec. 42

Para la determinación se calcula el logaritmo de X y se expresa.

$$X' = \log X$$

Ec. 43

Con la variación de Z los coeficientes se determinan a partir del siguiente sistema:

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

Ec. 44

- **Modelo Potencial**

La ecuación es:

$$Z = a'_0 + X^{a_1} + Y^{a_2}$$

Ec. 45

Para la determinación se calcula el logaritmo de X, Y y Z y se lo expresa.

$$X' = \log X$$

Ec. 46

$$Y' = \log Y$$

Ec. 47

$$Z' = \log Z$$

Ec. 48

Con la variación de X, Y y Z los coeficientes se determinan a partir del siguiente sistema:

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

Ec. 49

De los coeficientes calculados se corrige el  $a_0$  para reemplazar en la ecuación 36.

$$a'_0 = 10^{a_0}$$

Ec. 50

### 1.1.3.10. Análisis de Tráfico

La cantidad de tránsito determina las particularidades del diseño geométrico para que la carretera puede soportar dichas solicitaciones. Cuando se trata de algún mejoramiento o evaluación de alguna vía existente la cuantificación del tránsito es fácil pues ya se cuenta con un tránsito circulante por el sector. [29]

#### 1.1.3.10.1. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Se denomina TPDA la cantidad de vehículos que pasan por un punto de medición de una carretera en un tiempo establecido, que es mayor a un día y menor o igual a 365 días[29] También se le puede definir como la relación entre el volumen de vehículos que pasan durante todo un año y 365 días.

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

Ec. 51

Donde:

TA = Tráfico anual

Para obtener el TPDA en función de un tráfico observado existen cuatro factores:[29]

- Factor Horario

Convierte el tráfico observado en las horas de conteo a Volumen Diario Promedio. [29]

- Factor Diario

Convierte el Volumen Diario Promedio en Volumen Semanal Promedio. [29]

- Factor Semanal

Convierte el Volumen Semanal Promedio a Volumen Mensual Promedio. [29]

- Factor Mensual

Convierte el Volumen Mensual Promedio en Tráfico Promedio Diario Anual. [29]

$$TPDA = T_o * FH * FD * FS * FM$$

Ec. 52

Donde:

To = Tráfico observado.

FH = Factor horario.

FD = Factor diario.

FS = Factor semanal.

FM = Factor mensual.

### 1.1.3.10.2. Método de la Treintava Hora

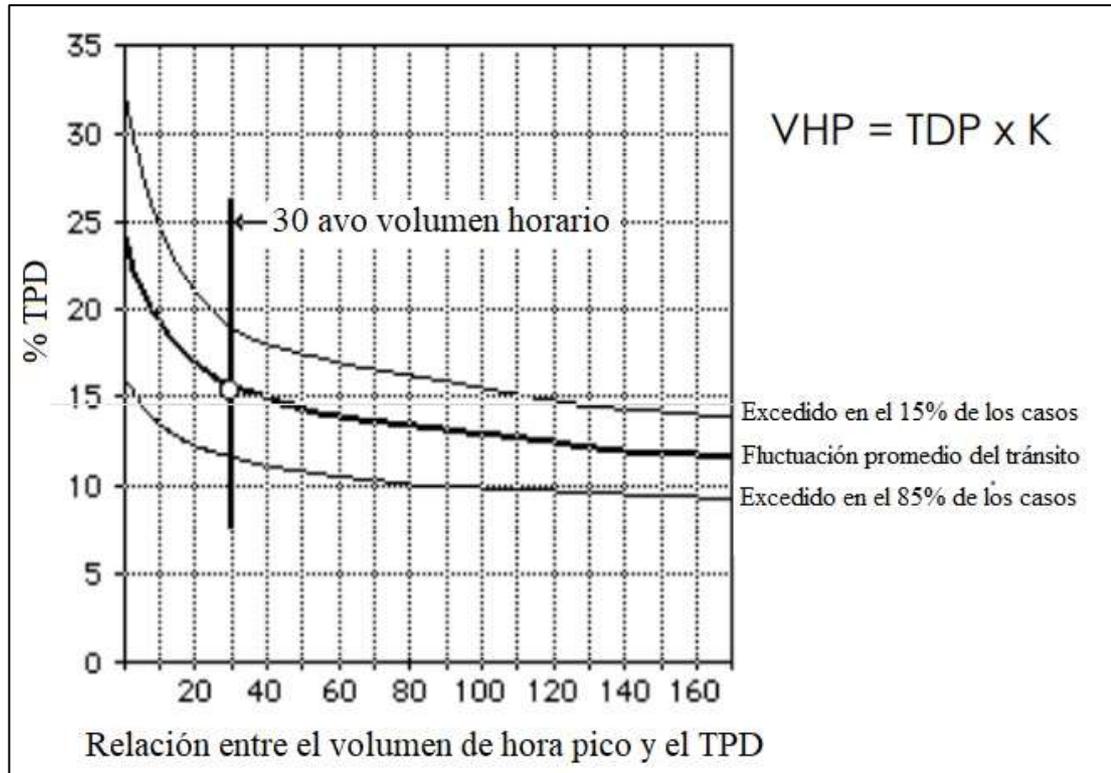
Representa el volumen horario del proyecto que ocurre durante un día normal en la trigésima hora del año que solo será excedido por 29 volúmenes horarios. [30] El método relaciona los % de los volúmenes horarios durante un año, generando una curva en donde se ordena de menor a mayor el % de vehículos transitados de la hora del día versus las 8760 horas del año, por lo general la hora treinta muestra el punto de inflexión de la curva.

Tabla 14. Conteo horario de vehículos en un año

Día	Hora #		# Vehículos	%
Enero 1	1	00h00– 1H00		
	2	1H00 – 2H00		
	↓			
	↓			
	24	23H00 -24H00		
Enero 2	25	00h00– 1H00		
	26	1H00 – 2H00		
	↓			
	↓			
	48	23H00 -24H00		
↓	↓	↓	↓	↓
Diciembre 31	8737	00h00– 1H00		
	8738	1H00 – 2H00		
	↓			
	↓			
	8760	23H00 -24H00		
Total	365 días	8760 horas		100%

Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 14. Relación entre la hora pico y los volúmenes de tránsito medio diario en arterias rurales



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, AASHTO-1994, pág. II.39

Autor: Sierra Francisco. [30]

De acuerdo a lo mencionado la determinación del Volumen Horario del Proyecto en función del TPDA se expresa: [31]

$$VHP = K * (TPDA) =$$

Ec. 53

Donde:

VHP = Volumen de Tráfico observado.

K = Porcentaje entre la 30<sup>ava</sup> hora y el TPDA del año del proyecto.

TPDA = Tráfico Promedio Diario Anual del año del proyecto.

A partir de la ecuación 53, se determina el TPDA a partir del máximo valor acumulado por hora de los conteos del tráfico en un determinado número de horas, siendo expresado por la siguiente ecuación.

$$TPDA = \frac{VHP}{k}$$

Donde:

VHP = Volumen de Tráfico observado.

K = porcentaje entre la 30<sup>ava</sup> hora y el TPDA del año del proyecto.

La Norma de Diseño Geométrico del Ministerio de Obras Públicas (2003) manifiesta que en Ecuador no existen estudios para estimar los volúmenes correspondientes a la 30<sup>ava</sup> hora pero en base a las investigaciones de la composición de tráfico se indica que el volumen horario máximo varía entre el 5% al 10% en relación del TPDA. [29]

Para caminos rurales con un flujo de tránsito, la 30 VH se aproxima al 15% del Tránsito Medio Diario. [30]

El valor K dependerá del tipo de vía teniéndose un valor de, 8% al 12% para una vía urbana, mientras que en una vía rural el valor fluctúa entre el 12% al 18%, se recomienda tomar los valores promedio: 10% para urbana y 15% para rural con el fin de considerar un ahorro considerable para la estimación de la sección transversal del proyecto. [32]

#### **1.1.3.10.3. Tráfico Futuro (Tf)**

La estimación del tráfico futuro se realiza para un periodo de 15 o 20 años basando en el tráfico actual de la vía. Se predice el crecimiento normal del tráfico actual, el tráfico generado y el desarrollado. [29]

- Crecimiento normal del tráfico actual

Para una vía existente el tráfico actual sería:

- Tráfico Existente

Es el TPDA producto de los estudios de tráfico efectuados.

- Tráfico Atraído (Tat)

Aquel tráfico que se desvía desde otras carreteras para circular por la vía de estudio con la finalidad de ahorrar, distancia y costo. Se considera como el 10% del TPDA.

[33]

- Tráfico Generado (Tg)

Se refiere a la cantidad de viajes que se realizarían dentro de los dos años siguientes a la terminación de las mejoras en la vía. El porcentaje equivale a la mitad del ahorro en los costos de los usuarios. El MOP con la finalidad de evitar estimaciones muy altas establece como límite máximo de tráfico generado el 20% del tráfico normal (TPDA). [29]

- Tráfico por Desarrollo (Td)

Se produce a partir de la generación de nuevas áreas de explotación o el incremento en la producción agrícola, ganadera o industrial dentro del área de influencia de la vía en estudio. El valor estimado es del 5% del TPDA. [33]

El tráfico actual sería

$$Ta = TPDA + Tat + Tg + Td$$

Ec. 55

Donde:

Ta = Tráfico actual.

TPDA = Tráfico Promedio Diario Anual.

Tat = Tráfico atraído.

Tg = Tráfico generado.

Td = Tráfico atraído.

La estimación del tráfico futuro se puede realizar a partir de la tasa de crecimiento de matriculación vehicular o la tasa de crecimiento del uso de combustible.

$$Tf = Ta(1 + i)^n$$

Ec. 56

Donde:

Tf = Tráfico futuro

i = tasa de crecimiento del tráfico.

n = número de año proyectado.

Tabla 15. Tasa de crecimiento vehicular

PERÍODO	LIVIANOS	BUSES	PESADOS
2010 - 2015	4,47	2,22	2,18
2016 - 2020	3,97	1,97	1,94
2021 - 2025	3,57	1,78	1,74
2026 - 2030	3,25	1,62	1,58

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

#### 1.1.3.10.4. Factor de Daño (Fd)

Según la AASHTO el Factor de Daño está en función de la división entre cualquier carga por eje dada y la carga por eje simple de 18 Kips elevada a la cuarta potencia. [34] El MOP 2003 adopta el mismo concepto y transforma los 18 kips a 8.2 Ton y el valor de carga cambia de acuerdo a los valores por eje del tipo de vehículo.

Figura 15. Factor de Daño según el tipo de vehículo

FACTOR DE DAÑO SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULO									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	P(Ton)	$(P/6,6)^4$	P(Ton)	$(P/8,2)^4$	P(Ton)	$(P/15)^4$	P(Ton)	$(P/23)^4$	

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

#### 1.1.3.10.5. Ejes Equivalentes (W18)

Representa la cantidad de repeticiones de ejes de 18 Kips para un determinado tiempo.

Se obtiene mediante la siguiente expresión

$$W18 = \left( \sum (TPD_n * Fd) \right) * 365$$

Ec. 57

Donde:

W18= Tránsito acumulado en el año, Ejes equivalentes de 18 Kips

TPD<sub>n</sub> = Tránsito Promedio Diario del año proyectado

Fd = Factor de daño

- Distribución Direccional

Se considera una distribución del 50% del W18 para estimar el W18 por sentido. [32]

- Distribución por Carril de diseño

Para una vía de dos carriles, el carril de diseño es uno de ellos, por lo que su factor de distribución es el 100% W18 por sentido. En Autopistas el carril exterior se considera como carril de diseño y el factor de distribución dependerá del número de carriles de la vía.

Tabla 16. Factor de Distribución por Carril

No. carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño ( <i>F<sub>C</sub></i> )
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 ó más	50 – 75

Fuente: Manual Completo Diseño de Pavimentos UMSS [35], pág. 133

#### 1.1.3.11. Diseño de Pavimento Flexible Método AASHTO 93

Determina un número estructural, SN, que define los espesores del pavimento capaces de soportar las solicitaciones de carga del proyecto.

$$\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.5}{1094 (SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

W18= Ejes equivalentes de 18 Kips

Zr = Desviación Estándar Normal

So = Desviación Estándar Global

$\Delta$ PSI = Pérdida de Serviciabilidad

M<sub>R</sub> = Módulo de Resiliencia

#### 1.1.3.11.1. Período de Diseño

Hace referencia al tiempo para el cual se determinan las características del pavimento, la AASHTO sugiere los siguientes periodos.

Tabla 17. Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: Manual Completo Diseño de Pavimentos UMSS [35], pág. 126

#### 1.1.3.11.2. Confiabilidad (R)

Se la expresa con la letra, R, e indica la probabilidad de que la estructura del pavimento se comporte satisfactoriamente durante el periodo de diseño seleccionado. [35]

Tabla 18. Niveles de Confiabilidad recomendados por AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 137

### 1.1.3.11.3. Desviación Estándar Normal (Zr)

Su valor viene dado por el nivel de confiabilidad de la vía.

Tabla 19. Valores de ZR en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad

Confiabilidad (R)	Valor de ZR
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: Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO [36], pág. 3-10

### 1.1.3.11.4. Desviación Estándar Global

Considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito. [34] El rango sugerido por AASHTO es:

0,30 – 0,40 Pavimentos rígidos

0,40 – 0,50 Pavimentos flexibles

Tabla 20. Valores recomendados para Desviación Estándar (So)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
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 <b>(0.45 valor recomendado)</b>

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO [36], pág. 3-10

#### 1.1.3.11.5. Pérdida de Serviciabilidad

Es la pérdida gradual de la calidad de servicio que ofrece la vía producto del deterioro del pavimento.

$$\Delta PSI = \rho_o - \rho_t$$

Ec. 59

Donde:

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad

$\rho_o$  = Índice de serviciabilidad inicial

$\rho_t$  = Índice de serviciabilidad final

Los índices de serviciabilidad son los siguientes:

Tabla 21. Calificación de los Índices de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad ( $PSI$ )	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 – 0	Muy mala

Fuente: Manual Completo Diseño de Pavimentos UMSS [35], pág. 127

El índice de serviciabilidad inicial ( $\rho_o$ ) en los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO presentaron un valor promedio de 4,2 y para pavimentos rígidos su valor es de 4,5. [35]

El índice de serviciabilidad final ( $\rho_t$ ) representa el valor más bajo que los usuarios de la vía pueden tolerar antes de que se requiera una rehabilitación o mantenimiento, su valor depende de la importancia de la vía teniendo los siguientes valores: [36]

- Para Vías con características de autopistas urbanas y troncales de alto tráfico.  $\rho_t = 2,5$  a  $3,0$  [36]
- Vías con características de autopistas urbanas, interurbanas y troncales de intensidad de tráfico normal.  $\rho_t = 2,0$  a  $2,5$  [36]
- Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas.  $\rho_t = 1,8$  a  $2,0$  [36]

#### 1.1.3.11.6. Módulo de Resiliencia ( $M_R$ )

La subrasante soporta toda la estructura del pavimento, por ello es necesario conocer la calidad relativa de la misma, el CBR es un ensayo que permite determinar esa calidad mediante la aplicación de cargas estáticas. El ensayo CBR fue reemplazado por el ensayo de Módulo Resiliente que describe de mejor manera el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas. [34]

La AASHTO ha correlacionado los valores de  $M_R$  en función del CBR para obtener las siguientes ecuaciones:

Tabla 22. Correlaciones entre el CBR y el Módulo de Resiliencia

Subrasante	Ecuación	Unidades
$CBR \leq 7,2 \%$	$M_R = 1500 * CBR$	Psi
$7,2 \% > CBR \leq 20,0\%$	$M_R = 3000 * CBR^{0,65}$	Psi
$CBR > 20,0 \%$	$M_R = (4326 * \ln CBR) + 241$	Psi

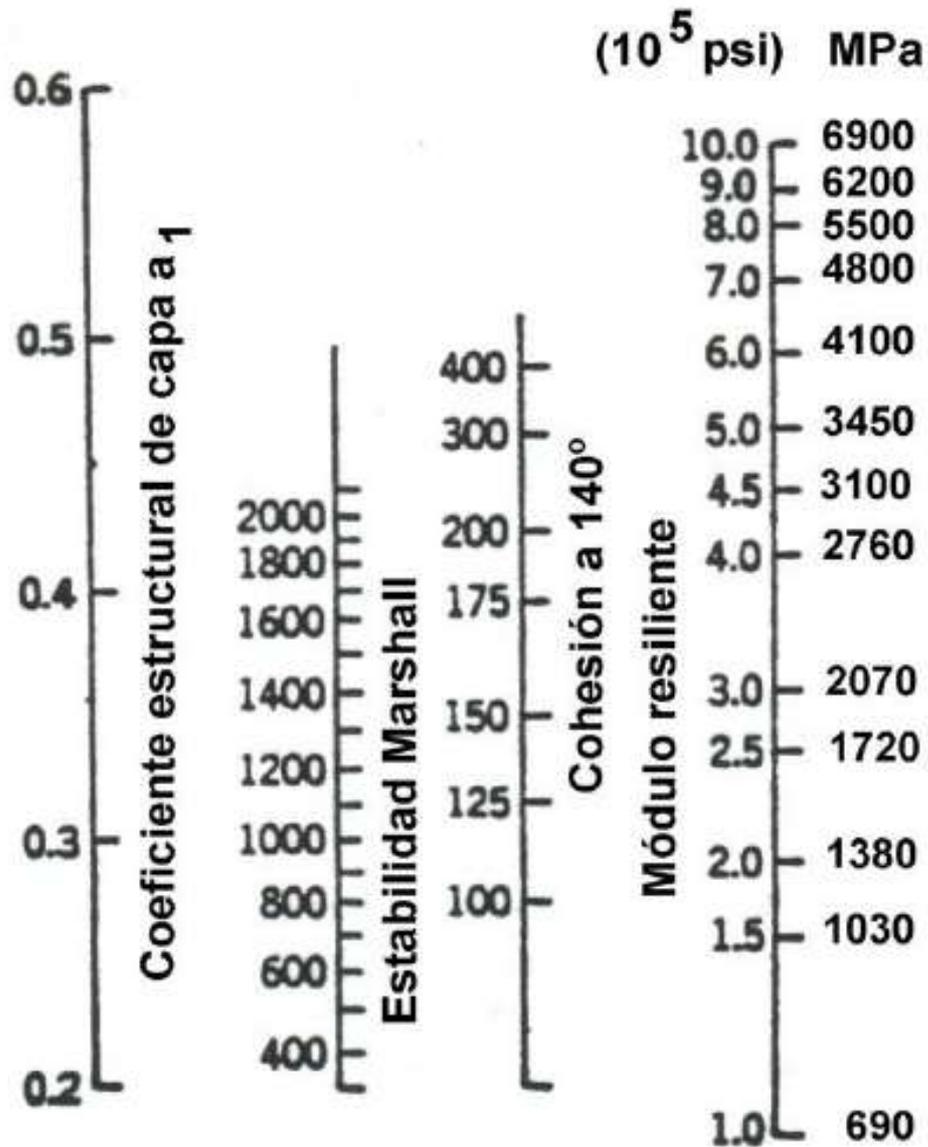
Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las guías de diseño AASHO [36], pág. 3-18

### 1.1.3.11.7. Coeficientes Estructurales y Módulos de Elasticidad

La AASHTO propone ábacos para determinar de manera apreciativa los valores de Coeficientes estructurales y el módulo de elasticidad de:

#### 1.1.3.11.7.1. Coeficiente estructural de Carpeta Asfáltica ( $a_1$ )

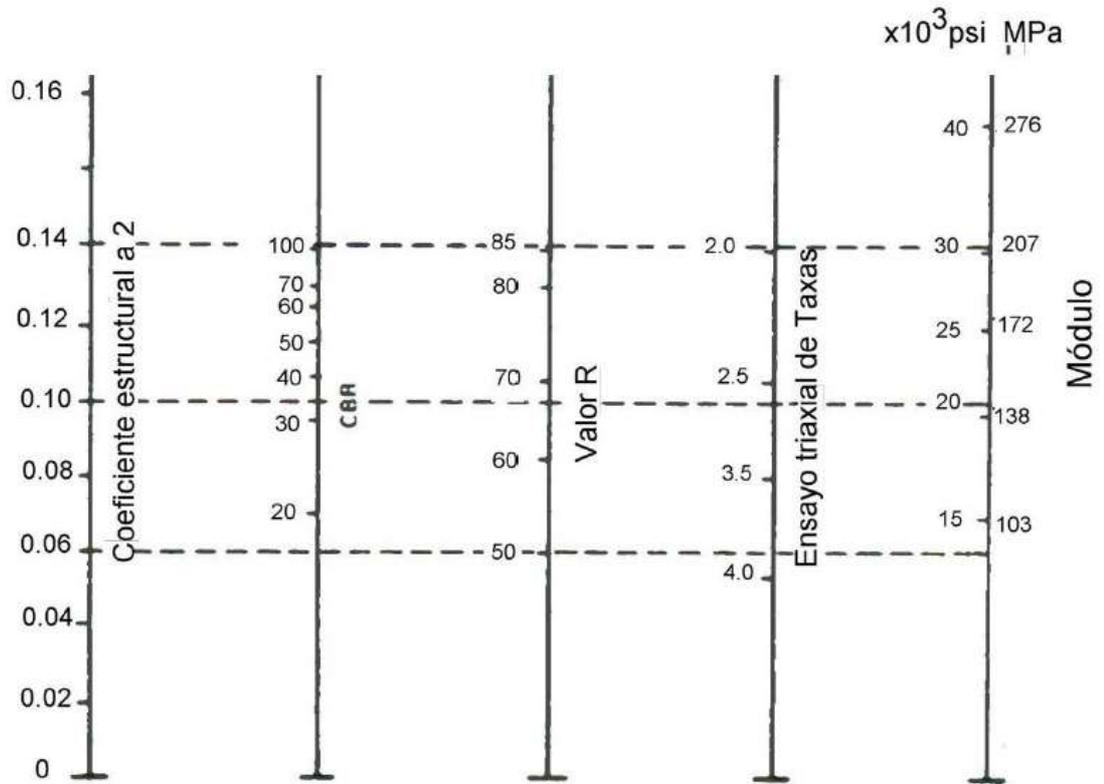
Figura 16. Coeficiente estructural para capa asfáltica relacionado con varios ensayos



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 110

### 1.1.3.11.7.2. Coeficiente estructural de Base (a<sub>2</sub>)

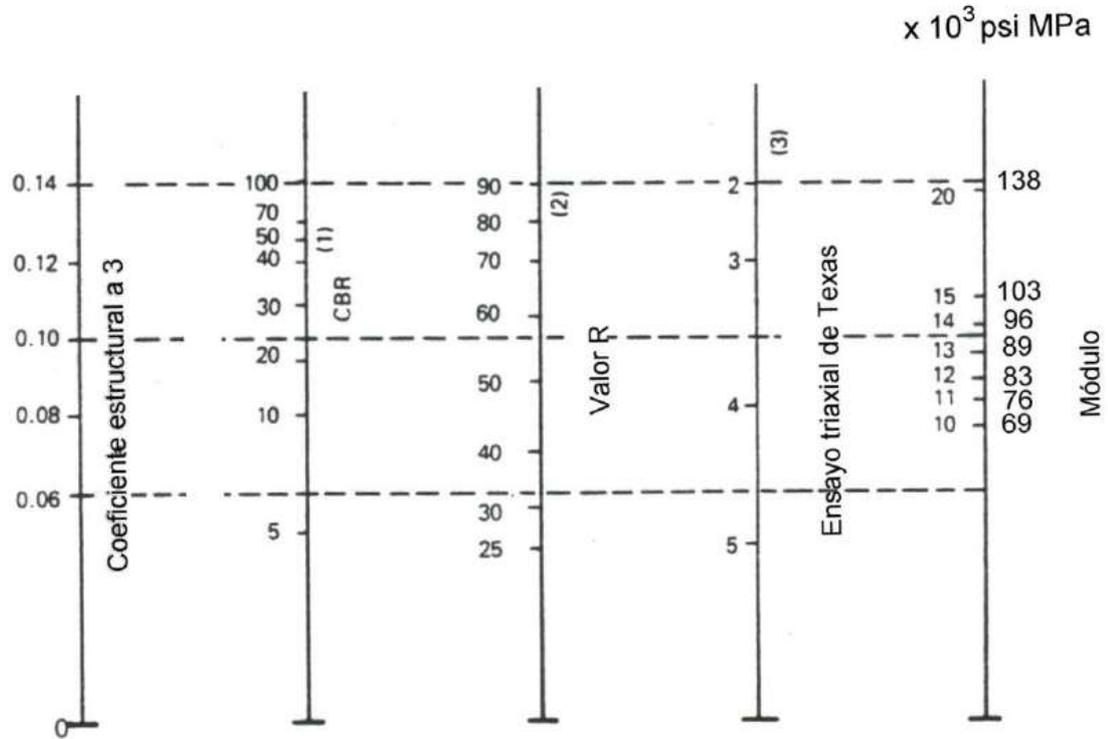
Figura 17. Coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 118

### 1.1.3.11.7.3. Coeficiente estructural de Subbase (a<sub>3</sub>)

Figura 18. Coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 118

### 1.1.3.11.8. Coeficientes de Drenaje (m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>)

La importancia de un buen drenaje radica en el aumento de la capacidad portante de la subrasante, por ende, se pueden usar menores espesores de capas en el pavimento. AASHTO califica la calidad del drenaje en función del tiempo que el agua tarda en ser desalojada de la base y subbase hasta un grado de saturación del 50% mientras que el 85% reduce significativamente el tiempo real usado para la calidad del drenaje. [34]

Las siguientes tablas permiten determinar los coeficientes de drenaje en función de la calidad del mismo y del tiempo en que el pavimento puede estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Tabla 23. Calidad del drenaje

<b>Calidad de drenaje</b>	<b>50% de saturación en:</b>	<b>85% de saturación en:</b>
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 148

Tabla 24. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

<b>Calidad de drenaje</b>	<b>% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>&lt;1%</b>	<b>1-5%</b>	<b>5-25%</b>	<b>&gt;25%</b>
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	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
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 148

#### **1.1.3.11.9. Números estructurales y espesores por capa**

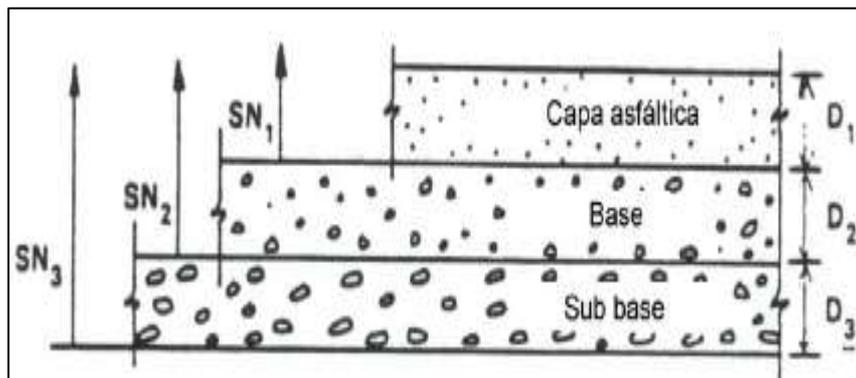
Para determinar los espesores de cada capa primero se debe encontrar el SN (plg) que requiere toda la estructura del pavimento. Esto se hace reemplazando todos los valores de la ecuación 58 y se despeja el SN, debido a la complejidad de la ecuación se puede optar por emplear iteraciones manuales, emplear Excel o el programa que proporciona la AASHTO.

Para la determinación de los espesores se usan las siguientes expresiones:

Figura 19. Programa .exe para determinación del SN

Fuente: AASHTO 93

Figura 20. Espesores y número estructural por capa del pavimento



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93 [23], pág. 148

Para determinar los números estructurales de capa se emplea el Módulo Resiliente de la capa que se encuentra inmediatamente por debajo.[35]

#### **1.1.3.11.9.1. Carpeta Asfáltica (SN<sub>1</sub>)**

Para determinar el espesor D<sub>1</sub> se considera el Módulo de Resiliencia de la capa base y se reemplaza en la ecuación 58 así por iteraciones se obtiene el SN<sub>1</sub>.

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

Ec. 60

#### **1.1.3.11.9.2. Base (SN<sub>2</sub>)**

Para determinar el espesor D<sub>2</sub> se considera el Módulo de Resiliencia de la subbase y se reemplaza en la ecuación 58 así por iteraciones se obtiene el SN<sub>2</sub>.

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

Ec. 61

#### **1.1.3.11.9.3. Subbase (SN<sub>3</sub>)**

Para determinar el espesor D<sub>3</sub> se considera el Módulo de Resiliencia de la subrasante y se reemplaza en la ecuación 58 así por iteraciones se obtiene el SN<sub>3</sub> = S<sub>n</sub> para toda la estructura del pavimento.

$$D_3 = \frac{SN - (SN_2)}{a_3 * m_3}$$

Ec. 62

#### **1.1.3.11.10. Espesores mínimos requeridos**

La AASHTO sugiera los siguientes espesores mínimos en función del número de ejes equivalentes.

Tabla 25. Espesores mínimos de Carpeta asfáltica y Base Granular, en función del número de ejes equivalentes

Cargas equivalentes (período diseño)	Espesor mínimo (cm)	
	Mezcla asfáltica (todas las capas)	Base y/o sub- Base granular
< 50.000	2,5 (*)	10,0
50.000 - 150.000	5,0	10,0
150.000 - 500.000	6,25	10,0
500.000 - 2.000.000	7,5	15,0
2.000.000 - 7.000.000	8,75	15,0
> 7.000.000	10,0	15,0

(\*) o tratamiento superficial, según tipo de vía

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO [36], pág. 3-46

#### 1.1.4. Hipótesis

##### 1.1.4.1. Hipótesis nula

No existe correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

##### 1.1.4.2. Hipótesis alternativa

Existe correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

#### 1.2. Objetivos

##### 1.2.1. Objetivo General

Determinar la correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa del cantón Ambato.
- Obtener las correlaciones experimentales entre las propiedades índice y mecánicas y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Obtener la correlación experimental entre el factor DCP y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Aplicar los valores de las correlaciones obtenidas en el diseño de un pavimento flexible.
- Realizar una zonificación general de los diferentes tipos de suelo de las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa.

## **CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.**

El Proyecto “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” es de carácter experimental y se emplea los siguientes tipos de Investigación:

### ➤ **Investigación Exploratoria**

Se inspeccionó las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa para seleccionar los puntos de estudio mediante un muestreo simple aleatorio, para determinar los patrones en las propiedades índice y mecánicas de estos suelos.

### ➤ **Investigación Experimental**

Se considera Investigación Experimental debido a los ensayos in situ, DCP y Densidad en Campo, como también los ensayos en laboratorio de: Granulometría, Límites de Atterberg, Gravedad Específica, Compactación para Proctor Modificado “B” y CBR para determinar las propiedades de las muestras extraídas.

### ➤ **Investigación Correlacional**

Mediante los resultados de los ensayos in situ y laboratorio, se determinará correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas como también correlaciones del CBR de laboratorio y estas propiedades. La finalidad de las correlaciones propuestas es servir de apoyo para comprobar y contrastar los resultados de laboratorio además de proveer una zonificación de los tipos de suelo del Cantón Ambato.

### ➤ **Investigación Explicativa**

Se considera una Investigación Explicativa por el detalle de los ensayos realizados además de indicar las relaciones causales entre las propiedades índice, mecánicas y el CBR que influyen en el factor de correlación.

## Población

La población para el presente proyecto corresponde al universo de suelos granulares de la zona Andina de las parroquias del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, Ecuador.

El proyecto pertenece al Macro Proyecto “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES. CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” con una totalidad de 108 muestras. Las parroquias que se encuentran dentro de la zona de estudio son:

Tabla 26. Zonas de Estudio del Macro Proyecto

<b>ZONA</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>Muestras</b>
Zona 1	Pasa	6
	San Fernando	6
Zona 2	Ambatillo	6
	Quisapincha	6
Zona 3	Constantino Fernández	6
	Pinllo	6
Zona 4	Atahualpa	6
	Augusto Martínez	6
Zona 5	Cunchibamba	6
	Unamuncho	6
Zona 6	Izamba	6
	Picaihua	6
Zona 7	Montalvo	6
	Totoras	6
Zona 8	Huachi Grande	6
	Santa Rosa	6
Zona 9	Juan Benigno Vela	6
	Pilahuín	6
<b>Total</b>	<b>18 parroquias</b>	<b>108</b>

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Muestra

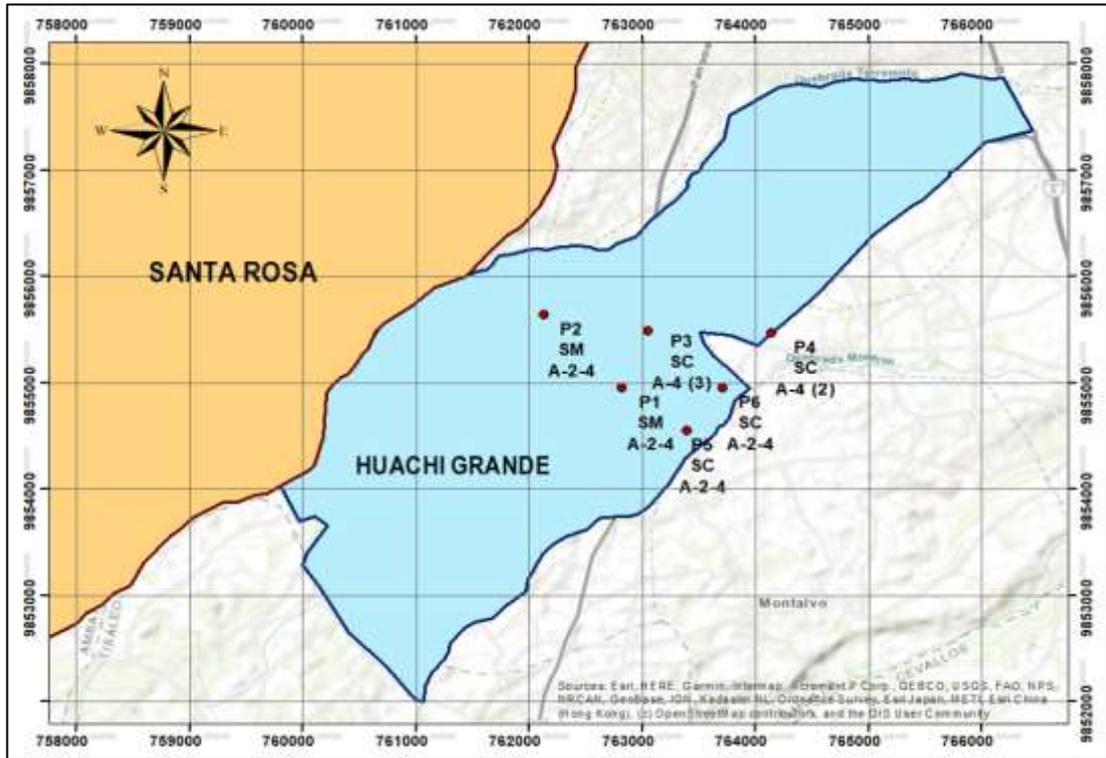
Debido a la gran extensión de la población se determina como muestra las parroquias de Huachi Grande y Santa Rosa (Zona 8), del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, con una cantidad de 12 muestras de 50 kg cada una, extraídas de las siguientes calicatas en los puntos de estudio seleccionados.

Tabla 27. Ubicación Georreferenciada de las muestras extraídas

<b>DATUM (WGS 84 ZONA 17 Sur)</b>				
<b>Parroquia</b>	<b>Vía a</b>	<b>Identificación</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
Huachi Grande	San José	P1	9854947 m	762824 m
		P2	9855641 m	762128 m
	La Florida	P3	9855489 m	763047 m
		P4	9855470 m	764143 m
	El Porvenir	P5	9854547 m	763396 m
		P6	9854948 m	763705 m
Santa Rosa	El Quinche	P7	9857693 m	759835 m
		P8	9856815 m	759924 m
	Las Lajas	P9	9856891 m	760891 m
		P10	9857241 m	760842 m
	El Tropezón	P11	9858396 m	760236 m
		P12	9858813 m	760852 m

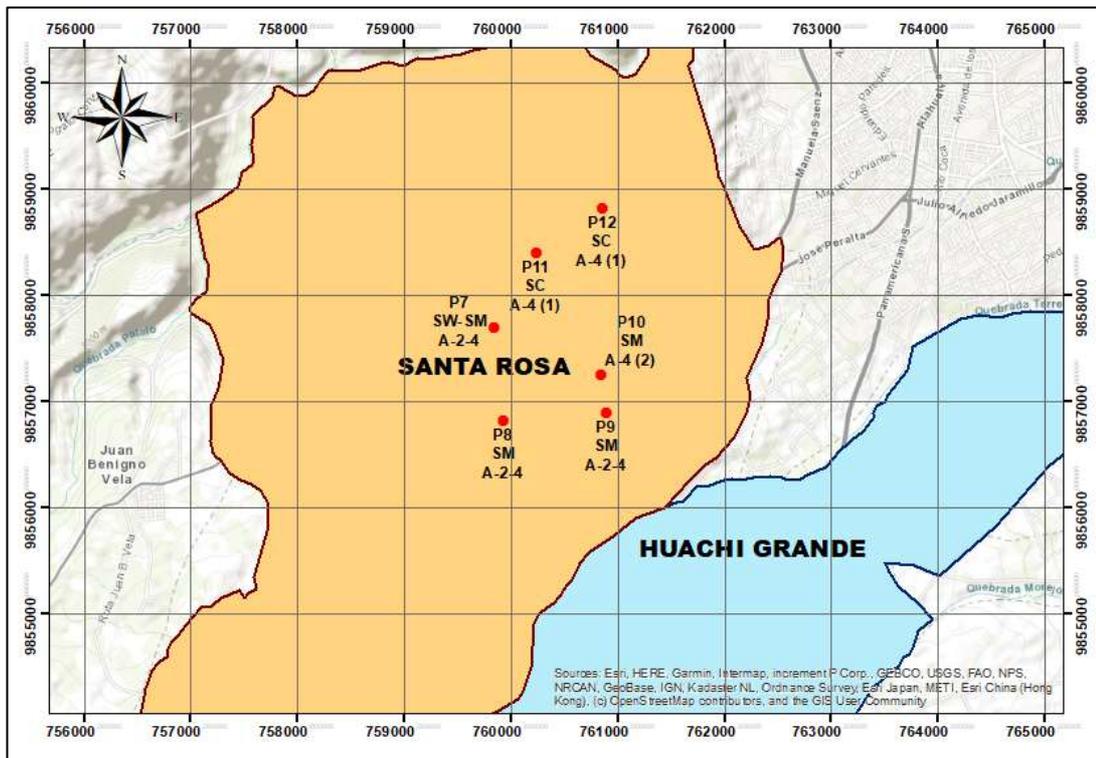
Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 21. Tipos de suelo según SUCS y AASHTO para Huachi Grande



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 22. Tipos de suelo según SUCS y AASHTO para Santa Rosa



Fuente: Hugo Vilema Peña

## 2.1. Materiales y Equipos

Para realizar el proyecto experimental se requirió de los ensayos, materiales, equipos y normas descritos en la Tabla 28.

Tabla 28. Materiales y Equipos necesarios para los ensayos

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a Cielo Abierto. (Calicata)	Muestras in situ	- Barra - Flexómetro - Pala - Pico - GPS	AASHTO T 87-70
Densidad de Campo. (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	- Balanza Electrónica d=0.01 g - Base de Placa metálica - Cincel - Cono - Clavos - Cuchareta - Martillo - Fundas de plástico - Recipiente metálico - Horno	AASHTO T 191 2014
Cono Dinámico de Penetración (DCP)	Muestras in situ	- Equipo DCP - Cuaderno de anotación	ASTM D 6951-03
Gravedad Específica	50 gr de suelo que pase el tamiz # 4	- Balanza Electrónica d=0.01 g - Tamiz #4 - Picnómetro - Embudo - Termómetro - Recipiente metálico - Pipeta - Baño María - Horno	AASHTO T 100 2015  ASTM D 854-58
Granulometría	250 gr de Muestra cuarteada	- Balanza Electrónica d=0.01 g - Horno - Tamizadora Eléctrica - Juego de Tamices - Brocha - Recipiente metálico	AASHTO T 88 2013
Límite Líquido (Método Copa de Casagrande)	150 gr de suelo que pase el tamiz # 40	- Balanza Electrónica d=0.01 g - Copa Casagrande - Espátula	AASHTO T 89 2013

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acanalador</li> <li>- Recipientes de aluminio</li> </ul>	
Límite Plástico	150 gr de suelo que pase el tamiz # 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza Electrónica d=0.01 g</li> <li>- Placa de vidrio</li> <li>- Fuente de mezclado</li> <li>- Recipientes de aluminio</li> </ul>	AASHTO T 90 2016
Proctor Modificado tipo "B"	24 kg de suelo que pase el tamiz # 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bandeja cuadrada metálica</li> <li>- Martillo de compactación</li> <li>- Molde Ø 6" con collarín y base</li> <li>- Recipientes de aluminio</li> <li>- Probeta graduada</li> <li>- Palustre</li> <li>- Enrazador</li> <li>- Balanza Electrónica d=0.01 g</li> </ul>	AASHTO T 180 2018
California Bearing Ratio (CBR)	18 kg de suelo que pase el tamiz # 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se repiten los equipos del Proctor</li> <li>- Cámara de curado</li> <li>- MULTISPEED 34-V1172</li> </ul>	AASHTO T 193 2013

Fuente: Hugo Vilema Peña

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Plan de Recolección de Datos

Para recolectar las 12 muestras se responde a las preguntas de la siguiente tabla.

Tabla 29. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
<b>¿Para qué?</b>	Correlacionar el CBR de laboratorio con las propiedades índice y mecánicas de los distintos suelos, para determinar el CBR de manera directa o indirecta por medio de propiedades conocidas, ahorrando tiempo al reducir el número de ensayos necesarios de forma habitual.
<b>¿A quiénes?</b>	A los suelos granulares de las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	Sobre las propiedades índice y mecánicas obtenidas mediante los ensayos in situ y de laboratorio, como también el CBR de laboratorio de las 12 muestras extraídas.
<b>¿Quién?</b>	Hugo Rodrigo Vilema Peña autor del trabajo experimental.
<b>¿Cuándo?</b>	Los ensayos de campo se realizarán desde el 18 de junio al 25 de junio, mientras que los ensayos de laboratorio se ejecutarán desde el 08 de julio al 30 de septiembre. El procesamiento y análisis de información se efectuará desde julio a noviembre.
<b>¿Dónde?</b>	Las muestras y ensayos in situ se realizarán en las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa. Los ensayos se llevarán a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
<b>¿Técnicas de Recolección?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para la recolección de muestras los ensayos se realizan según las normas de la Tabla 28.</li> <li>- Retirar la capa vegetal y realizar el pozo a cielo abierto.</li> <li>- Realizar la Densidad en Campo y luego el ensayo DCP.</li> <li>-Extraer aproximadamente 50 kg de suelo de la calicata, se pasa por el tamiz rectangular #4 y se coloca en la bandeja para su secado y posteriores ensayos.</li> <li>-En Granulometría se coloca una muestra representativa de suelo, completamente seca, en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura y se ubica en la tamizadora eléctrica.</li> <li>-Para realizar los límites de Atterberg y la Gravedad Específica las muestras deben pasar el tamiz #4.</li> <li>- Emplear 24 kg de suelo para el Proctor Modificado “B” para determinar la Humedad Óptima y Densidad Seca Máxima de las muestras.</li> <li>- En el ensayo de CBR se emplea la Humedad Óptima del Proctor.</li> </ul>

Fuente: Hugo Vilema Peña

Se presentan imágenes de los ensayos realizados:

- Pozo a Cielo Abierto

Figura 23. Realización del Pozo a Cielo Abierto



Fuente: Hugo Vilema Peña

- Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)

Figura 24. Realización de la Densidad de Campo



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 25. Peso del cono y la muestra extraída



Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Ensayo de Penetración Dinámica de Cono

- 1) Después de realizar la calicata y la Densidad de Campo se procede a armar el equipo DCP para su ensayo.
- 2) Se requiere mínimo de 3 personas para las funciones siguientes:
  - Persona 1: Quien contabiliza los golpes y registra la penetración del equipo.
  - Persona 2: Ejecuta el ensayo y lee la penetración que se marca en la regleta.
  - Persona 3: Sujeta el DCP del mango para su estabilización.
- 3) Realizar mínimo 3 perforaciones o más, si fuera del caso, en el que una perforación varíe de forma considerable en el número de golpes hasta llegar a la profundidad deseada (0,70 m).

Figura 26. Ensayo DCP



Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Granulometría

Figura 27. Ensayo Granulométrico



Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Límite Líquido

Figura 28. Ensayo de Límite Líquido



Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Límite Plástico

Figura 29. Ensayo de Límite Líquido



Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Gravedad Específica

Figura 30. Ensayo de Gravedad Específica



Fuente: Hugo Vilema Peña

- Proctor Modificado “B”

Figura 31. Ensayo Proctor



Fuente: Hugo Vilema Peña

- Relación de Soporte California (CBR)

Figura 32. Ensayo CBR



Fuente: Hugo Vilema Peña

### 2.2.2. Plan de Procesamiento y Análisis de Información.

#### Plan de procesamiento

- Realización de Tablas en Hojas de Cálculo de Excel 2016 para la Tabulación de datos obtenidos de los ensayos: DCP, Densidad de Campo, Granulometría, Límite Líquido, Límite Plástico, Gravedad Específica, Proctor y CBR de laboratorio. (Ver Anexo B)
- Elaboración de una tabla resumen con todas las propiedades de las 12 muestras ensayadas.

## Plan de análisis de la información

➤ Se correlacionará las propiedades mecánicas, índice y CBR en regresiones simples de 2 variables: y también se emplearán regresiones múltiples de 3 variables del tipo: lineal, exponencial, logarítmica y potencial.

- Correlación y Regresión Simple

El programa Excel correlaciona de manera directa dos variables además permite presentar la ecuación de la línea de regresión y el valor del coeficiente de determinación.

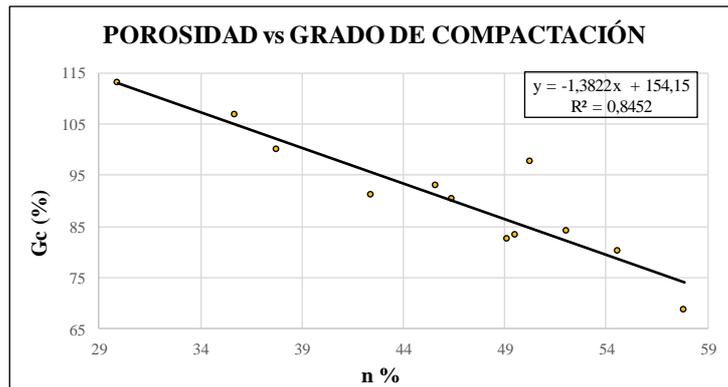


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

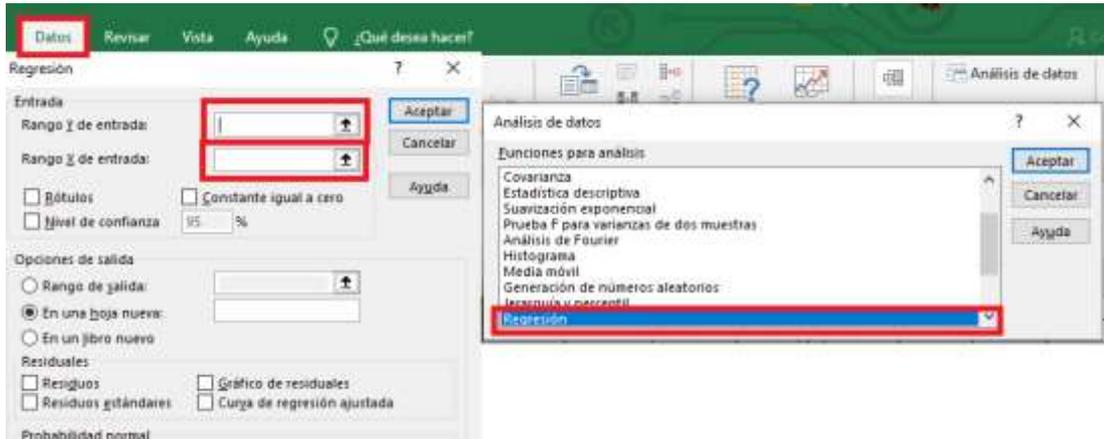
	n %	Gc %
#	X	Y
1	57,86	68,42
2	52,05	83,83
3	35,71	106,63
4	42,41	90,83
5	49,55	82,99
6	37,75	99,82
7	54,55	79,89
8	50,27	97,49
9	45,58	92,82
10	49,10	82,26
11	46,40	90,22
12	29,92	112,75



Se seleccionan todos los datos X y Y, se procede a insertar una dispersión y se selecciona la línea de tendencia en la que el coeficiente  $R^2$  este más cercano a 1.

Para las Correlaciones Múltiples se emplearán los siguientes formatos de Excel, y para determinar el coeficiente de correlación se empleará la herramienta “Análisis de datos”, “Regresión” en donde los rangos de entrada X y Y estarán determinados por el tipo de correlación.

Figura 33. Herramienta Análisis de Datos - Regresión



Fuente: Excel 2016

- Formato Excel para Correlación Múltiple Lineal



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

	Variable 1	Variable 2	Variable 3					
#	X	Y	Z	XZ	YZ	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
<b>Σ</b>								

**Ecuación Lineal Múltiple**       $Z = a_0 + a_1X + a_2Y$

**Sistema de Ecuaciones**

$$\Sigma Z = a_0n + a_1(\Sigma X) + a_2(\Sigma Y)$$

$$\Sigma XZ = a_0(\Sigma X) + a_1(\Sigma X^2) + a_2(\Sigma XY)$$

$$\Sigma YZ = a_0(\Sigma Y) + a_1(\Sigma XY) + a_2(\Sigma Y^2)$$

Los coeficientes se determinan mediante el método de matriz inversa.

Rango Y de entrada: Z

Rango X de entrada: X y Y

- Formato Excel para Correlación Múltiple Logarítmica



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

	Variable 1	Variable 2	Variable 3						
#	X	Y	Z	X'=log(x)	X'Z	YZ	X'Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
<b>Σ</b>									

Ecuación Logarítmica Múltiple  $Z = a_0 + a_1 \log X + a_2 Y$

Sistema de Ecuaciones

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

Los coeficientes se determinan mediante el método de matriz inversa.

Rango Y de entrada: Z

Rango X de entrada: X' y Y

- Formato Excel para Correlación Múltiple Exponencial



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

	Variable 1	Variable 2	Variable 3						
#	X	Y	Z	Z'=Ln(z)	XZ'	YZ'	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
<b>Σ</b>									

Ecuación Exponencial Múltiple  $Z = a'_0 + e^{a_1 X} + e^{a_2 Y}$

Sistema de Ecuaciones  $\begin{aligned} \Sigma Z' &= a_0 n + a_1 (\Sigma X) + a_2 (\Sigma Y) \\ \Sigma XZ' &= a_0 (\Sigma X) + a_1 (\Sigma X^2) + a_2 (\Sigma XY) \\ \Sigma YZ' &= a_0 (\Sigma Y) + a_1 (\Sigma XY) + a_2 (\Sigma Y^2) \end{aligned}$

Corrección del coeficiente  $a'_0 = e^{a_0}$

Los coeficientes se determinan mediante el método de matriz inversa.

Rango Y de entrada: Z'

Rango X de entrada: X y Y

- Formato Excel para Correlación Múltiple Potencial



PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

	Variable 1	Variable 2	Variable 3								
#	X	Y	Z	X'=log(x)	Y'=log(y)	Z'=log(z)	X'Z'	Y'Z'	X'Y'	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
$\Sigma$											

Ecuación Potencial  $Z = a'_0 + X^{a_1} + Y^{a_2}$   
 Múltiple

$$\Sigma Z' = a_0 n + a_1 (\Sigma X') + a_2 (\Sigma Y')$$

Sistema de Ecuaciones

$$\Sigma X'Z' = a_0 (\Sigma X') + a_1 (\Sigma X'^2) + a_2 (\Sigma X'Y')$$

$$\Sigma Y'Z' = a_0 (\Sigma Y') + a_1 (\Sigma X'Y') + a_2 (\Sigma Y'^2)$$

Corrección de coeficiente

$$a'_0 = 10^{a_0}$$

Los coeficientes se determinan mediante el método de matriz inversa.

Rango Y de entrada: Z'

Rango X de entrada: X' y Y'

- Solo se tomarán en cuenta las correlaciones cuyo factor de correlación en porcentaje sea mayor a 50% para su interpretación y se empleará Matlab 2015 para graficar las correlaciones de 3 variables.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a las correlaciones seleccionadas.
- Analizar los diseños de un pavimento flexible empleando el valor CBR de laboratorio y el otro usando los valores CBR de correlaciones.

## **CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Análisis y discusión de los resultados**

#### **3.1.1. Características Generales de los suelos estudiados**

Los valores a continuación representan los rangos de las propiedades de las 12 muestras analizadas.

- Los suelos extraídos en la Parroquia de Huachi Grande en su mayoría eran de color café, duros, y con gran porcentaje de vegetación.
- Los suelos de la Parroquia de Santa Rosa en su mayoría eran de color negro, suaves y porosos típico de las arenas a excepción de las muestras tomadas por el sector del Socavón en donde el color cambia a café amarillento.
- La Humedad Natural para Huachi Grande varía entre 6,41% a 18,45% mientras que para Santa Rosa oscila entre 4,97% - 11,14%.
- La Densidad Húmeda para Huachi Grande varía entre 1,191 gr/cm<sup>3</sup> a 1,839 gr/cm<sup>3</sup> mientras que para Santa Rosa oscila entre 1,269 gr/cm<sup>3</sup> – 1,948 gr/cm<sup>3</sup>.
- La Densidad Seca in situ para Huachi Grande varía entre 1,116 gr/cm<sup>3</sup> a 1,705 gr/cm<sup>3</sup> mientras que para Santa Rosa oscila entre 1,204 gr/cm<sup>3</sup> – 1,857 gr/cm<sup>3</sup>.
- La Relación de Vacíos en Huachi Grande va desde 0,56 a 1,37 en cambio Santa Rosa presenta rangos desde 0,43 - 1,2.
- La Porosidad de los suelos de Huachi Grande va desde 35,71% a 57,86% en cambio Santa Rosa presenta rangos desde 29,92% - 54,55%.
- El Grado de Saturación del Agua en los suelos de Huachi Grande va desde 12,79% a 49,96% en cambio Santa Rosa presenta rangos desde 11,92% - 30,48%. Para determinar los grados de Saturación del Aire se resta los valores presentado de 100% respectivamente.
- El ensayo granulométrico determinó que el porcentaje de grava en las muestras de Huachi Grande va desde 0% a 3,32% mientras que Santa Rosa presenta un 0% de grava en sus suelos.
- El ensayo granulométrico determinó que el porcentaje de arena en las muestras de Huachi Grande varía desde 51,60% a 67,82% mientras que Santa Rosa presenta un rango de 57,76% a 89,04% de arena en sus suelos.

- El porcentaje de finos en suelos de Huachi Grande varía desde 28,86% a 48,40% mientras que Santa Rosa presenta un rango de 10,96% a 42,24% de finos en sus suelos.
- El Coeficiente de Uniformidad de los suelos de Huachi Grande oscila entre 2,7 y 5,8 por su parte Santa Rosa muestra valores de 2 a 3,43.
- El Coeficiente de Curvatura de la granulometría de Huachi Grande varía de 0,44 a 0,73 y para Santa Rosa esta desde 0,64 a 1,13.
- El Tamaño Nominal Máximo de las muestras de Huachi Grande oscila entre 0,297 mm a 2,38 mm mientras que el TNM de Santa Rosa va desde 0,149 mm a 0,595 mm.
- De acuerdo a la clasificación SUCS la mayoría de suelos en Huachi Grande son Arenas Arcillosas (SC) salvo las muestras vía a San José donde el suelo es Arena Limosa (SM).
- De acuerdo a la clasificación SUCS la mayoría de suelos en Santa Rosa son Arenas Limosas (SM) con excepción de las muestras por el Socavón que se clasificaron como Arenas Arcillosas (SC).
- Los Suelos de Santa Rosa y Huachi Grande según el Método AASHTO de clasificación se encuentran en los grupos A-2-4 y A-4.
- De acuerdo a los ensayos de laboratorio Huachi Grande presenta Límites Líquidos desde 20,84% a 26,33% y Santa Rosa posee un rango de 19,39% a 30,77%.
- El Límite Plástico para Huachi Grande oscila entre 18,24% - 25,41% por su parte Santa Rosa tiene valores desde 16,67% a 30,28%.
- El Índice Plástico de las muestras de Huachi Grande está de 0,83% – 3,72% y para Santa Rosa 0,15% – 2,72%.
- La Gravedad Específica de los suelos de Huachi Grande oscila entre 2,395 a 2,513 y Santa Rosa tiene rangos de 2,460 a 2,531 valores propios de suelos granulares
- La Densidad Seca Máxima de las muestras de Huachi Grande va desde 1,514 gr/cm<sup>3</sup> – 1,674 gr/cm<sup>3</sup>, con una Humedad Óptima desde 14,60% a 18,4%
- Santa Rosa alcanzó una Densidad Seca Máxima de 1,352 gr/cm<sup>3</sup> – 1,648 gr/cm<sup>3</sup>, para Humedades Óptimas que varían de 10,20% a 19,7%

- Los porcentajes de CBR más altos que alcanzaron las muestras de Huachi Grande fueron de 23% a 69,5% mientras que Santa Rosa presentó valores desde 15,4% a 49,50%.
- El Índice de Penetración del DCP para los suelos de Huachi Grande varía desde 9,93 mm/golpe a 38,19 mm/golpe mientras que en Santa Rosa presentó valores desde 9,61 mm/golpe a 45,82 mm/golpe.

### 3.1.2. Propiedades del Suelo

Nomenclatura	Significado	Unidades
$W_{nat}$	Humedad Natural	%
$\gamma_h$	Densidad húmeda in situ	gr/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	Densidad seca in situ	gr/cm <sup>3</sup>
$e\%$	Relación de vacíos	-
$n$	Porosidad	%
$G_w$	Grado de saturación del agua	%
$G_a$	Grado de saturación del aire	%
$G_a$	Grado de saturación del aire	%
%G	Porcentaje de grava en la muestra	%
%S	Porcentaje de arena en la muestra	%
%F	Porcentaje de finos en la muestra	%
$C_u$	Coefficiente de uniformidad	-
$C_c$	Coefficiente de curvatura	-
$TNM$	Tamaño Nominal Máximo	-
$SUCS$	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	-
$AASHTO$	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte Oficial	-
$LL$	Límite Líquido	%
$LP$	Límite Plástico	%
$IP$	Índice Plástico	%
$G_s$	Gravedad Específica	-
$\gamma_d máx$	Densidad Seca Máxima	gr/cm <sup>3</sup>
$W_{opt}$	Humedad Óptima	%
$G_c$	Grado de compactación	%
0,1"	CBR para 0,1 pulgadas de penetración	%
0,2"	CBR para 0,2 pulgadas de penetración	%
$CBR mayor$	CBR mayor entre 0,1 y 0,2 pulgas	%
$DN$	Índice de Penetración	mm/golpe

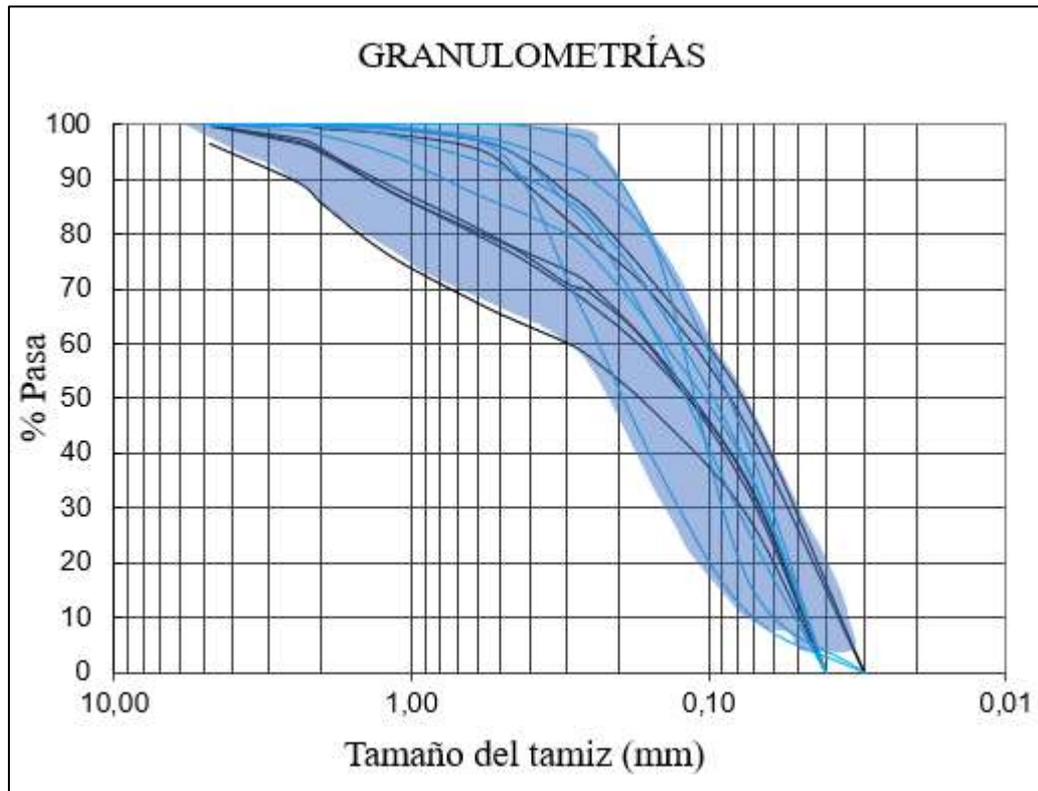
Tabla 30. Resumen de las propiedades de los suelos ensayados

UBICACIÓN	Muestra #	Pozo	W nat (%)	DENSIDAD DE CAMPO						GRANULOMETRÍA						CLASIFICACIÓN	
				$\gamma_h$ in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	e	n (%)	Gw (%)	Ga (%)	%G grava	%S arena	%F fino	Cu	Cc	TNM	SUCS	ASSHTO
				Huachi Grande - San José	1	P1	6,64	1,191	1,116	1,37	57,86	12,79	87,21	0,36	64,32	35,32	3,83
	2	P2	12,01	1,421	1,270	1,09	52,05	28,86	71,14	0,00	65,17	34,83	3,48	0,57	1,190	SM	A-2-4
Huachi Grande - La Florida	3	P3	7,91	1,839	1,705	0,56	35,71	37,93	62,07	0,00	51,60	48,40	2,70	0,73	0,297	SC	A-4 (3)
	4	P4	9,99	1,673	1,525	0,74	42,41	34,55	65,45	0,00	55,44	44,56	3,24	0,68	0,420	SC	A-4 (2)
Huachi Grande - El Porvenir	5	P5	18,45	1,584	1,337	0,98	49,55	49,96	50,04	0,24	66,29	33,47	3,20	0,61	1,190	SC	A-2-4
	6	P6	6,41	1,758	1,650	0,61	37,75	28,66	71,34	3,32	67,82	28,86	5,80	0,44	2,380	SC	A-2-4
Santa Rosa - El Quinche	7	P7	5,39	1,269	1,204	1,20	54,55	11,92	88,08	0,00	89,04	10,96	3,43	1,01	0,420	SW-SM	A-2-4
	8	P8	8,58	1,431	1,318	1,01	50,27	22,60	77,40	0,00	83,08	16,92	2,00	1,13	0,149	SM	A-2-4
Santa Rosa - Las Lajas	9	P9	5,86	1,525	1,435	0,84	45,58	18,12	81,88	0,00	73,60	26,40	3,00	0,85	0,297	SM	A-2-4
	10	P10	11,14	1,498	1,349	0,96	49,10	30,38	69,62	0,00	57,76	42,24	2,28	0,77	0,250	SM	A-4 (2)
Santa Rosa - El Tropezón	11	P11	8,51	1,538	1,420	0,87	46,40	25,40	74,60	0,00	62,68	37,32	3,11	0,64	0,595	SC	A-4 (1)
	12	P12	4,97	1,948	1,857	0,43	29,92	30,48	69,52	0,00	61,96	38,04	2,72	0,73	0,297	SC	A-4 (1)

UBICACIÓN	Muestra #	Pozo	LÍMITE LÍQUIDO (LL)	LÍMITE PLÁSTICO (LP)	ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)	COMPACTACIÓN			CBR (%)		CBR mayor (%)	DCP (DN)
							$\gamma_d$ máx (gr/cm <sup>3</sup> )	W opt (%)	Gc (%)	95% $\gamma_d$ máx			
										0,1"	0,2"		(mm/golpe)
Huachi Grande - San José	1	P1	21,83	21,00	0,83	2,413	1,625	17,00	68,68	27,4	33,7	33,70	19,15
	2	P2	26,33	25,41	0,92	2,513	1,514	18,40	83,88	28,5	34,3	34,30	21,26
Huachi Grande - La Florida	3	P3	21,44	19,05	2,39	2,413	1,601	16,60	106,50	21,0	25,5	25,50	38,19
	4	P4	21,96	18,24	3,72	2,403	1,674	16,80	91,10	57,5	69,5	69,50	9,93
Huachi Grande - El Porvenir	5	P5	20,84	18,53	2,31	2,509	1,613	14,60	82,89	16,0	23,0	23,00	16,51
	6	P6	21,55	19,55	2,00	2,395	1,653	16,50	99,82	23,0	30,0	30,00	14,53
Santa Rosa - El Quinche	7	P7	26,48	25,62	0,86	2,463	1,503	10,20	80,11	15,5	18,7	18,70	45,82
	8	P8	30,77	30,28	0,49	2,463	1,352	14,00	97,49	11,3	15,4	15,40	19,53
Santa Rosa - Las Lajas	9	P9	24,09	23,91	0,18	2,478	1,548	16,40	92,70	21,7	26,2	26,20	31,54
	10	P10	20,36	20,21	0,15	2,483	1,611	16,20	83,74	27,2	35,0	35,00	10,55
Santa Rosa - El Tropezón	11	P11	19,93	18,34	1,59	2,531	1,548	19,70	91,73	45,0	49,5	49,50	20,52
	12	P12	19,39	16,67	2,72	2,460	1,648	15,20	112,68	27,0	39,5	39,50	9,61

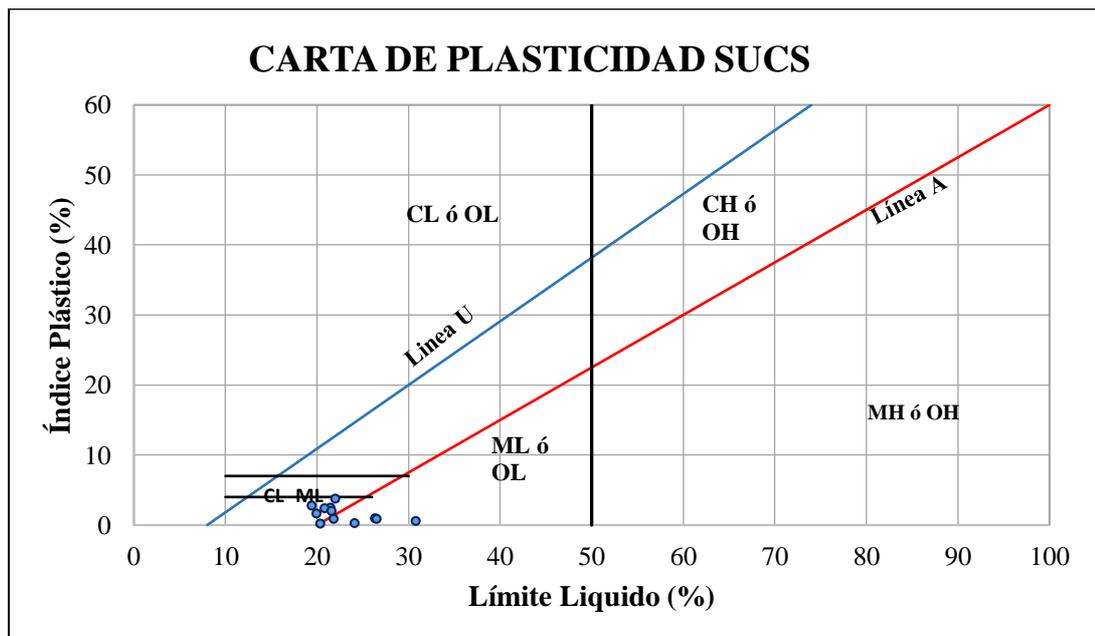
Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 34. Rango Granulométrico de los suelos ensayados



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 35. Representación de los suelos ensayados en la Carta de Plasticidad



Fuente: Hugo Vilema Peña

### 3.1.3. Correlaciones

#### 3.1.3.1. Resumen de Correlaciones realizadas

Tabla 31. Correlaciones entre propiedades índice, mecánicas y CBR

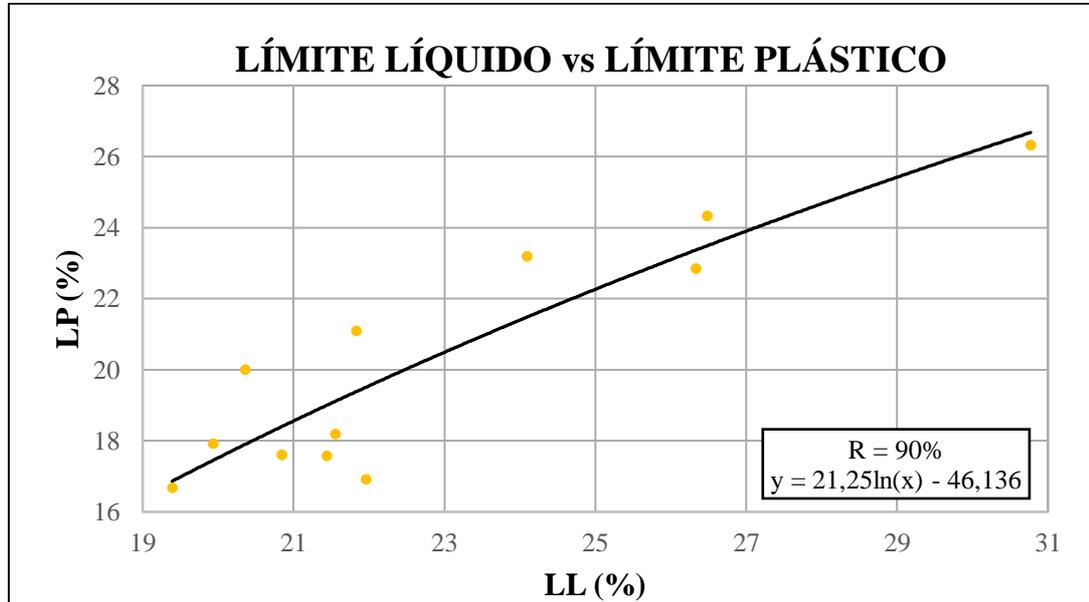
#	ECUACIÓN	Correlación (r%)	Función	Datos	Figura
<b>Correlaciones entre Propiedades Índice</b>					
1	$LP = -46,136 + 21,25\ln(LL)$	90	Logarítmica	12	36
2	$Gw = 9,217 + 2,088Wnat$	73	Lineal	12	37
3	$Ga = 94,667 * e^{(-0,032*Wnat)}$	76	Exponencial	12	38
4	$\gamma d \text{ máx} = 2,272 * e^{(-0,016*LL)}$	90	Exponencial	12	39
5	$\gamma d \text{ máx} = 2,0551 - 0,0235LP$	85	Lineal	12	40
6	$\gamma h \text{ in situ} = 4,655 - 1,035\ln(LP)$	73	Logarítmica	12	41
7	$Gc = 14,623 + 48,86(\gamma h \text{ in situ})$	88	Lineal	12	42
8	$Gc = 64,007 + 76,385\ln(\gamma d \text{ in situ})$	92	Logarítmica	12	43
9	$Gc = 127,53 - 41,503(e\%)$	92	Lineal	12	44
10	$Gc = 154,15 - 1,3822(n)$	91	Lineal	12	45
11	$\gamma d \text{ máx} = 1,844 * e^{(-0,217Cc)}$	72	Exponencial	12	46
12	$Cc = 1,378 * e^{(-0,211*Cu)}$	74	Exponencial	12	47
13	$TNM = -1,2916 + 0,6232(Cu)$	91	Lineal	12	48
14	$TNM = 6,282 * e^{(-3,447*Cc)}$	83	Exponencial	12	49
<b>Correlaciones DN y Propiedades Índice</b>					
15	$DN = 2,205 * e^{(0,102*LP)}$	70	Exponencial	11	50
16	$DN = -198,012 + 70,959\ln(LL)$	62	Logarítmica	11	51
17	$DN = 107,3 - 31,71\ln(Wopt)$	63	Logarítmica	11	52
18	$DN = 59,323 - 17,11\ln(Wnat)$	54	Logarítmica	11	53
19	$CBR_{mayor} = 82,109 - 16,57\ln(DN)$	57	Logarítmica	12	54
<b>Correlaciones CBR y Propiedades Índice</b>					
20	$CBR_{mayor} = 0,205 * e^{(3,172*\gamma d \text{ máx})}$	69,00	Exponencial	12	55
21	$CBR_{mayor} = 6,616 * e^{(0,095*Wopt)}$	67,00	Exponencial	12	56
#	ECUACIÓN	Correlación (r%)	Función	Datos	Figura
<b>Correlación 3 Variables</b>					
22	$\gamma d \text{ máx} = 2,133 - 0,019LL - 0,006LP$	90	Lineal	12	57
23	$\gamma d \text{ máx} = 2,0655 - (0,0223LL) - (0,0008*F)$	90	Lineal	12	60
24	$CBR_{mayor} = 32,232 + e^{(-0,0514LL)} + e^{(0,07Wopt)}$	77	Exponencial	12	62
25	$CBR_{mayor} = 0,868 + \gamma d \text{ in situ}^{(0,269)} + Wopt^{(1,258)}$	66	Potencial	12	64
26	$CBR_{mayor} = 33,752 + e^{(-0,0318LL)} + e^{(0,0192*F)}$	72	Exponencial	12	66
27	$CBR_{mayor} = 0,8195 + IP^{(-0,0226)} + Wopt^{(1,319)}$	66	Potencial	12	68

Fuente: Hugo Vilema Peña

### 3.1.3.2. Análisis de Correlaciones

#### Correlación # 1

Figura 36. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$LP = -46,136 + 21,25 \ln LL$$

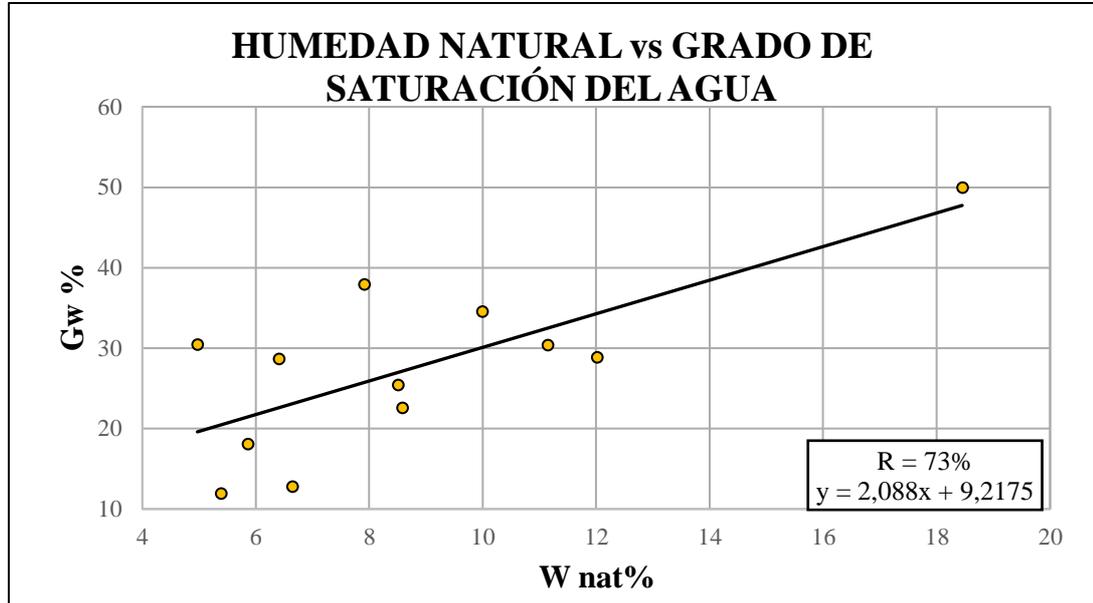
Ec. 63

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 90%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades índice.

Esta tendencia muestra una relación directamente proporcional ya que mientras mayor sea el LL que ese suelo pueda alcanzar significa que la frontera de contenido de humedad para que se comporte como un plástico crecerá por ende al momento de realizar el ensayo de LP el contenido de humedad por debajo del cual se considera como material plástico también aumentará. En el caso de que el LP es mayor o igual al LL se consideran como suelos no plásticos, y la correlación bajará.

## Correlación # 2

Figura 37. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación del Agua



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Gw = 9,217 + 2,088 W_{nat}$$

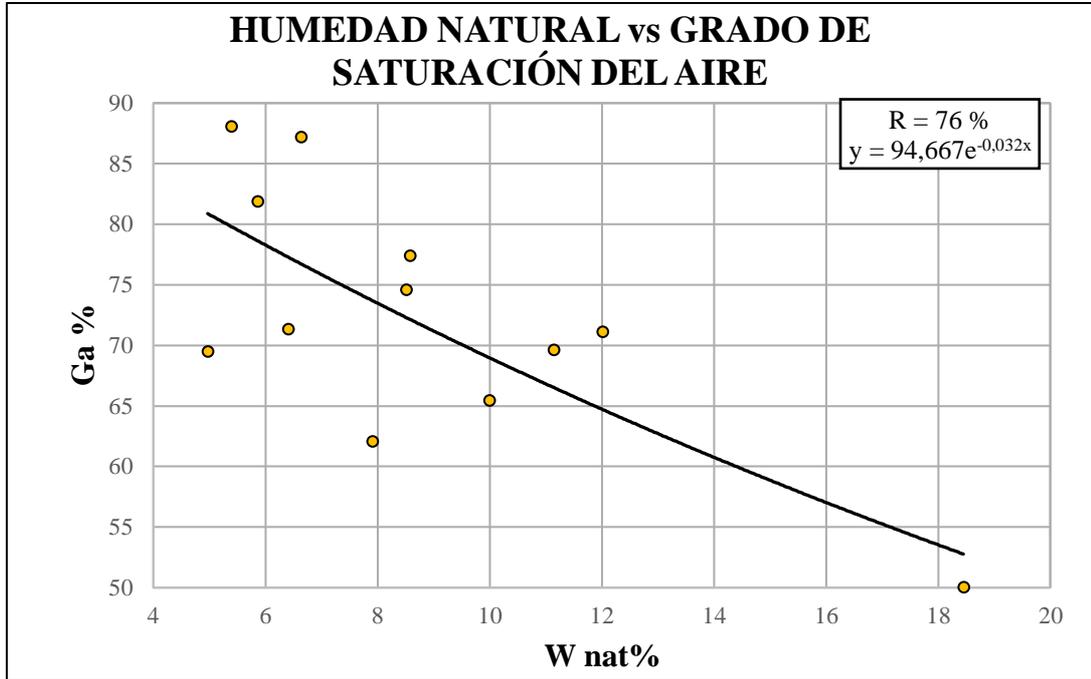
Ec. 64

La gráfica muestra una tendencia lineal entre la Humedad Natural ( $W_{nat}$ ) y el Grado de Saturación del Agua ( $Gw\%$ ), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 73%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades índice.

El  $Gw\%$  es directamente proporcional al  $W_{nat}$ , debido a que mientras más humedad natural tenga la masa de suelo mayor será el volumen de agua, pudiendo ir desde 0% (suelo seco) a 100% (suelo saturado).

### Correlación # 3

Figura 38. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación del Aire



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Ga = 94,667 + e^{-0,032*W_{nat}}$$

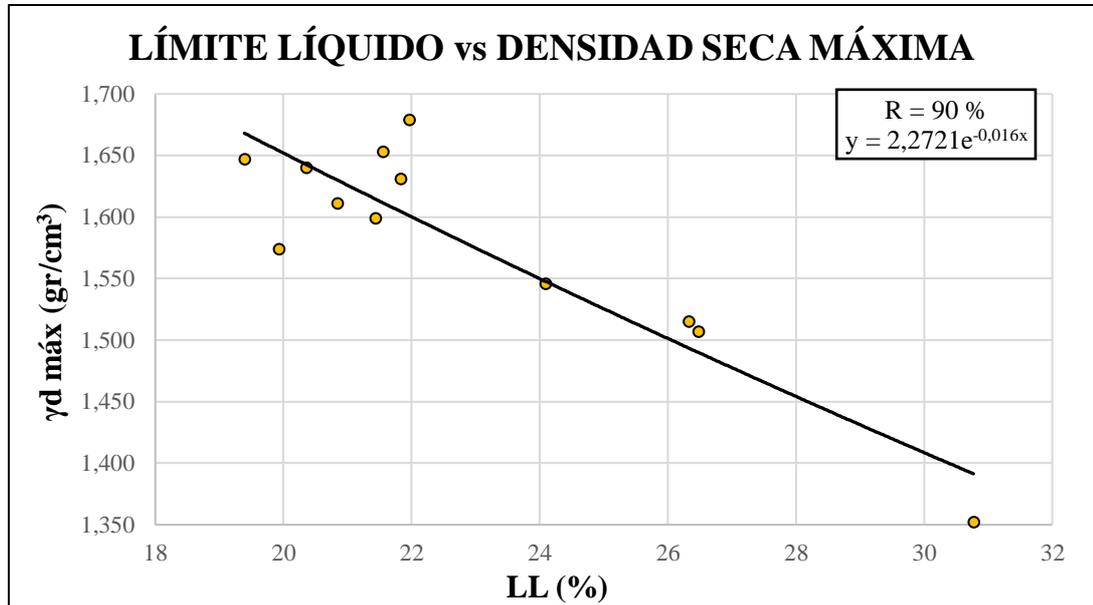
Ec. 65

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre la Humedad Natural ( $W_{nat}$ ) y el Grado de Saturación del Aire ( $Ga\%$ ), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 76%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades índice.

El  $Ga\%$  es inversamente proporcional a la  $W_{nat}$ , mientras más  $W_{nat}$  posea la masa de suelo, menor será la relación de vacíos y por ende el volumen de aire se reducirá hasta llegar al 0% (suelo saturado).

## Correlación # 4

Figura 39. Correlación Límite Líquido vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$\gamma_{d\text{ máx}} = 2,272 * e^{-0,016*LL}$$

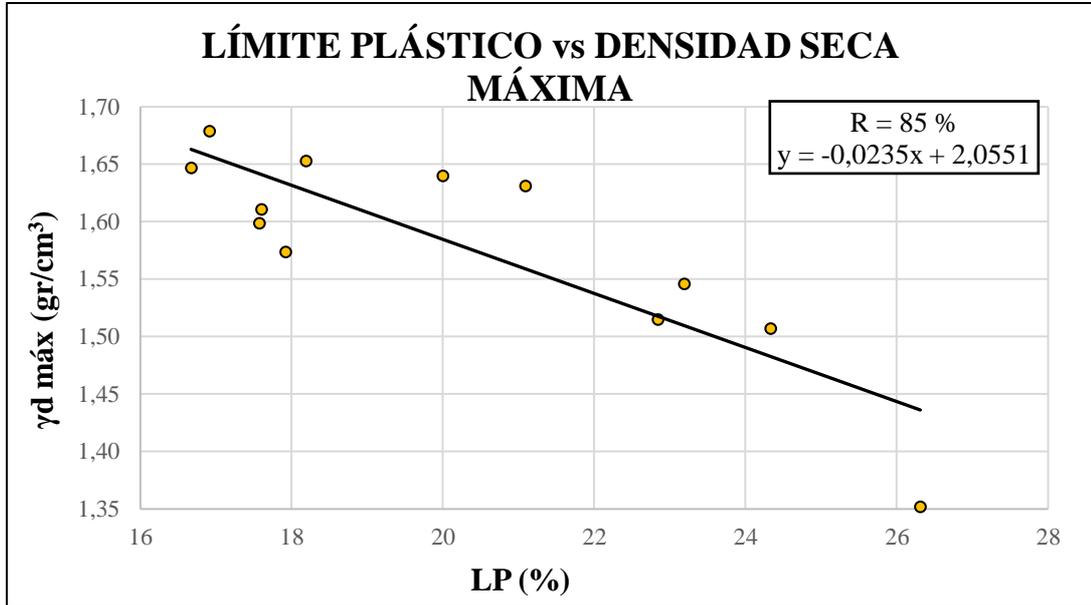
Ec. 66

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Límite Líquido (LL) y la Densidad Seca Máxima ( $\gamma_d$  máx.), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 90%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades.

El LL determina la plasticidad de un suelo, por tal motivo mientras mayor sea el LL de un suelo mayor será la cantidad de humedad que puede absorber. La curva de compactación de ese suelo se establecerá para humedades altas y la  $\gamma_d$  máx. será menor al ser inversamente proporcional al contenido de humedad del suelo.

### Correlación # 5

Figura 40. Correlación Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$\gamma_d \text{ máx} = 2,0551 - 0,0235LP$$

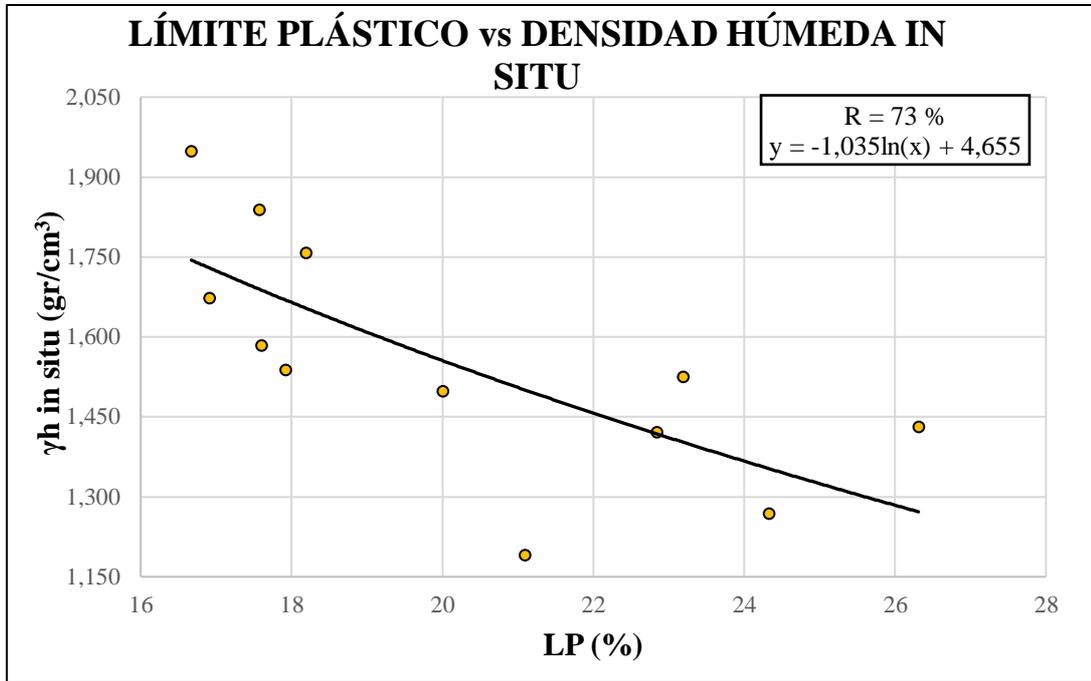
Ec. 67

La gráfica muestra una tendencia lineal entre el Límite Plástico (LP) y la Densidad Seca Máxima ( $\gamma_d$  máx.), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 85%, proporcionando una relación aceptable entre ambas propiedades.

El LP establece la cantidad mínima de agua para amasar el suelo sin fisurarlo, por ende, mientras mayor sea el LP mayor será el contenido de humedad que ese suelo puede alcanzar. Aumentarán los valores de contenido de humedad reduciendo el valor de  $\gamma_d$  máx. ya que está en función del contenido de humedad.

## Correlación # 6

Figura 41. Correlación Límite Plástico vs Densidad Húmeda In Situ



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$\gamma_{h \text{ in situ}} = 4,655 - 1,035 \ln LP$$

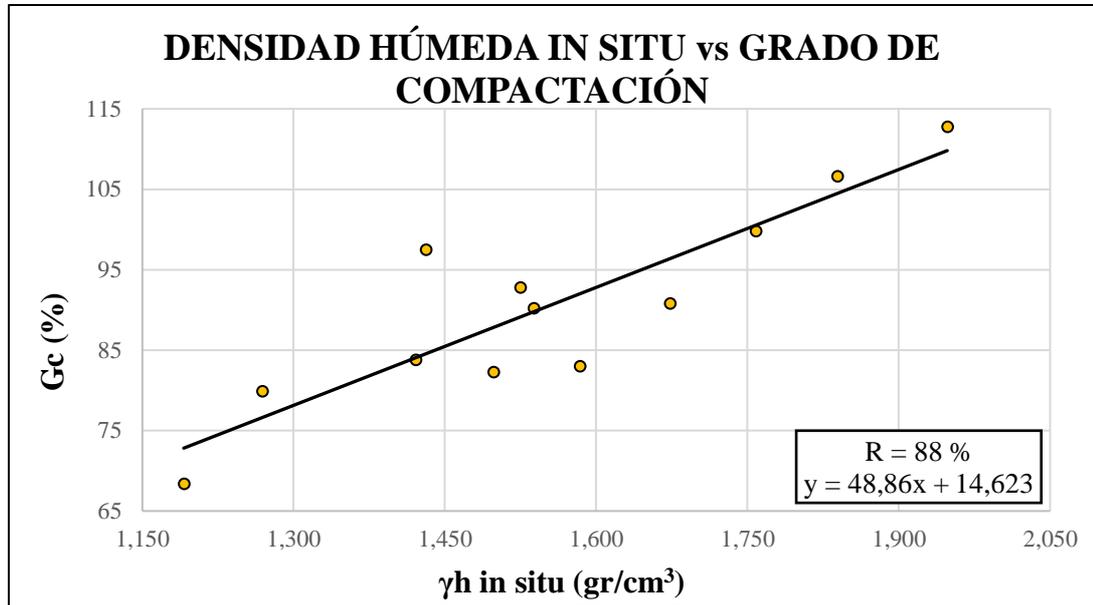
Ec. 68

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre el Límite Plástico (LP) y la Densidad Húmeda in situ ( $\gamma_{h \text{ in situ}}$ ), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 73%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

La  $\gamma_{h \text{ in situ}}$  aumenta si se reduce el LP. Mientras menor agua retiene ese suelo su densidad en campo será mayor porque la densidad de esa muestra se deberá solo a la masa de suelo mas no al contenido de humedad presente en la muestra.

### Correlación # 7

Figura 42. Correlación Densidad Húmeda In Situ vs Grado de Compactación



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Gc = 14,623 + 48,86\gamma_{h \text{ in situ}}$$

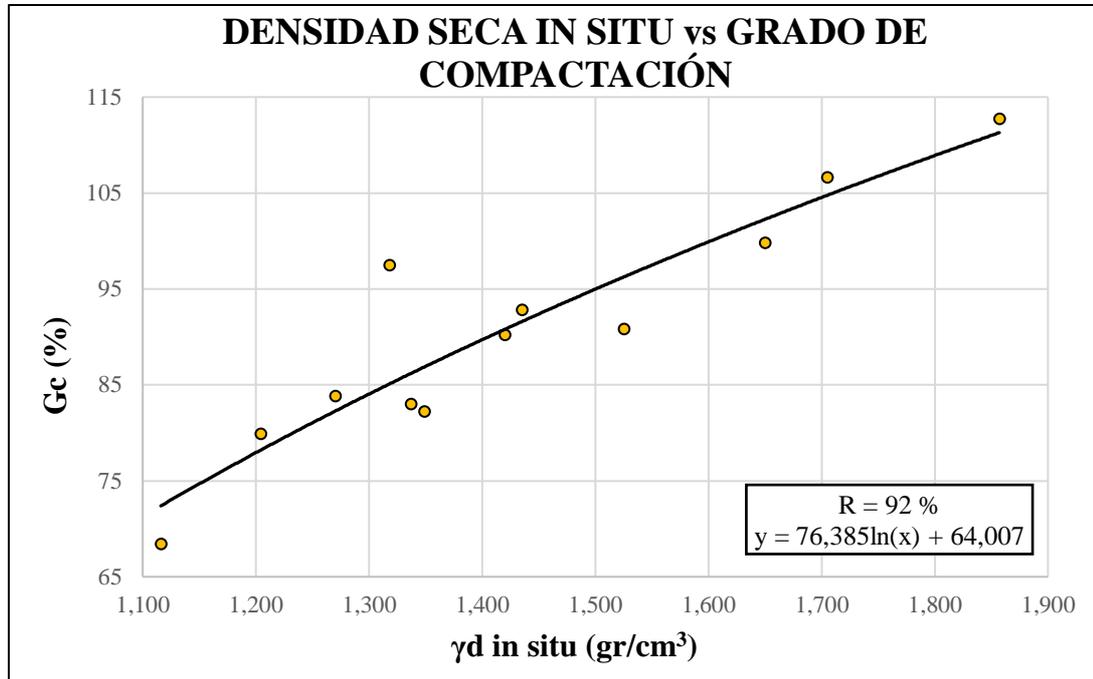
Ec. 69

La gráfica muestra una tendencia lineal entre la Densidad Húmeda in situ ( $\gamma_h$  in situ) y el Grado de Compactación (Gc%), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 88%, proporcionando una relación aceptable entre ambas propiedades.

El Gc% aumenta ya que al ser un suelo denso en estado natural se puede mejorar su compactación en condiciones controladas de laboratorio.

## Correlación # 8

Figura 43. Correlación Densidad Seca In Situ vs Grado de Compactación



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$G_c = 64,007 + 76,385 \ln(\gamma_d \text{ in situ})$$

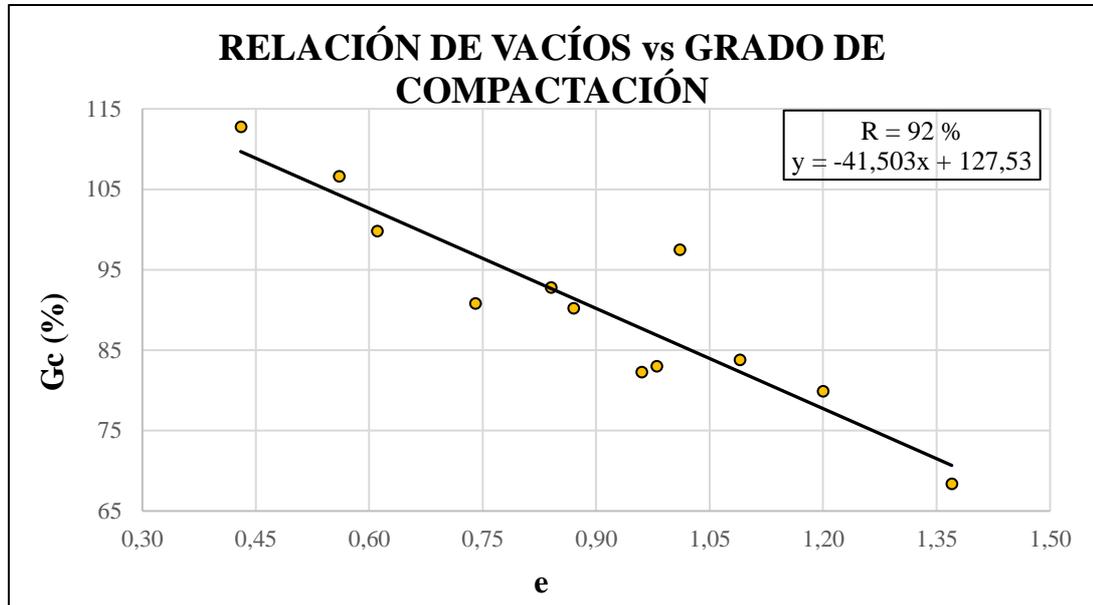
Ec. 70

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre la Densidad Seca in situ ( $\gamma_d$  in situ) y el Grado de Compactación (Gc%), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 92%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades.

Mientras mayor sea  $\gamma_d$  in situ mayor será la Densidad seca alcanzada en laboratorio y el Gc% aumentará al ser la relación entre estas dos densidades.

## Correlación # 9

Figura 44. Correlación Relación de Vacíos vs Grado de Compactación



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Gc = 127,53 - 41,503(e\%)$$

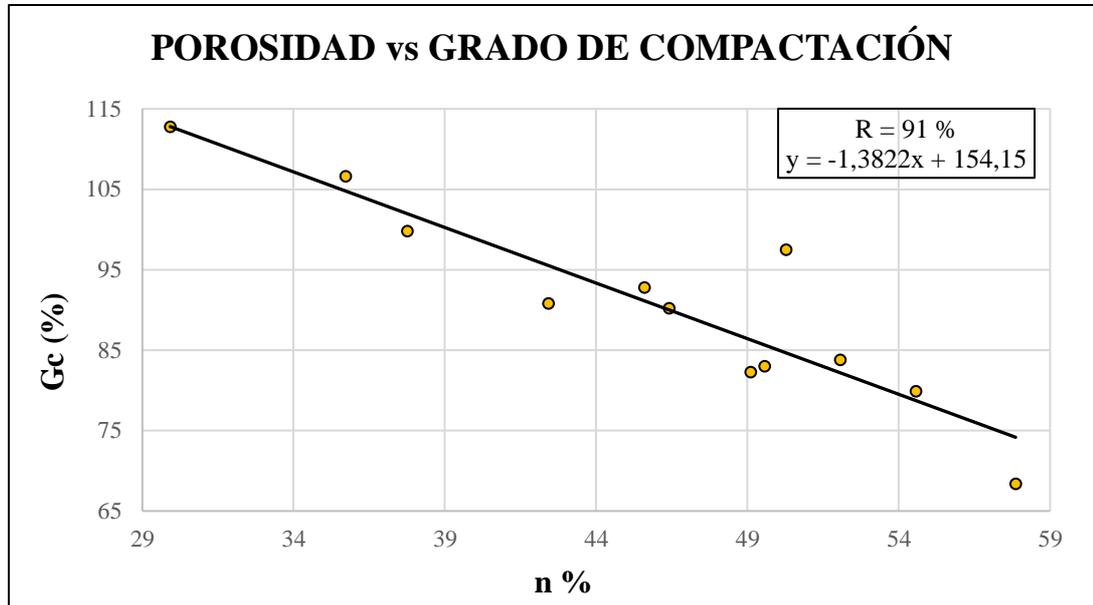
Ec. 71

La gráfica muestra una tendencia lineal entre la Relación de vacíos (e) y el Grado de Compactación (Gc%), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 92%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades.

El Gc% es inversamente proporcional a la relación de vacíos. En un suelo bien compactado su volumen de vacíos (Vv) disminuye y la relación de vacíos ( $e = Vv/Vs$ ) disminuye.

## Correlación # 10

Figura 45. Correlación Porosidad vs Grado de Compactación



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Gc = 154,15 - 1,3822(n)$$

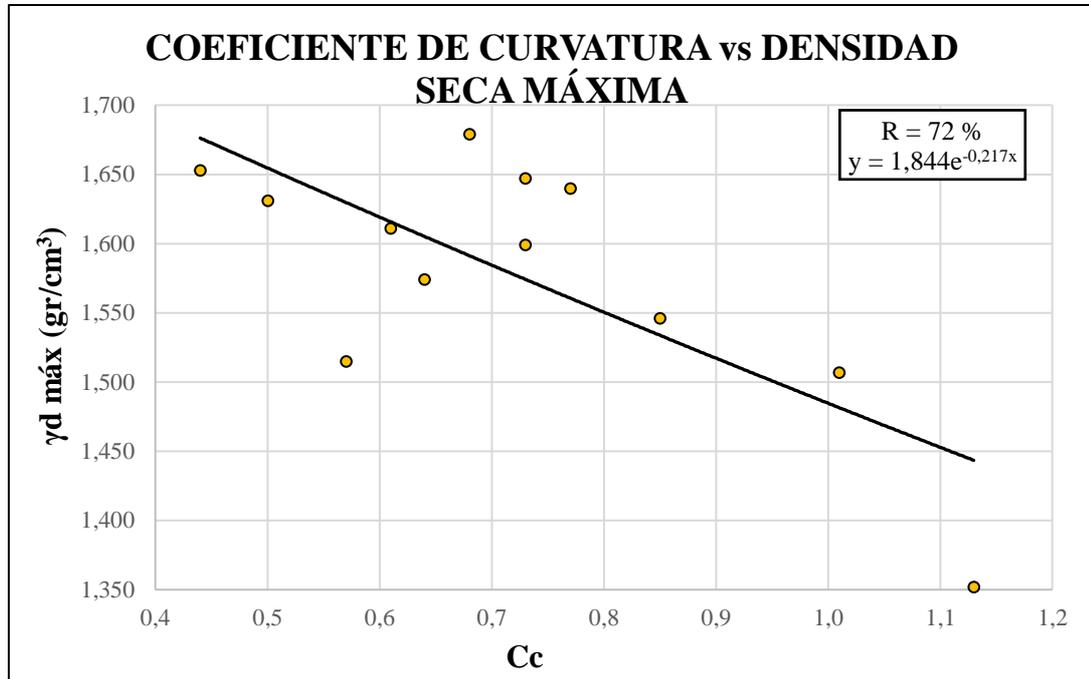
Ec. 72

La gráfica muestra una tendencia lineal entre la Porosidad (n%) y el Grado de Compactación (Gc%), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 91%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades.

La Porosidad es inversamente proporcional al Gc%. La n% es la relación entre el volumen de vacíos (Vv) y el volumen de la masa (Vm) de suelo por esa razón al compactar el suelo los vacíos disminuyen y al volverse más denso su masa aumenta.

## Correlación # 11

Figura 46. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$\gamma_{d\text{ máx}} = 1,844 * e^{-0,217Cc}$$

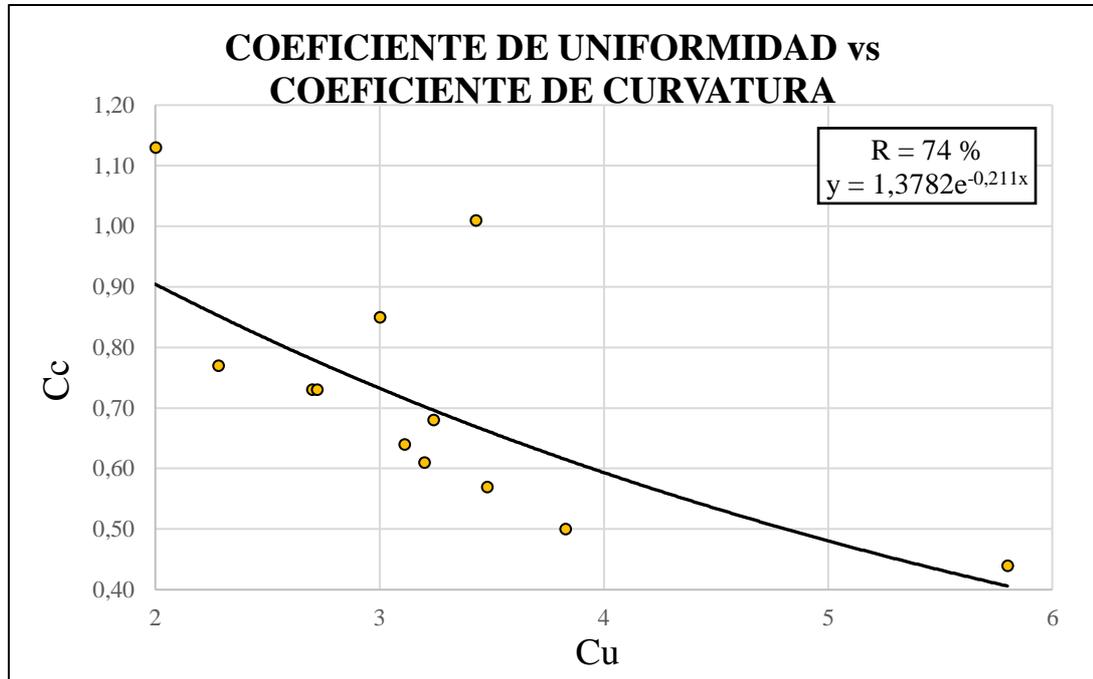
Ec. 73

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Coeficiente de curvatura (Cc) y la Densidad Seca Máxima ( $\gamma_{d\text{ máx}}$ ), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 72%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

Si el Cc está entre 1 y 3 se considera un suelo bien graduado. Fuera de esos rangos la graduación es mala. Con una graduación baja el suelo absorbe menos agua aumentando su  $\gamma_{d\text{ máx}}$ . caso contrario si es bien graduado la humedad puede aumentar y reducir su  $\gamma_{d\text{ máx}}$ .

## Correlación # 12

Figura 47. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Coeficiente de Curvatura



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$Cc = 1,3782 * e^{-0,211 * Cu}$$

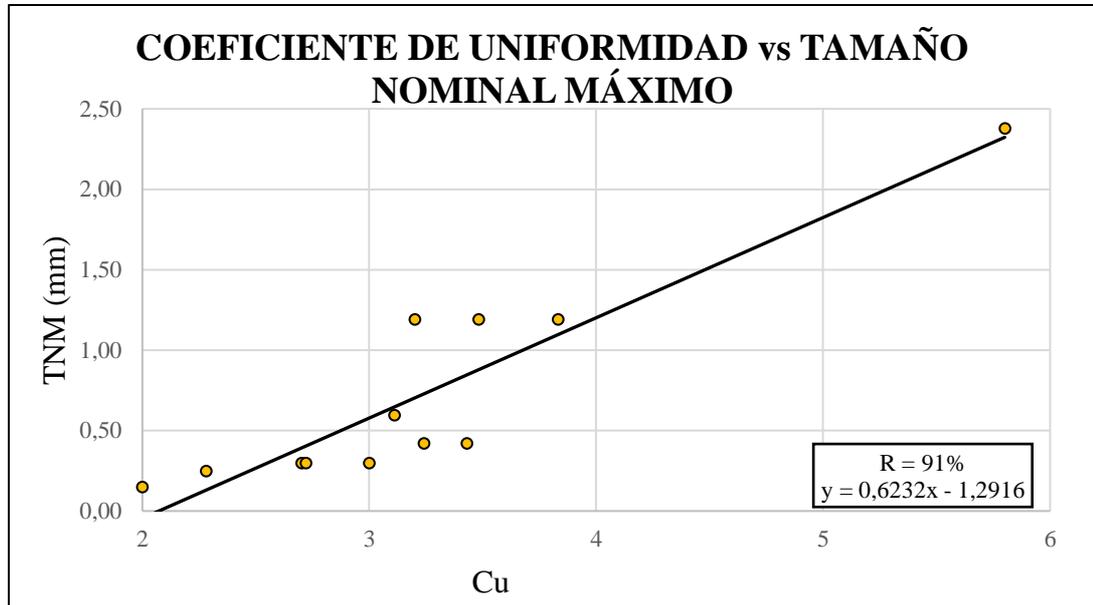
Ec. 74

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de curvatura (Cc), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 74%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

Para  $1 < Cc < 3$  se establece como un suelo bien graduado mientras que para un  $Cu > 3$  son suelos bien graduados, pero esto no asegura que no pueda haber un vacío en la graduación, como se evidencia en la gráfica, ya que existe una cuantía mínima de los D60 y D10.

### Correlación # 13

Figura 48. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Tamaño Nominal Máximo



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$TNM = -1,2916 + 0,6232Cu$$

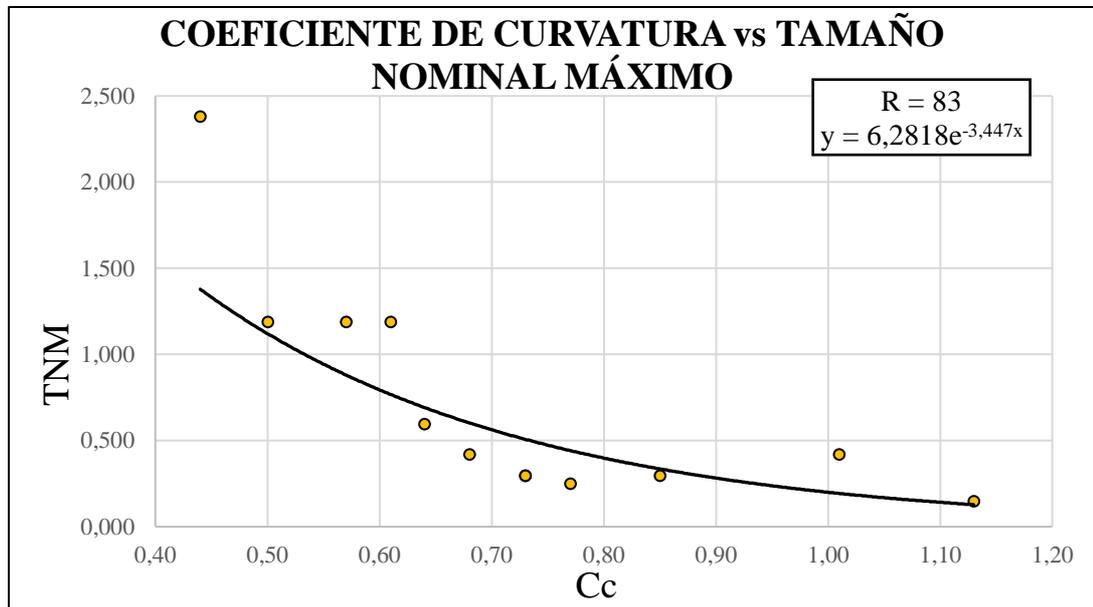
Ec. 75

La gráfica muestra una tendencia lineal entre el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Tamaño Nominal Máximo (TNM), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 91%, proporcionando una excelente relación entre ambas propiedades.

El TNM es el tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor cantidad de muestra pudiendo retenerse del 5-15% de la totalidad en este tamiz. El TNM es directamente proporcional al Cu, debido a que a medida que el TNM aumente la variedad de agregados de la muestra aumentará (bien graduado) mientras que si el TNM disminuye la cantidad de diámetros de partículas será más uniforme (mal graduado).

## Correlación # 14

Figura 49. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Tamaño Nominal Máximo



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$TNM = 6,282 * e^{-3,447 * Cc}$$

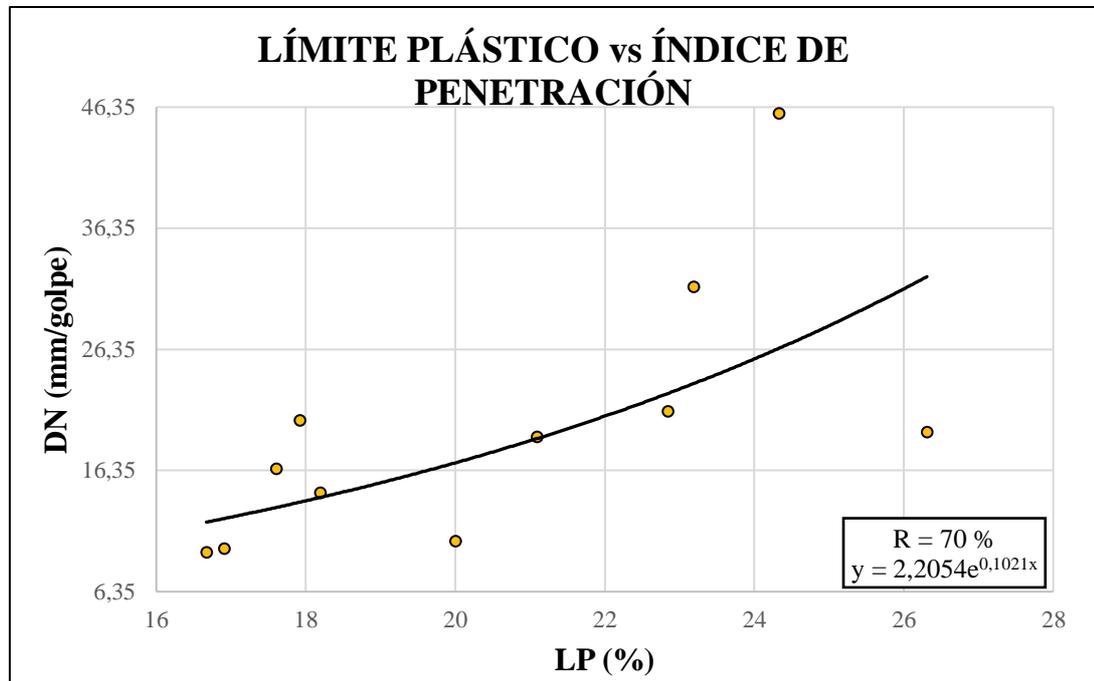
Ec. 76

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Coeficiente de Curvatura (Cc) y el Tamaño Nominal Máximo (TNM), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 83%, proporcionando una relación aceptable entre ambas propiedades.

El TNM es inversamente proporcional al Cc. Cuando el valor de Cc es menor a uno 1 y mayor a 3 representa una carencia de diámetros entre D10 al D60, generando un suelo mal graduado.

## Correlación # 15

Figura 50. Correlación Límite Plástico vs Índice de Penetración



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 11 muestras

$$DN = 2,205 * e^{0,102*LP}$$

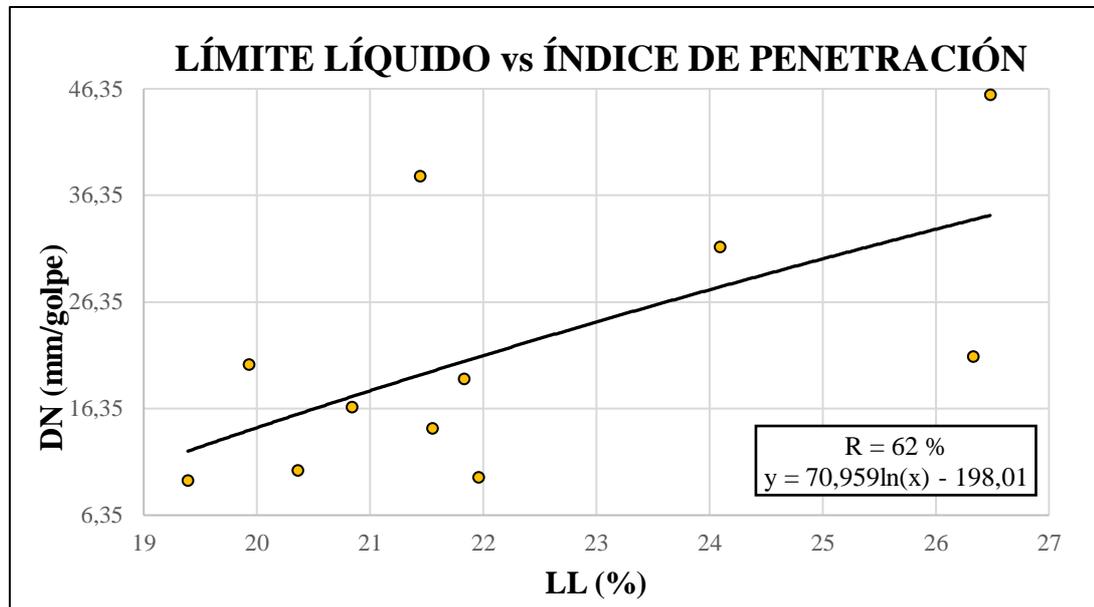
Ec. 77

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Límite Plástico (LP) y el Índice de Penetración del DCP (DN), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 70%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

Mientras menor sea el DN de un suelo indica que es más difícil su penetración debido a su estado más denso simulando o pudiendo ser un material sólido, por lo tanto, el LP que puede alcanzar será menor.

## Correlación # 16

Figura 51. Límite Líquido vs Índice de Penetración



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 11 muestras

$$DN = -198,012 + 70,95 \ln(LL)$$

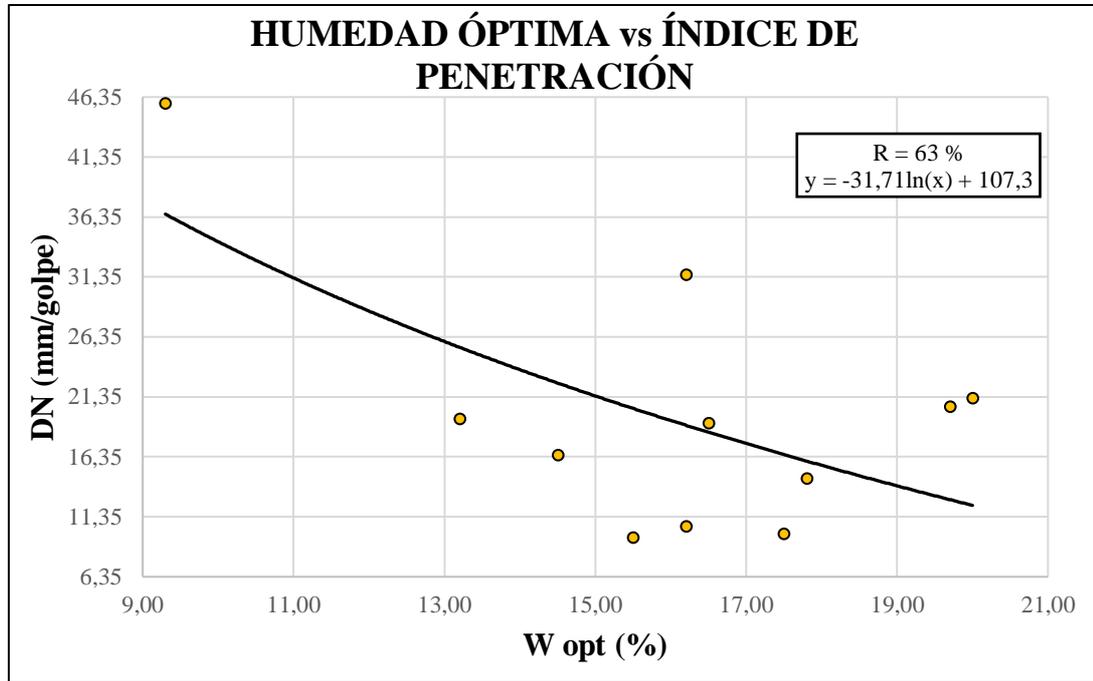
Ec. 78

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre el Límite Líquido (LL) y el Índice de Penetración del DCP (DN), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 62%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

Mientras menor sea el DN de un suelo indica que es más difícil su penetración debido a la cantidad de finos que posee, por lo tanto, el LL que puede alcanzar será mayor.

### Correlación # 17

Figura 52. Correlación Humedad Óptima vs Índice de Penetración



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 11 muestras

$$DN = 107,3 - 31,71 \ln(W_{opt})$$

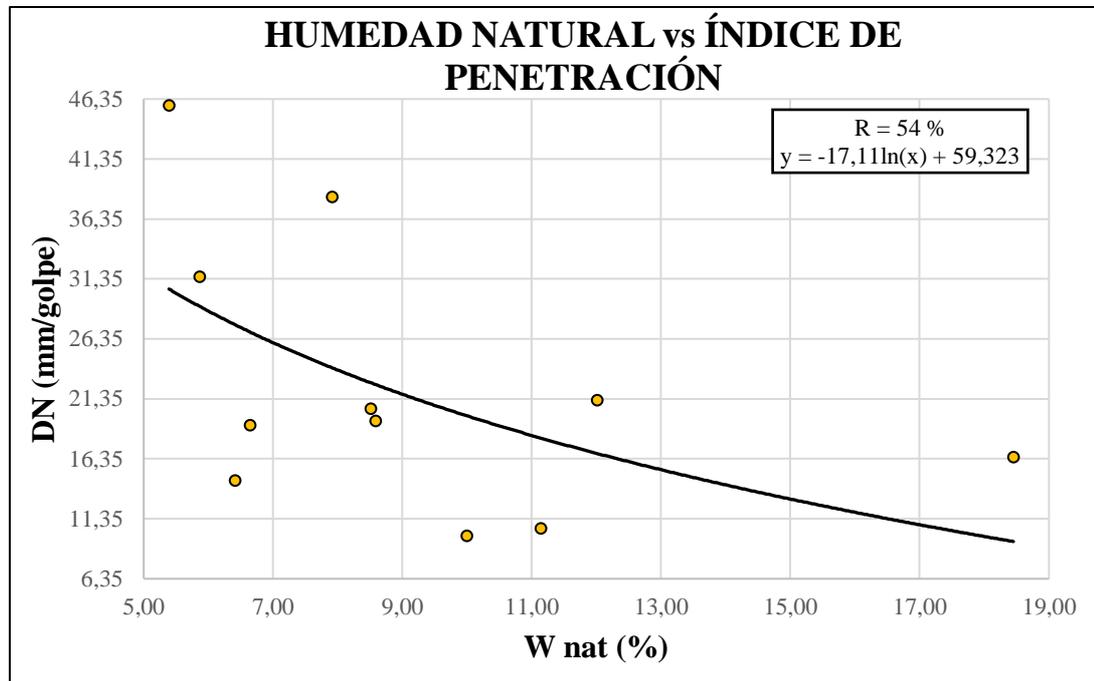
Ec. 79

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre la Humedad Óptima ( $W_{opt}$ ) y el Índice de Penetración del DCP (DN), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 63%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

Mientras menor sea el DN, la  $W_{opt}$  que ese suelo puede alcanzar será mayor, debido a que sus partículas no están sueltas al contener gran cantidad de finos para una buena graduación. Se puede alcanzar una gran densidad en laboratorio, debido a la presencia de finos para absorber agua y alcanzar su máxima consistencia.

## Correlación # 18

Figura 53. Correlación Humedad Natural vs Índice de Penetración



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 11 muestras

$$DN = 59,323 - 17,11 \ln(W_{nat})$$

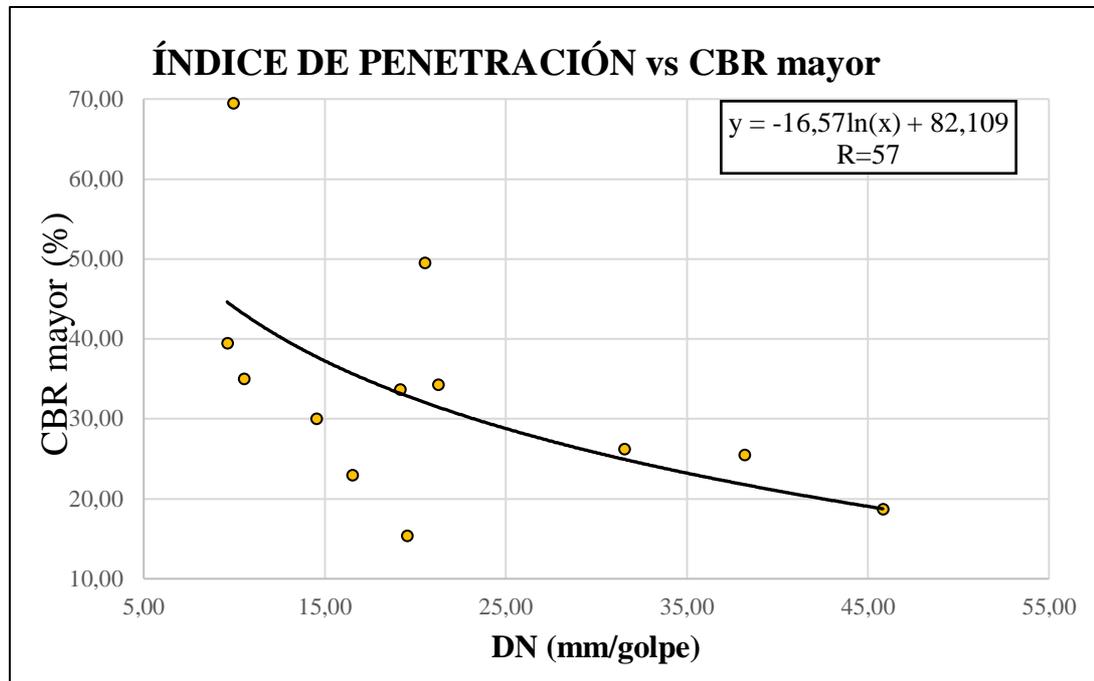
Ec. 80

La gráfica muestra una tendencia logarítmica entre la Humedad Natural ( $W_{nat}$ ) y el Índice de Penetración del DCP (DN), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 54%, proporcionando una relación mínima entre ambas propiedades.

Mientras menor sea la  $W_{nat}$  de un suelo significa que posee menos finos que puedan retener el agua, por ende, el suelo estará suelto debido a la falta de cohesión y el DN se incrementará debido a la facilidad de penetración.

## Correlación # 19

Figura 54. Correlación CBR mayor vs Índice de Penetración



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Logarítmica

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$CBR\ mayor = 82,109 - 16,57 \ln(DN)$$

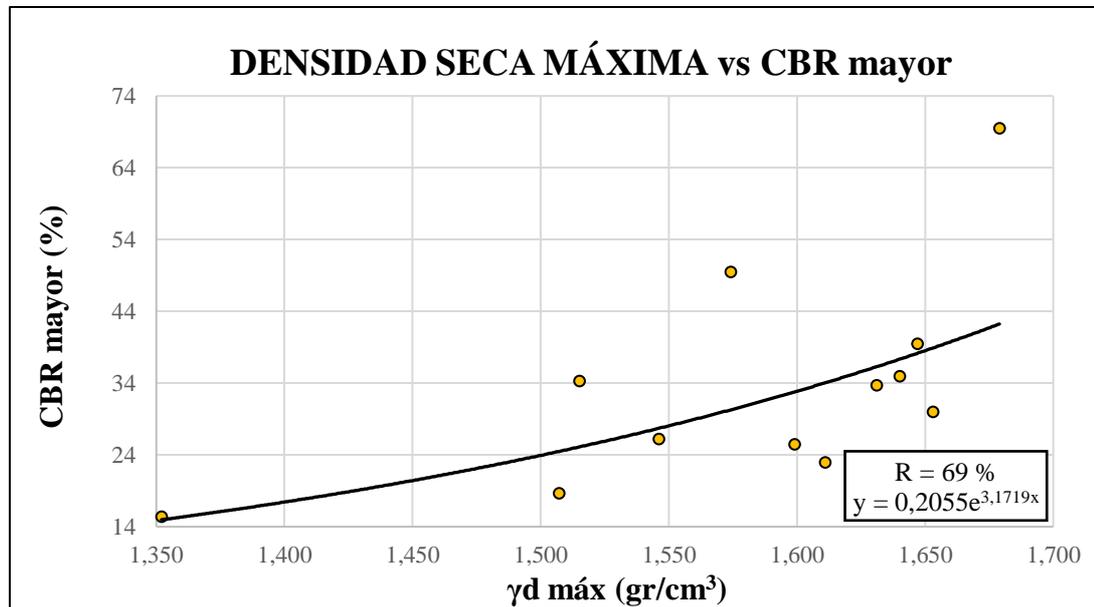
Ec. 81

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el valor de CBR y el Índice de Penetración del DCP (DN), en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 57%, proporcionando una relación mínima entre ambas propiedades.

El CBR es inversamente proporcional al DN, mientras menor sea la penetración se relaciona a un suelo duro, de buena cohesión y densidad alta por tal motivo en el ensayo CBR los valores serán altos.

## Correlación # 20

Figura 55. Correlación Densidad Seca Máxima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$CBR \text{ mayor} = 0,205 * e^{3,172 * \gamma_d \text{ máx}}$$

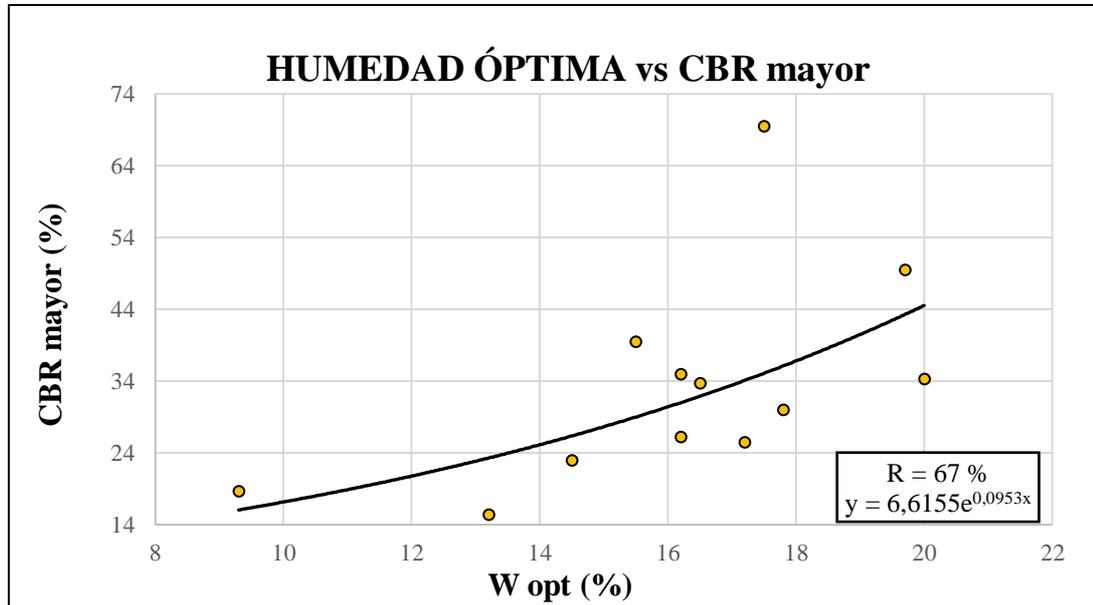
Ec. 82

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el valor de Densidad Seca Máxima ( $\gamma_d \text{ máx.}$ ) y el CBR, en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 69%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

El valor de CBR es directamente proporcional a la  $\gamma_d \text{ máx.}$  Esto indica que el suelo ha alcanzado su máxima resistencia y capacidad. El CBR se determina del 95% de la  $\gamma_d \text{ máx.}$ , por tal motivo entre mayor sea la densidad del suelo, mejor será su capacidad portante alcanzando valores altos de CBR.

## Correlación # 21

Figura 56. Correlación Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

$$CBR\ mayor = 6,616 * e^{0,095 * W_{opt}}$$

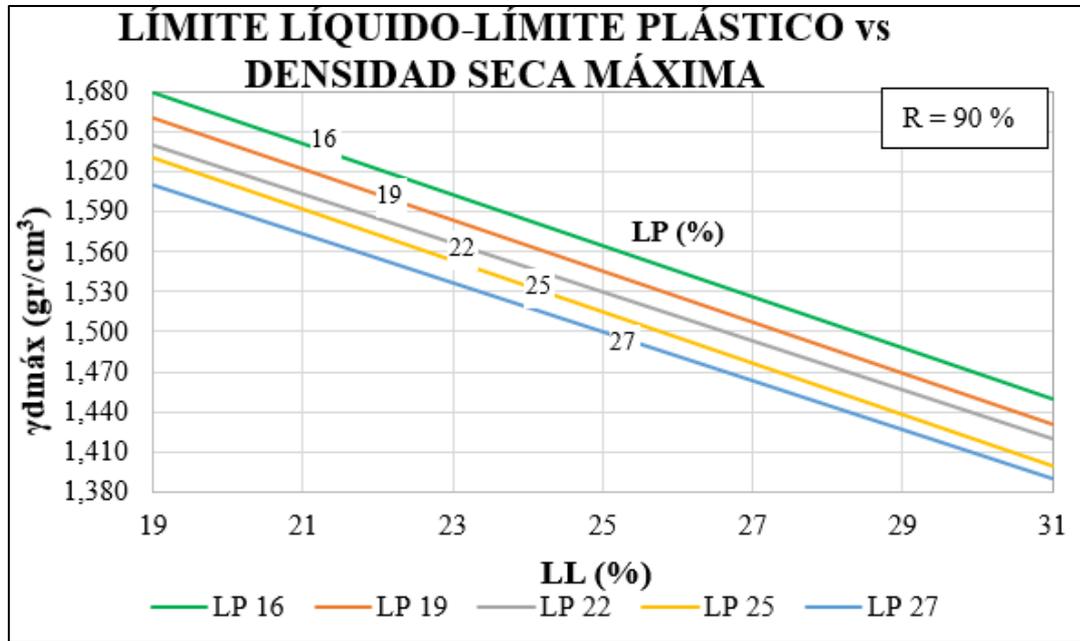
Ec. 83

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre la Humedad Óptima ( $W_{opt}$ ) y el CBR, en donde el coeficiente de correlación de estas variables es del 67%, proporcionando una relación regular entre ambas propiedades.

El valor de CBR es directamente proporcional a la  $W_{opt}$ . El valor de CBR depende de la humedad y densidad del suelo ya que no es una propiedad intrínseca del mismo. Una  $W_{opt}$  baja indica un suelo con alta relación de vacíos, incapaz de retener agua y baja cohesión por ende los valores de CBR que alcance serán bajos debido a que no pueden ser bien compactados para alcanzar su densidad máxima hasta ciertos valores de humedad.

## Correlación # 22

Figura 57. Correlación Límite Líquido – Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

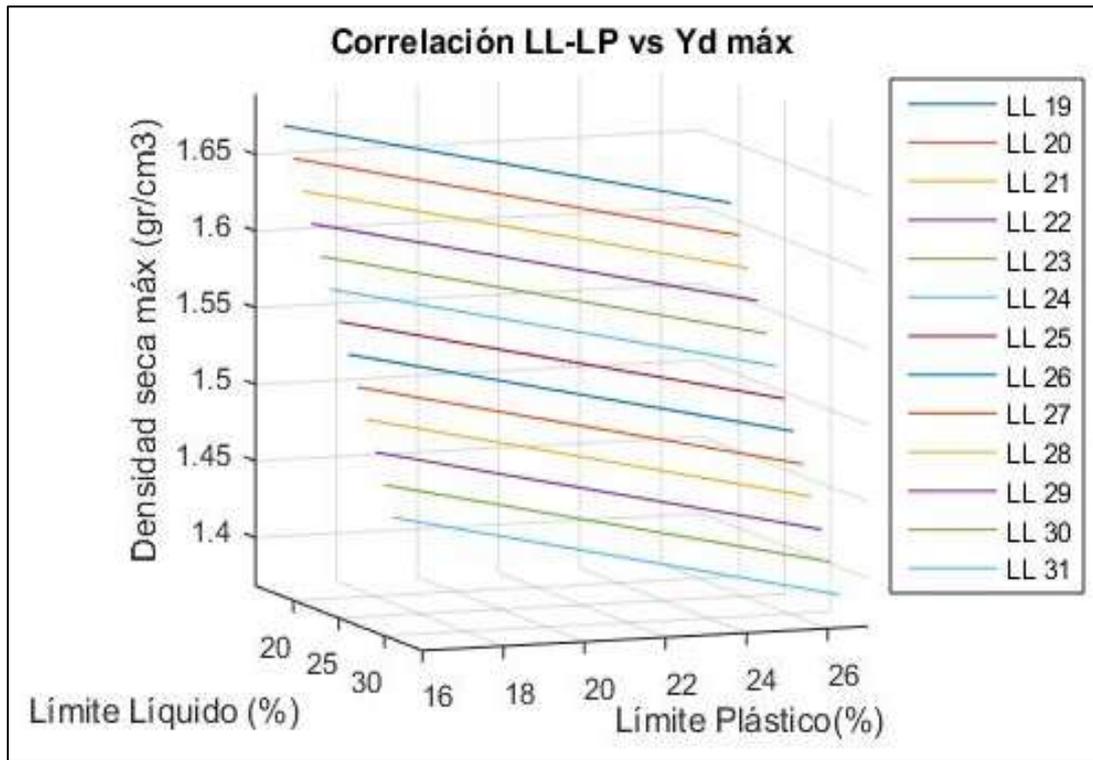
$$\gamma_{d\text{ máx}} = 2,133 - 0,019LL - 0,006LP$$

Ec. 84

La gráfica muestra una tendencia lineal entre el Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP) vs la Densidad Seca Máxima ( $\gamma_d$  máx.), en donde la correlación de estas 3 variables es del 90%, proporcionando una excelente relación entre las propiedades.

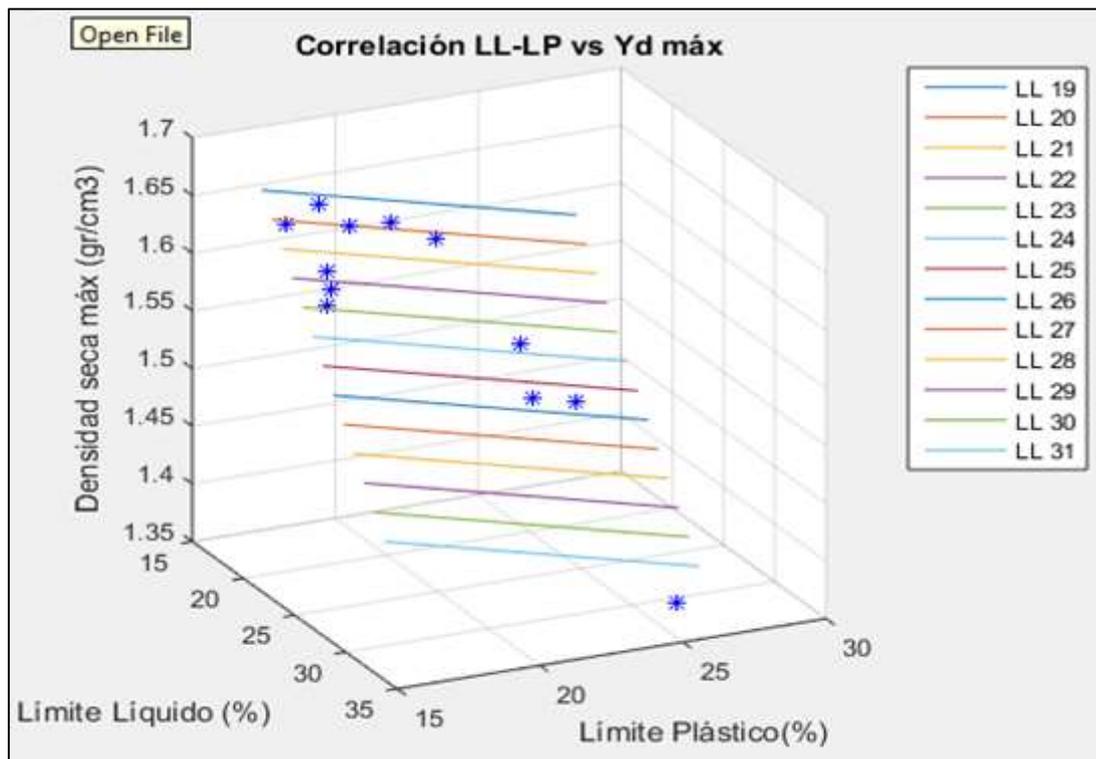
El LP está en función del LL, mientras que la  $\gamma_d$  máx. depende de ambas propiedades. Un LL alto genera un suelo fluido de baja densidad mientras que un LL bajo determinará  $\gamma_d$  máx. altas. Un alto LL determina mayor absorción de agua al ser suelos de alta plasticidad y por ende las densidades que pueden alcanzar serán bajas, al acercarse a un estado líquido.

Figura 58. Gráfica 3D Límite Líquido – Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

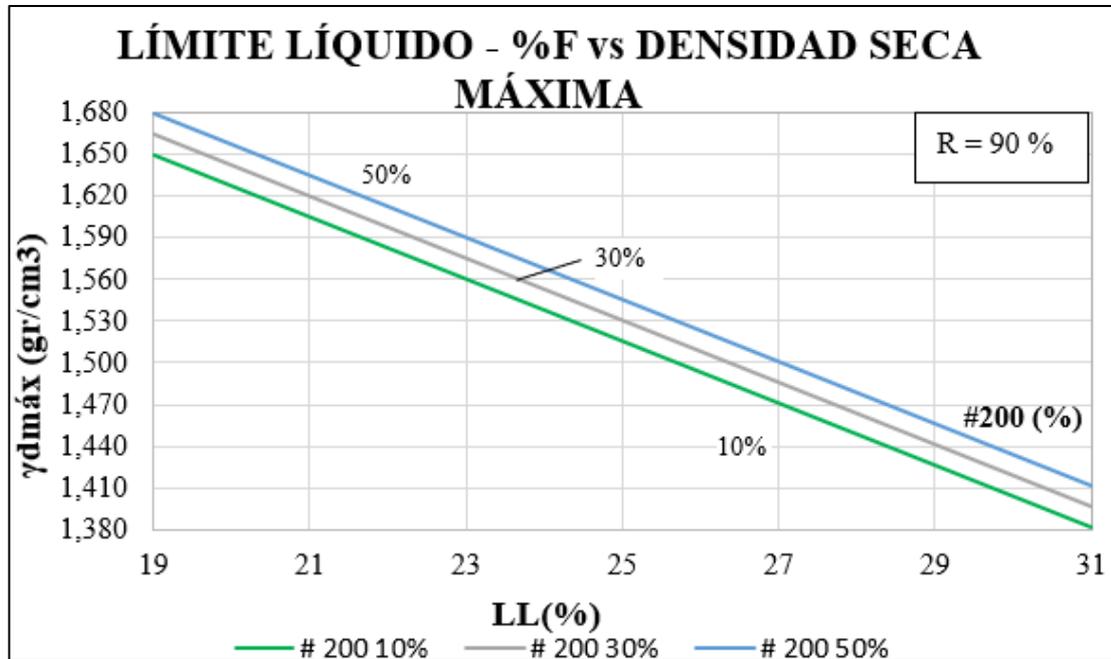
Figura 59. Ubicación de las muestras en la Correlación 3D



Fuente: Hugo Vilema Peña

### Correlación # 23

Figura 60. Correlación Límite Líquido- % Finos vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Lineal

**Datos correlacionados:** 12 muestras

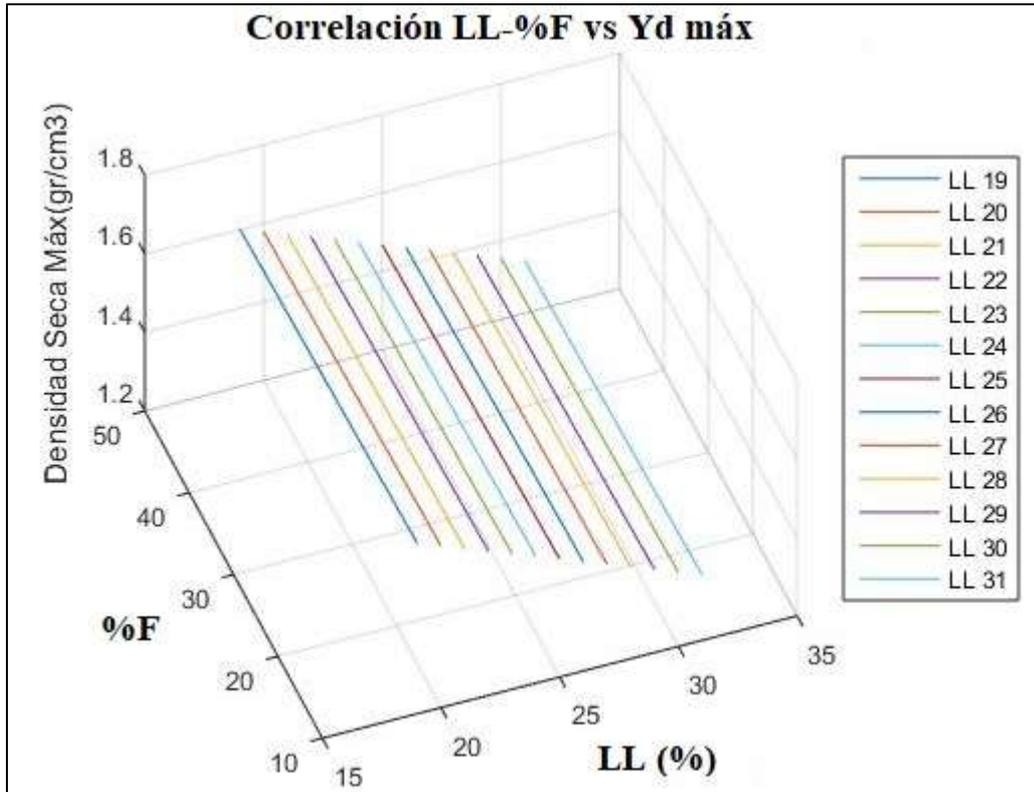
$$\gamma_{d\ máx} = 2,065 - 0,0223LL - 0,0008 * \%F$$

Ec. 85

La gráfica muestra una tendencia lineal entre el Límite Líquido (LL) y el porcentaje de finos que pasa el tamiz 200 (%F) vs la Densidad Seca Máxima ( $\gamma_d$  máx.), en donde la correlación de estas 3 variables es del 90%, proporcionando una excelente relación entre las propiedades.

La  $\gamma_d$  máx. será inversamente proporcional al LL, pero directamente proporcional a la cantidad de finos. Es decir, para una cantidad de finos alta y un LL bajo la densidad será alta mientras que para un LL bajo y una cantidad de finos baja la densidad del suelo se reducirá. Una gran cantidad de finos mejoran significativamente la compactación y la densidad del suelo, mientras que un gran LL disminuye la densidad del suelo.

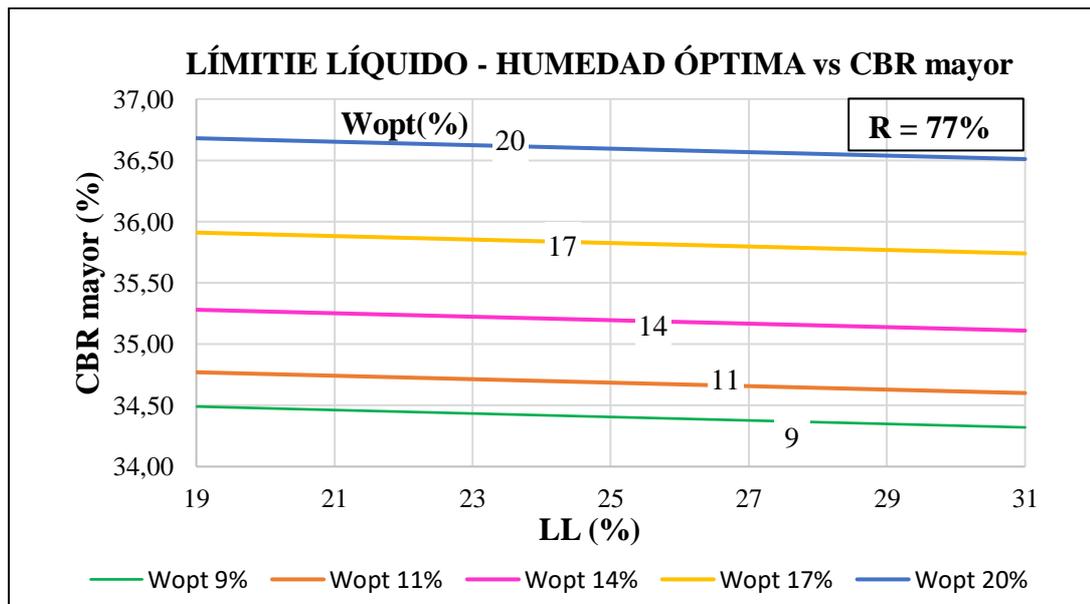
Figura 61. Gráfica 3D Límite Líquido – %Finos vs Densidad Seca Máxima



Fuente: Hugo Vilema Peña

### Correlación # 24

Figura 62. Correlación Límite Líquido – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

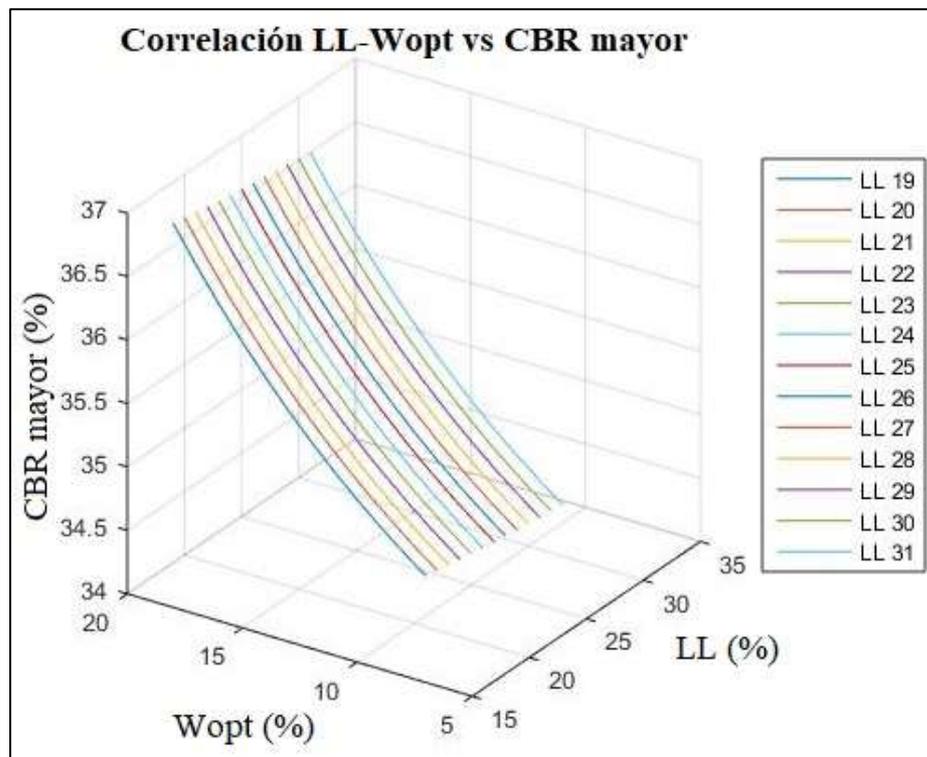
$$CBR\ mayor = 32,232 + e^{-0,0514*LL} + e^{0,07W_{opt}}$$

Ec. 86

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Límite Líquido (LL) y la Humedad Óptima (Wopt) vs el CBR, en donde la correlación de estas 3 variables es del 77%, proporcionando una relación regular entre las propiedades.

El CBR será inversamente proporcional al LL, pero directamente proporcional a la cantidad de Wopt. Para una Wopt alta y un bajo LL, el CBR será alto; en cambio para un LL bajo y una baja Wopt el CBR disminuirá. Una alta Wopt garantiza una buena cohesión entre las partículas, en cambio, un gran LL determinar suelos de alta plasticidad con gran capacidad de absorción de agua y una baja densidad seca.

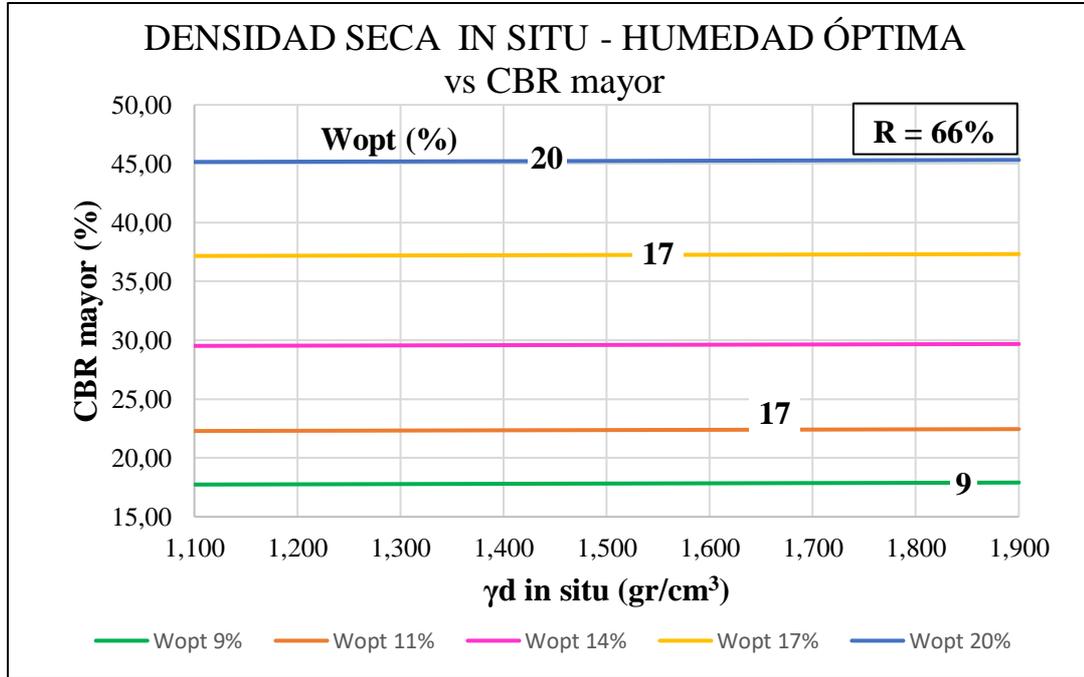
Figura 63. Gráfica 3D Límite Líquido – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

### Correlación # 25

Figura 64. Correlación Densidad Seca In Situ – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Potencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

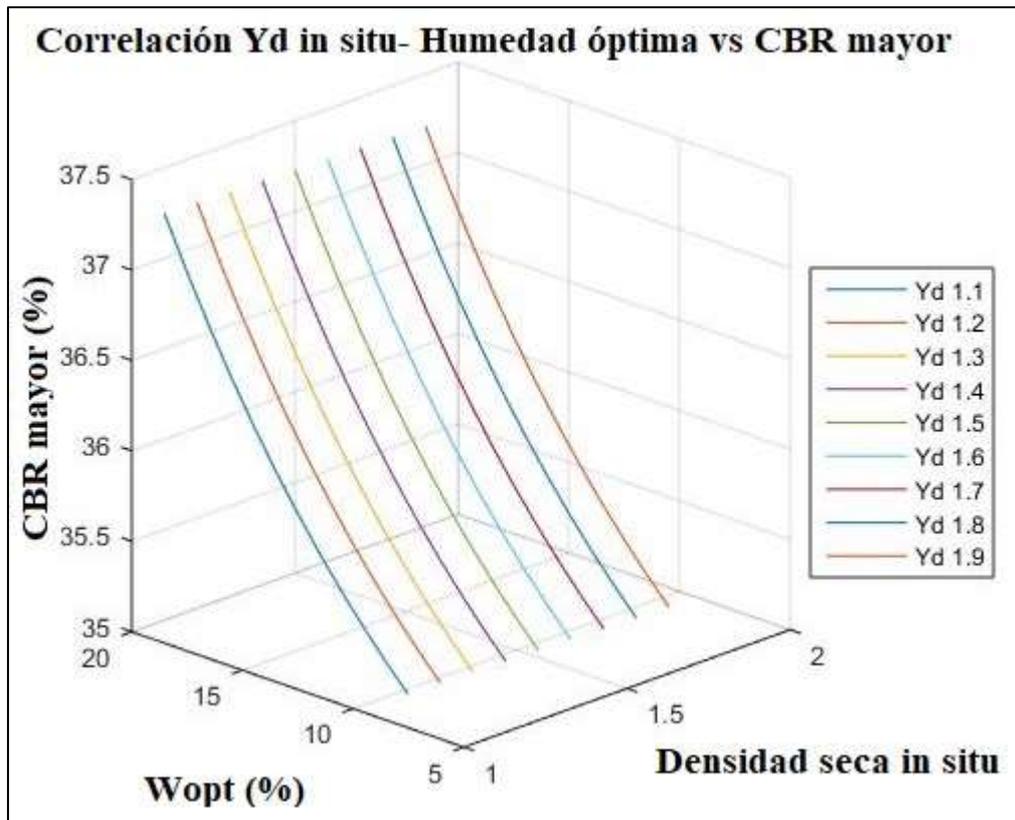
$$CBR mayor = 0,868 + \gamma_{d \text{ in situ}}^{0,269} + W_{opt}^{1,258}$$

Ec. 87

La gráfica muestra una tendencia potencial entre la Densidad Seca in situ ( $\gamma_d$  in situ) y la Humedad Óptima ( $W_{opt}$ ) vs el CBR, en donde la correlación de estas 3 variables es del 66%, proporcionando una relación regular entre las propiedades.

El valor de CBR es directamente proporcional a la  $W_{opt}$  y a la  $\gamma_d$  in situ. La  $\gamma_d$  in situ puede alcanzar un mayor valor en condiciones controladas de laboratorio. Mientras se aumente su contenido de humedad hasta alcanzar el valor óptimo para que consiga su máxima resistencia y con ello el valor máximo de CBR a comparación de condiciones naturales.

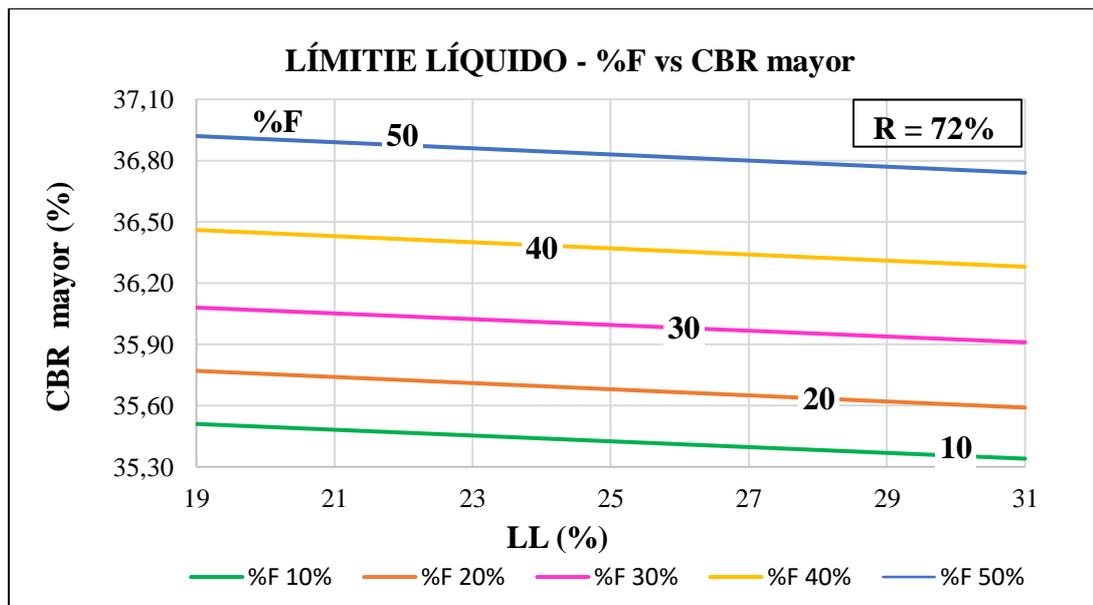
Figura 65. Gráfica 3D Densidad Seca In Situ – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Correlación # 26**

Figura 66. Correlación Límite Líquido - %Finos vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Exponencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

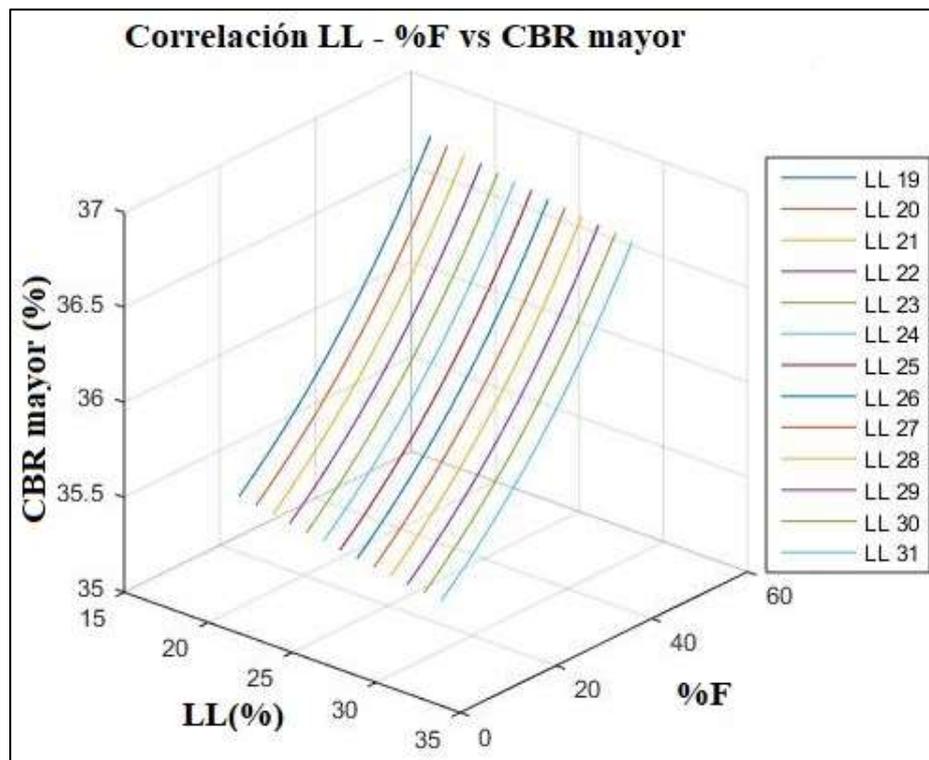
$$CBR\ mayor = 33,752 + e^{-0,0318*LL} + e^{0,0192*%F}$$

Ec. 88

La gráfica muestra una tendencia exponencial entre el Límite Líquido (LL) y el porcentaje de finos que pasa el tamiz 200 vs el CBR, en donde la correlación de estas 3 variables es del 72%, proporcionando una relación regular entre las propiedades.

El CBR será inversamente proporcional al LL, pero directamente proporcional a la cantidad de finos. Es decir, para una cantidad de finos alta y un LL bajo el CBR será alto en cambio que para un LL bajo y una cantidad de finos baja el CBR del suelo decrecerá. Una gran cantidad de finos mejoran significativamente la compactación y la densidad del suelo, mientras que un gran LL disminuye la densidad del suelo y por consecuencia el valor de CBR también está en función de la densidad del suelo.

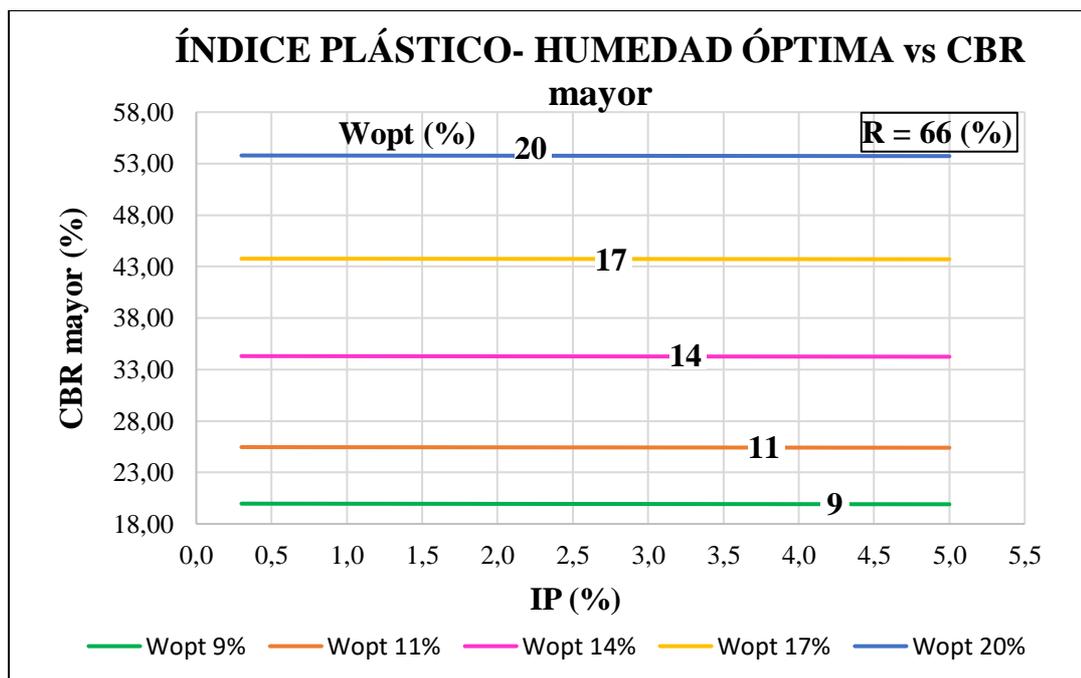
Figura 67. Gráfica 3D Límite Líquido – %Finos vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Correlación # 27**

Figura 68. Correlación Índice Plástico – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Función:** Potencial

**Datos correlacionados:** 12 muestras

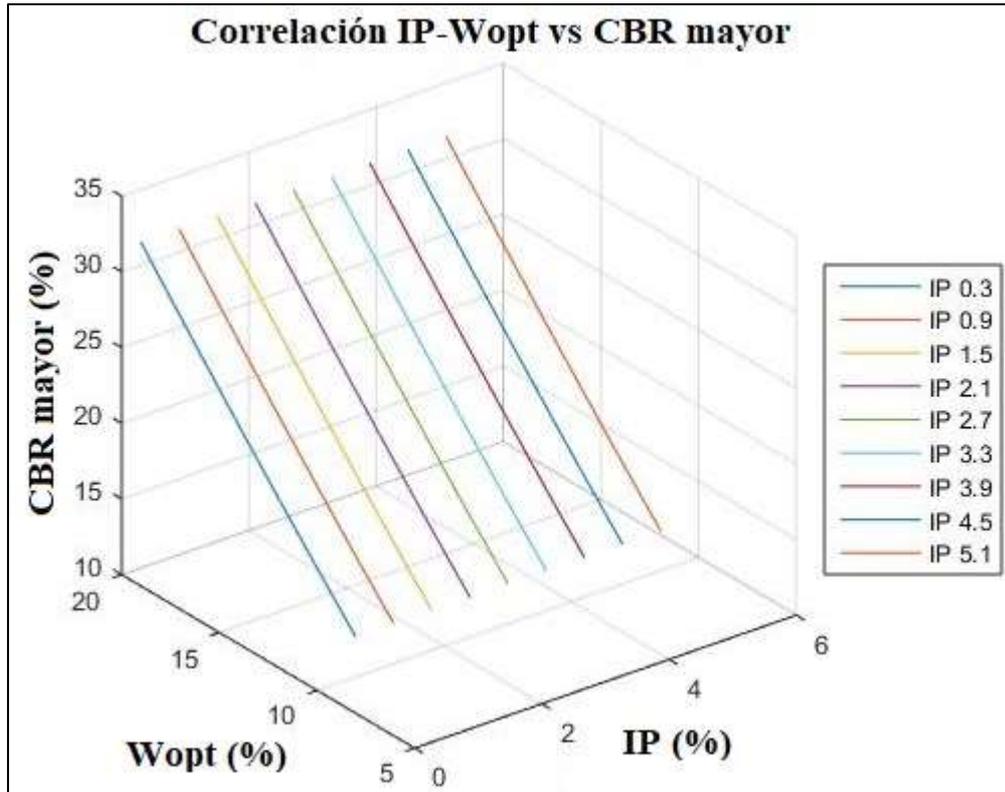
$$CBR\ mayor = 0,8195 + IP^{-0,0226} + W_{opt}^{1,319}$$

Ec. 89

La gráfica muestra una tendencia potencial entre el Índice Plástico (IP) y la Humedad Óptima (Wopt) vs el CBR, en donde la correlación de estas 3 variables es del 66%, proporcionando una relación regular entre las propiedades.

El valor de CBR es directamente proporcional a la Wopt pero inversamente proporcional al IP. De acuerdo a la carta de plasticidad de las SUCS, mientras mayor sea el IP el suelo pasaría de tener propiedades limosas a arcillosas y por ende el contenido de humedad óptimo sería mayor, hasta alcanzar el valor óptimo para que consiga su máxima resistencia y con ello el valor máximo de CBR a comparación. Pero si siguiera aumentando el IP la densidad de ese suelo sería menor generando CBR bajos.

Figura 69. Gráfica 3D Índice Plástico – Humedad Óptima vs CBR mayor



Fuente: Hugo Vilema Peña

### 3.1.4. Conteo manual de tráfico

En la Vía Santa Rosa – El Quinche se estableció una estación de conteo manual el 03 de diciembre de 2019 durante un período de 12 horas desde las 06H00 hasta las 18H00. Los resultados para ambos sentidos de la vía se pueden observar en el Anexo D.

#### ➤ Cálculo del TPDA

La hora de mayor tránsito vehicular fue de 12H00 a 13H00. Se procede a dividir la cantidad de vehículos para el 15% que considera el método de la treintava hora.

$$TPDA_{livianos} = \frac{\Sigma_{parcial}}{15\%} = \frac{128}{15\%} = 853.3 = 854 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{buses} = \frac{11}{15\%} = 73.33 = 74 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{camiones} = \frac{18}{15\%} = 120 \text{ veh/día}$$

Tabla 32. Tráfico de hora de mayor tránsito

30 ava HORA							
HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES				TOTAL
			2DA	2DB	3A	∑Pesados	
12H00-12H15	32	2	3	0	0	3	37
12H15-12H30	35	3	4	3	0	7	45
12H30-12H45	31	2	4	0	0	4	37
12H45-13H00	30	4	3	1	0	4	38
∑parcial	128	11	14	4	0	18	157
% 30va Hora	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	
TPDA	854	74	93	27	0	120	1048

Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Tráfico Generado

$$Tg_{livianos} = 20 \%(TPDA) = 20\%(854) = 170.8 = 171 \text{ veh/día}$$

Se repite el cálculo para el TPDA de buses y camiones.

➤ Tráfico Atraído

$$Ta_{livianos} = 10 \%(TPDA) = 10\%(854) = 85.4 = 86 \text{ veh/día}$$

Se repite el proceso para buses y camiones.

➤ Tráfico Desarrollado

$$Td_{livianos} = 5 \%(TPDA) = 5\%(854) = 42.7 = 43 \text{ veh/día}$$

Se emplea el mismo criterio para buses y camiones.

➤ Tráfico Actual

Para obtener el tráfico actual se suman los valores de TPDA, tráfico generado, atraído y desarrollado para livianos, buses y pesados.

Tabla 33. Tráfico actual en la vía Santa Rosa – El Quinche

TRÁFICO ACTUAL						
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS			
			2DA	2DB	3A	∑Pesados
<b>TPDA</b>	854	74	93	27	0	120
Tráfico Generado	171	15	19	5	0	24
Tráfico atraído	86	8	9	3	0	12
Tráfico Desarrollado	43	4	5	1	0	6
<b>TRÁFICO ACTUAL</b>	<b>1154</b>	<b>101</b>	<b>126</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>162</b>

Fuente: Hugo Vilema Peña

➤ Tráfico Proyectado 20 años

Se proyecta el tráfico de acuerdo a las tasas de crecimiento por año para vehículos livianos, buses y pesados.

$$Tp_{livianos} = Ta * (1 + i)^n$$

$$Tp_{livianos} = 1154 * (1 + 3.25\%)^{20} = 2188$$

$$Tp_{livianos} = 2188 \text{ veh/día}$$

$$Tp_{buses} = 101 * (1 + 1.62\%)^{20}$$

$$Tp_{buses} = 139.28 = 140 \text{ veh/día}$$

$$Tp_{camiones} = 162 * (1 + 1.58\%)^{20}$$

$$Tp_{camiones} = 221.65 = 222 \text{ veh/día}$$

➤ Factor de daño (FD)

Se determina el factor de daño según el tipo de vehículo y los pesos de cada eje de acuerdo a los pesos y dimensiones que propone el MTOP y mediante las equivalencias descritas en el marco teórico del capítulo 1.

Tabla 34. Factor de daño según del tipo de Vehículo MTOP

FACTOR DE DAÑO SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULO									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	P(Ton)	$(P/6,6)^4$	P(Ton)	$(P/8,2)^4$	P(Ton)	$(P/15)^4$	P(Ton)	$(P/23)^4$	
BUS	4	0,13	8	0,91					1,04
2DA	3	0,04	7	0,53					0,57
2DB	7	1,27	11	3,24					4,51
3A	7	1,27			20	3,16			4,43

Fuente: Hugo Vilema Peña

Para la determinación de los ejes equivalentes se procede mediante la siguiente tabla.

➤ Ejes Equivalentes

AÑO	% CRECIMIENTO (i)			TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO $T_f = T_a * (1+i)^n$				CAMIONES 2E			W18	W18	W18	Años
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Pesados	TPD Total	2DA	2DB	3A	Acumulado	Por sentido	Carril de diseño	n
2019	3,97	1,97	1,94	1154	101	162	1417	126	36	0	123815,30	61907,65	61907,65	0
2020	3,97	1,97	1,94	1200	103	165	1468	128	37	0	250452,05	125226,03	125226,03	1
2021	3,57	1,78	1,74	1238	105	168	1511	130	38	0	379910,25	189955,13	189955,13	2
2022	3,57	1,78	1,74	1283	107	171	1561	133	38	0	510751,80	255375,90	255375,90	3
2023	3,57	1,78	1,74	1328	109	174	1611	135	39	0	644414,80	322207,40	322207,40	4
2024	3,57	1,78	1,74	1376	111	177	1664	137	40	0	780899,25	390449,63	390449,63	5
2025	3,57	1,78	1,74	1425	113	180	1718	140	40	0	918767,05	459383,53	459383,53	6
2026	3,25	1,62	1,58	1444	114	181	1739	141	40	0	1057222,50	528611,25	528611,25	7
2027	3,25	1,62	1,58	1491	115	184	1790	143	41	0	1198119,80	599059,90	599059,90	8
2028	3,25	1,62	1,58	1539	117	187	1843	145	42	0	1341838,55	670919,28	670919,28	9
2029	3,25	1,62	1,58	1589	119	189	1897	147	42	0	1486732,60	743366,30	743366,30	10
2030	3,25	1,62	1,58	1641	121	193	1955	150	43	0	1634656,15	817328,08	817328,08	11
2031	3,25	1,62	1,58	1694	123	196	2013	152	44	0	1785401,15	892700,58	892700,58	12
2032	3,25	1,62	1,58	1749	125	199	2073	154	45	0	1938967,60	969483,80	969483,80	13
2033	3,25	1,62	1,58	1806	127	202	2135	157	45	0	2093917,40	1046958,70	1046958,70	14
2034	3,25	1,62	1,58	1865	129	205	2199	159	46	0	2251688,65	1125844,33	1125844,33	15
2035	3,25	1,62	1,58	1926	131	208	2265	162	46	0	2410843,25	1205421,63	1205421,63	16
2036	3,25	1,62	1,58	1988	133	211	2332	164	47	0	2572819,30	1286409,65	1286409,65	17
2037	3,25	1,62	1,58	2053	135	215	2403	167	48	0	2737824,85	1368912,43	1368912,43	18
2038	3,25	1,62	1,58	2119	138	218	2475	170	48	0	2904593,35	1452296,68	1452296,68	19
2039	3,25	1,62	1,58	2188	140	222	2550	172	50	0	3075829,45	1537914,73	<b>1537914,73</b>	20

- W18 Acumulado

$$W18_{2019} = [(Tf_{buses} * Fd_{Bus}) + (Tf_{2DA} * Fd_{2DA}) + (Tf_{2DB} * Fd_{2DB})] * 365$$

$$W18_{2019} = [(101 * 1.04) + (126 * 0.57) + (36 * 4.51)] * 365$$

$$W18_{2019} = 123815.30$$

$$W18_{2020} = [(Tf_{buses} * Fd_{Bus}) + (Tf_{2DA} * Fd_{2DA}) + (Tf_{2DB} * Fd_{2DB})] * 365] \\ + W18_{2019}$$

$$W18_{2020} = [(103 * 1.04) + (128 * 0.57) + (37 * 4.51)] * 365] + 123815.30$$

$$W18_{2020} = 250452.05$$

$$W18_{2039} = [(Tf_{buses} * Fd_{Bus}) + (Tf_{2DA} * Fd_{2DA}) + (Tf_{2DB} * Fd_{2DB})] * 365] \\ + W18_{2038}$$

$$W18_{2039} = [(140 * 1.04) + (172 * 0.57) + (50 * 4.51)] * 365] + 2904593.35$$

$$W18_{2039} = 3075829.45$$

- W18 por Sentido

Se divide para el número de carriles de la vía.

$$W18_{2039} \text{ por sentido} = \frac{W18_{2039}}{2}$$

$$W18_{2039} \text{ por sentido} = \frac{3075829.45}{2}$$

$$W18_{2039} \text{ por sentido} = 1537914.73$$

- W18 Carril de Diseño

De acuerdo al número de carriles por dirección se toma el porcentaje del W18 en el carril de diseño, el valor debe ser en número entero.

$$W18_{2039} \text{ Diseño} = 100\% W18_{2039} \text{ por sentido}$$

$$W18_{2039} \text{ Diseño} = 1537914.73$$

$$W18_{2039} \text{ Diseño} = 1537915$$

### 3.1.5. Diseño de Pavimento Flexible

#### 3.1.5.1. Diseño 1

Para este diseño se empleó el número de ejes equivalentes calculado y el CBR obtenido en laboratorio. Se considera una vía colectora rural de 2 carriles (1 por sentido).

##### ➤ CBR

Para el tramo Santa Rosa - El Quinche el mayor CBR de la subrasante determinado en laboratorio fue el del punto inicial.

$$\text{Subrasante } CBR = 18,7$$

Se asumen valores de CBR para Sub-Base y Base según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP – 001 -F – 2002.

$$\text{Base } CBR = 80$$

$$\text{Subbase } CBR = 30$$

##### ➤ Ejes Equivalentes

El número de ejes equivalentes proyectado a 20 años es  $W18=1537915$ .

##### ➤ Confiabilidad (R)

La carretera debe presentar una confiabilidad  $R=85\%$  al ser una Colectora rural.

Niveles de Confiabilidad aconsejados por AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, pág. 137

##### ➤ Desviación Estándar Normal

Para un  $R=85\%$  el valor  $Z_r=-1,037$

Valores de  $Z_R$  en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad

Confiabilidad (R)	Valor de ZR
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: Experimento Vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO, pág. 3-10

➤ Desviación Estándar Global

Para un pavimento flexible se recomienda una desviación estándar global

$$S_o = 0,45$$

➤ Índice de serviciabilidad

$$PSI_{Inicial} = 4,2$$

$$PSI_{final} = 2,2$$

➤ Módulo de Resiliencia

La Subrasante presenta un CBR=18,7

$$MR_{subrasante} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$MR_{subrasante} = 3000 * (18,7)^{0.65}$$

$$MR_{subrasante} = 20128,81 \text{ psi} = 20,12 \text{ ksi} = 20 \text{ ksi}$$

➤ Coeficientes Estructurales y Módulo de Elasticidad

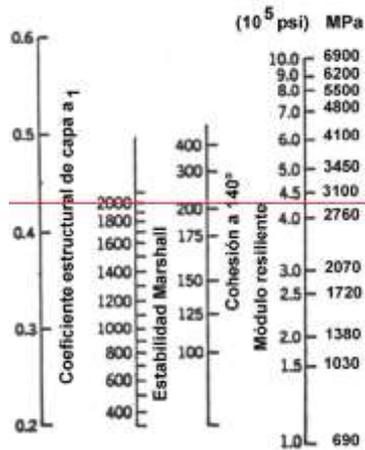
▪ Asfalto ( $a_1$ )

Para una estabilidad Marshall de 2000 Lb, se obtiene:

$$a_1 = 0,43$$

$$E_{asfalto} = 4,3 * 10^5 \text{ psi} = 430 \text{ ksi}$$

Coeficiente estructural para capa asfáltica relacionado con varios ensayos



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, pág. 110

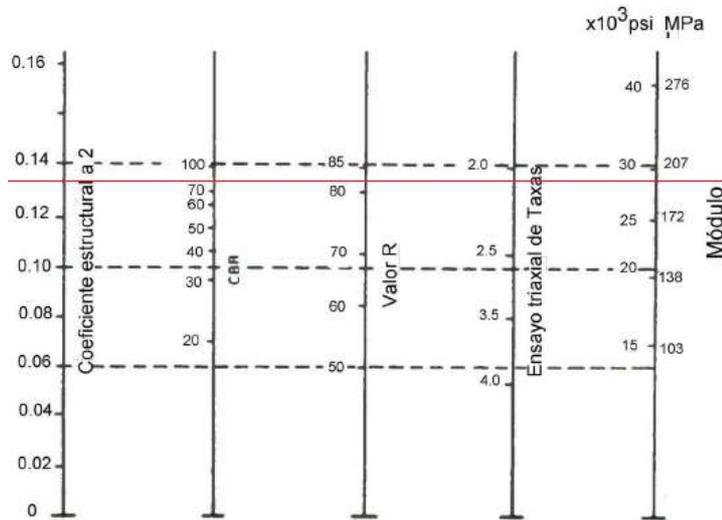
▪ Base (a2)

Para una Base con CBR=80 se obtiene:

$$a_2 = 0,132$$

$$E_{base} = 29 * 10^3 \text{ psi} = 29 \text{ ksi}$$

Coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, pág. 118

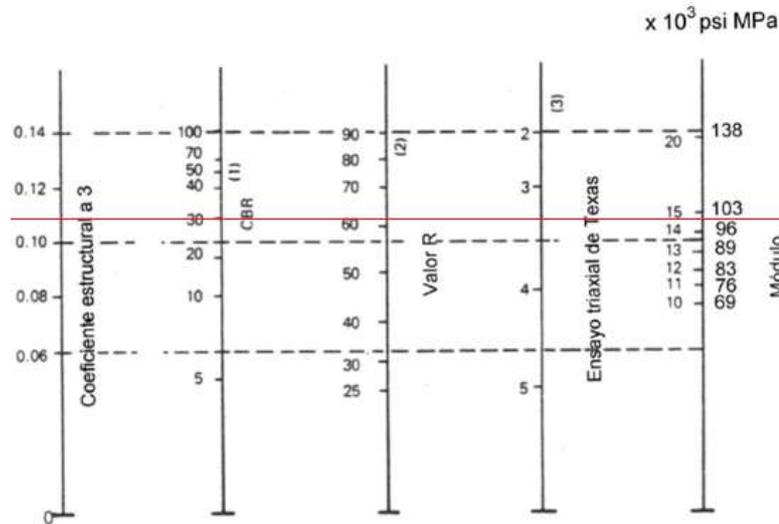
▪ Subbase (a3)

Para una Subbase con CBR=30 se obtiene:

$$a_3 = 0,11$$

$$E_{subbase} = 14,5 * 10^3 \text{ psi} = 14,5 \text{ ksi}$$

Coefficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, pág. 118

➤ Coeficientes de Drenaje ( $m_2$ ,  $m_3$ )

De acuerdo a las Tablas 23 y 24, se estima que la calidad de drenaje será regular y en la Zona de Ambato el porcentaje de precipitaciones es del 1% al 5%. Para Base y Subbase se establece los siguientes coeficientes:

$$m_2 = m_3 = 1,1$$

➤ Número Estructural Requerido

El SN requerido se calculó en el archivo Ecuación AASHTO 93 a partir de los siguientes datos:

Confiabilidad	(R)	85%
Desviación estándar normal	(Zr)	-1,037
Desviación estándar global	(So)	0,45
Serviciabilidad Inicial	(PSI inicial)	4,2
Serviciabilidad Final	(PSI final)	2,2
Módulo de Resiliencia	(Mr) psi	20000
Ejes equivalentes	(W18)	1537915

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 20000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

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

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =** 1537915  Calcular W18

Número Estructural  
**SN =** 2.43

Calcular Salir

Se puede iterar de forma manual variando el valor de SN de la siguiente manera.

- 1) Se reemplaza los valores y se toma un valor SN al azar por ejemplo 1, para determinar el valor B, pues el valor de A se obtiene del Logaritmo de ejes equivalentes.
- 2) Se calcula la diferencia (d) de A-B.
- 3) Se adopta un nuevo SN sumando el SN anterior más el valor d.
- 4) Con el SN nuevo se calcula B, y se repite los pasos del 2 al 4 hasta que el valor B sea igual al valor A y d=0.

SN	A	B	d = A-B	SN nuevo
1,00	6,19	4,06	2,13	3,13
3,13	6,19	6,89	-0,70	2,43
2,43	6,19	6,19	0,00	2,43

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

**B**

➤ Número estructural teórico requerido

Hoja de cálculo en Excel para determinar los números estructurales y espesores de diseño requeridos.

<b>MATERIALES</b>		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
<b>TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	1537915
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,00
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pt]	2,20
Periodo de diseño	(años)	20
<b>ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO</b>		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
<b>CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES</b>		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,11	12,5 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BC</sub> )	0,62	10,8 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,30	-6,3 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	2,43	23,3 cm

Fuente: Hugo Vilema

➤ Propuesta Diseño 1

Para cumplir con los valores de número estructural requerido se propone las siguientes dimensiones, respetando los valores de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP - 001 - F - 2002.

Espesor de pavimento propuesto

<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	<b>Propuesta</b>	
	<b>SN</b>	<b>espesor</b>
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,27	7,5 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,71	15,0 cm
<b>Total</b>	<b>2,56</b>	<b>32,5 cm</b>

Fuente: Hugo Vilema

**3.1.5.2. Diseño 2**

Para este diseño se empleó el número de ejes equivalentes calculado y un valor CBR promedio obtenido de las correlaciones manteniendo los datos anteriores.

Se mantienen los valores del Diseño 1 para:

- Confiabilidad
- Desviación Estándar Normal
- Desviación Estándar Global
- Índices de Serviciabilidad Inicial y Final
- Coeficientes de Drenaje
- Coeficientes estructurales y módulos de elasticidad para Carpeta Asfáltica, Base y Subbase

➤ **CBR**

Para el tramo Santa Rosa - El Quinche el mayor CBR de la subrasante determinado en laboratorio fue el del punto inicial y los datos de este punto son:

<b>Santa Rosa- El Quinche Pozo Pozo 7</b>		<b>Valor</b>
Densidad Seca Máxima	(γd máx)	1,507
Humedad Óptima	(Wopt)	9,30
Índice de Penetración DCP	(DN)	45,82
Límite Líquido	(LL)	26,48
Densidad Seca In Situ	(γd in situ)	1,204
Porcentaje de Finos que pasa #200	(%F)	10,96
Índice de Plasticidad	(IP)	2,15

Se determina el valor de CBR de acuerdo a los datos del punto ensayado:

Correlación	Ecuación	CBR
# 19	CBR mayor = 82,109 - 16,57Ln(DN)	18,73
# 20	CBR mayor = 0,205 * e^(3,172*γd máx)	24,42
# 21	CBR mayor = 6,616 * e^(0,095*Wopt)	16,01
# 24	CBR mayor = 32,232 + e^(-0,0514LL) + e^(0,07Wopt)	34,40
# 25	CBR mayor = 0,868 + γd in situ^(0,269) + Wopt^(1,258)	18,45
# 26	CBR mayor = 33,752 + e^(-0,0318LL) + e^(0,0192*#200)	35,41
# 27	CBR mayor = 0,8195 + IP^(-0,0226) + Wopt^(1,319)	20,74
Promedio CBR		19,67

No se promedia el valor CBR de las correlaciones #24 y #26 debido a que se encuentran fuera del rango comparado a los otros valores.

$$\text{Subrasante } CBR_{\text{correlaciones}} = 19,67$$

➤ Ejes Equivalentes

El número de ejes equivalentes proyectado a 20 años es W18=1537915.

➤ Módulo de Resiliencia

La Subrasante presenta un CBR=19,67

$$MR_{\text{subrasante}} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$MR_{\text{subrasante}} = 3000 * (19,67)^{0.65}$$

$$MR_{\text{subrasante}} = 20801.47 \text{ psi} = 20,80 \text{ ksi}$$

➤ Número Estructural Requerido

El SN requerido se calculó en el archivo Ecuación AASHTO 93 a partir de los siguientes datos:

Confiabilidad	(R)	85%
Desviación estándar normal	(Zr)	-1.037
Desviación estándar global	(So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	(PSI inicial)	4.2
Serviciabilidad Final	(PSI final)	2.2
Módulo de Resiliencia	(Mr) psi	20800
Ejes equivalentes	(W18)	1537915

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr = 20800 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  Calcular W18

W18 = 1537915

Número Estructural: SN = 2.39

➤ Número estructural teórico requerido

Hoja de cálculo en Excel para determinar los números estructurales y espesores de diseño requeridos.

MATERIALES		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430.00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29.00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14.50
TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	1537915
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1.037
Desviación Estándar Global	[So]	0.45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20.80
Serviciabilidad Inicial	[Pi]	4.20
Serviciabilidad Final	[Pt]	2.20
Periodo de diseño	(años)	20
ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0.430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0.132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0.110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1.100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1.100
CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2.11	12.5 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0.62	10.8 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0.34	-7.1 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	2.390	23.3 cm

Fuente: Hugo Vilema

➤ Propuesta Diseño 2

Para cumplir con los valores de número estructural requerido se propone las siguientes dimensiones, respetando los valores de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP - 001 - F - 2002.

Espesor de pavimento propuesto

<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	<b>Propuesta</b>	
	<b>SN</b>	<b>espesor</b>
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,27	7,5 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,71	15,0 cm
<b>Total</b>	<b>2,56</b>	<b>32,5 cm</b>

Fuente: Hugo Vilema

**3.1.5.3. Diseño 3**

Para este diseño se empleó el quintuple valor del número de ejes equivalentes originales y el CBR obtenido en laboratorio.

Se mantienen los valores del Diseño 1 para:

- Confiabilidad
- Desviación Estándar Normal
- Desviación Estándar Global
- Índices de Serviciabilidad Inicial y Final
- Coeficientes de Drenaje
- Coeficientes estructurales y módulos de elasticidad para Carpeta Asfáltica, Base y Subbase

➤ CBR

Para el tramo Santa Rosa - El Quinche el mayor CBR de la subrasante determinado en laboratorio fue el del punto inicial.

$$\text{Subrasante } CBR = 18.7$$

➤ Ejes Equivalentes

Se asume un número de ejes equivalentes 5 veces mayor al proyectado para 20 años ( $W_{18}=1537915$ ).

$$W_{18} = 5 * (1537915)$$

$$W_{18} = 7689575$$

➤ Módulo de Resiliencia

La Subrasante presenta un CBR=18,7

$$MR_{subrasante} = 3000 * CBR^{0,65}$$

$$MR_{subrasante} = 3000 * (18,7)^{0,65}$$

$$MR_{subrasante} = 20128,81 \text{ psi} = 20,12 \text{ ksi} = 20 \text{ ksi}$$

➤ Número Estructural Requerido

El SN requerido se calculó en el archivo Ecuación AASHTO 93 a partir de los siguientes datos:

Confiabilidad	(R)	85%
Desviación estándar normal	(Zr)	-1.037
Desviación estándar global	(So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	(PSI inicial)	4.2
Serviciabilidad Final	(PSI final)	2.2
Módulo de Resiliencia	(Mr) psi	20000
Ejes equivalentes	(W18)	7689575

**Ecuación AASHTO 93**

- Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

- Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 20000 psi

- Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

- Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 = 7689575**  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 3.13**

- Número estructural teórico requerido

Hoja de cálculo en Excel para determinar los números estructurales y espesores de diseño requeridos.

MATERIALES		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	7689575
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,00
Serviciabilidad Inicial	[Pi]	4,20
Serviciabilidad Final	[Pf]	2,20
Periodo de diseño	(años)	20
ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES		
		Teórico
		SN      Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,74	16,2 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0,77	13,5 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,38	-8,0 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	3,130	29,7 cm

Fuente: Hugo Vilema

- Propuesta Diseño 3

Para cumplir con los valores de número estructural requerido se propone las siguientes dimensiones, respetando los valores de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP - 001 - F - 2002.

Espesor de pavimento propuesto

DISEÑO DEL PAVIMENTO		
	Propuesta	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,69	10,0 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,95	20,0 cm
Total	3,22	40,0 cm

Fuente: Hugo Vilema

#### 3.1.5.4. Diseño 4

Para este diseño el quintuple valor del número de ejes equivalentes originales y un valor CBR promedio obtenido de las correlaciones.

Se mantienen los valores del Diseño 1 para:

- Confiabilidad
- Desviación Estándar Normal
- Desviación Estándar Global
- Índices de Serviciabilidad Inicial y Final
- Coeficientes de Drenaje
- Coeficientes estructurales y módulos de elasticidad para Carpeta Asfáltica, Base y Subbase

➤ CBR

Para el tramo Santa Rosa - El Quinche el mayor CBR de la subrasante determinado en laboratorio fue el del punto inicial y los datos de este punto son:

Santa Rosa- El Quinche Tramo Inicial		Valor
Densidad Seca Máxima	( $\gamma_d$ máx)	1,507
Humedad Óptima	( $W_{opt}$ )	9,30
Índice de Penetración DCP	(DN)	45,82
Límite Líquido	(LL)	26,48
Densidad Seca In Situ	( $\gamma_d$ in situ)	1,204
Porcentaje de Finos que pasa #200	(%F)	10,96
Índice de Plasticidad	(IP)	2,15

Se determina el valor de CBR de acuerdo a los datos del punto ensayado:

Correlación	Ecuación	CBR
# 20	$CBR_{mayor} = 0,205 * e^{(3,172 * \gamma_d \text{ máx})}$	24,42
# 21	$CBR_{mayor} = 6,616 * e^{(0,095 * W_{opt})}$	16,01
# 22	$CBR_{mayor} = 82,109 - 16,57 \ln(DN)$	18,73
# 24	$CBR_{mayor} = 32,232 + e^{(-0,0514LL)} + e^{(0,07W_{opt})}$	34,40
# 25	$CBR_{mayor} = 0,868 + \gamma_d \text{ in situ}^{(0,269)} + W_{opt}^{(1,258)}$	18,45
# 26	$CBR_{mayor} = 33,752 + e^{(-0,0318LL)} + e^{(0,0192 * \#200)}$	35,41
# 27	$CBR_{mayor} = 0,8195 + IP^{(-0,0226)} + W_{opt}^{(1,319)}$	20,74
Promedio CBR		19,67

No se promedia el valor CBR de las correlaciones #24 y #26 debido a que se encuentran fuera del rango comparado a los otros valores.

$$\text{Subrasante } CBR_{\text{correlaciones}} = 24$$

➤ Ejes Equivalentes

Se asume un número de ejes equivalentes 5 veces mayor al proyectado para 20 años ( $W_{18}=1537915$ ).

$$W_{18} = 5 * (1537915) = 7689575$$

➤ Módulo de Resiliencia

La Subrasante presenta un  $CBR=19,67$

$$MR_{subrasante} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$MR_{subrasante} = 3000 * (19,67)^{0.65}$$

$$MR_{subrasante} = 20801.47 \text{ psi} = 20,80 \text{ ksi}$$

➤ Número Estructural Requerido

El SN requerido se calculó en el archivo Ecuación AASHTO 93 a partir de los siguientes datos:

Confiabilidad	(R)	85%
Desviación estándar normal	(Zr)	-1.037
Desviación estándar global	(So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	(PSI inicial)	4.2
Serviciabilidad Final	(PSI final)	2.2
Módulo de Resiliencia	(Mr) psi	20800
Ejes equivalentes	(W18)	7689575

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 20800 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

W18 = 7689575

Número Estructural: SN = 3.09

- Número estructural teórico requerido

Hoja de cálculo en Excel para determinar los números estructurales y espesores de diseño requeridos.

<b>MATERIALES</b>		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
<b>TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	7689575
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,80
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pt]	2,20
Periodo de diseño	(años)	20
<b>ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO</b>		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
<b>CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES</b>		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,74	16,2 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BC</sub> )	0,77	13,5 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,42	-8,8 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	3,090	29,7 cm

Fuente: Hugo Vilema

- Propuesta Diseño 4

Para cumplir con los valores de número estructural requerido se propone las siguientes dimensiones, respetando los valores de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP - 001 - F - 2002.

Espesor de pavimento propuesto

<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	Propuesta	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,69	10,0 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,95	20,0 cm
Total	3,22	40,0 cm

Fuente: Hugo Vilema

### **3.2. Verificación de Hipótesis**

De acuerdo a los coeficientes de correlación de la Tabla 31, se determina que de las 27 correlaciones solo dos no superan el 60%, teniendo así que solo el 7,40% del 100% de las ecuaciones son correlaciones mínimas.

De las 27 correlaciones, 23 emplean los datos obtenidos mediante los ensayos, las restantes 4 correlaciones se hicieron con 11 datos debido a que por el factor humano el dato eliminado cambiaba de forma considerable la tendencia y por ende disminuía el factor de correlación.

El factor de correlación promedio es del 77%, situándose como una correlación regular.

En consideración de los datos manifestados se acepta la Hipótesis Alternativa y se puede afirmar que existe correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

## CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se determinó que existe relación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las Parroquias Huachi Grande y Santa Rosa. La tendencia de la correlación no siempre es lineal, puede ser del tipo exponencial, logarítmica o potencial, cualquiera que mejor se ajuste a los datos de la propiedad a correlacionar.
- Se clasificó mediante las propiedades índice y mecánicas a los suelos de las parroquias Huachi Grande y Santa Rosa como suelos: A-4 y A-2-4 según el método AASHTO y como suelos SM y SC mediante el método SUCS.
- Se determinó que no todas las propiedades se pueden correlacionar debido a que una es producto del cálculo de la otra.
- Se determinó 27 correlaciones con un coeficiente de correlación desde 54% hasta correlaciones del 92% empleando dos y tres variables de las propiedades índice y mecánicas.
- Las propiedades que proporcionaron las mejores correlaciones con el CBR fueron Densidad Seca Máxima, Humedad Óptima, Límite Líquido, Densidad Seca in situ, el Porcentaje de finos que pasa el tamiz #200 y el Índice Plástico.
- La propiedad que menos influencia presentó (57%) en la correlación con el CBR fue el Índice de Penetración DCP debido a que el valor de CBR se obtiene en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad, en cambio el DN, se lo realiza en campo con una humedad natural susceptible a efectos ambientales muy variables, estableciendo que la correlación entre estas propiedades no es directa debido a la diferencia de condiciones al momento de realizar ambos ensayos.

- Se estableció que el CBR de laboratorio y el CBR obtenido de las correlaciones no varía en forma considerable, siendo el valor de correlaciones mayor al obtenido en laboratorio.
- Se determinó que el Módulo de Resiliencia obtenido con el CBR de laboratorio y el CBR de correlaciones no varía notablemente, pudiendo emplearse la misma fórmula propuesta por la AASHTO para su cálculo.
- Se determinó que la estructura del pavimento mantiene relación en sus espesores de diseño, para el caso de un número de ejes equivalentes bajo (Modelo 1 y 2) o ya sea para un número de ejes equivalentes 5 veces mayor (Modelo 3 y 4).
- Se determinó que el número estructural no siempre requiere de un espesor de subbase para cumplir con el SN requerido para las solicitudes de tránsito, pero no incluir la subbase, afectará la estructura del pavimento al no tener una capa que sirva como aislamiento de humedad de la subrasante, además de aportar en el número estructural.
- Se estableció que resulta más económico cumplir con el número estructural aumentando subbase, en lugar de base y carpeta asfáltica, debido al costo en volumen que representan estos materiales.
- Se concluye que la estructura del pavimento presentará un mejor comportamiento al tener espesores de subbase y base que satisfagan el SN teórico requerido para que en un futuro de ser solicitada una adecuación o mantenimiento se complete o aumente el SN incrementando el espesor de la carpeta asfáltica.

## 4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar correlaciones con los datos de las 108 muestras del Macro Proyecto a fin de obtener correlaciones más exactas y aplicables para los tipos de suelo del Cantón Ambato.
- Se recomienda establecer correlaciones por vía del cantón Ambato debido a que las propiedades del suelo pueden variar de un lugar a otro disminuyendo el factor de correlación, obteniendo correlaciones confiables y aplicables a cada Parroquia del Cantón Ambato en función del tipo y naturaleza del suelo.
- Se recomienda buscar las diferencias de valores aplicando correlaciones experimentales entre el DCP y CBR y las establecidas por la AASHTO.
- Se recomienda emplear las correlaciones obtenidas a suelos cuyos valores estén dentro de los rangos de las propiedades índice y mecánicas.
- Se recomienda mantener un criterio técnico al determinar un CBR promedio de las correlaciones, cuyo valor esté dentro del rango de las otras ecuaciones.
- No se recomienda descartar valores que no estén dentro de la tendencia de la mayoría de puntos ya que se estaría descartando un valor real solo para mejorar la correlación.
- Se recomienda realizar correlaciones entre el Índice de Penetración (DN) y los valores CBR de laboratorio, obtenidos mediante el uso del contenido de humedad in situ para un caso y para el otro caso emplear solo la humedad óptima y no en condiciones saturadas (sumergido) para determinar la variación de sus valores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Portilla and A. Pillajo, “DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO EN SUELOS GRANULARES Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CAMINOS VECINALES,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2001.
- [2] O. Guamán, “ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN DEL CBR CON RESPECTO AL ENSAYO PENETRÓMETRO CÓNICO ESTÁTICO EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2016.
- [3] S. María, “CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE CBR Y EL ENSAYO DEL PRÓCTOR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA PARROQUIA AMBATILLO ALTO EN EL SECTOR DE SAN PEDRO,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2016.
- [4] A. Manotoa, “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.
- [5] P. A. Gordillo and S. F. Navas, “Análisis de la aplicación de la Norma ASTM D 6951 - 03 para estimar el índice del CBR en un suelo de la ciudad de Cuenca,” p. 66, 2018.
- [6] C. Fernandez and M. Suarez, “CORRELACIÓN Y FUNDAMENTOS DE UTILIZACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS , EN FUNCIÓN DE APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA VÍA SALADO-LENTAG EN EL TRAMO DE LAS ABSCISAS 50 + 000 A LA 55 + 000” ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2012.
- [7] J. Bermúdez, O. Vásquez, and R. Moncada, “VALIDACIÓN DEL MÉTODO DCP APLICADO EN CAMPO EN RELACIÓN AL ENSAYO CBR EN LABORATORIO,” *ResearchGate*, no. 14, p. 5, 2016.
- [8] M. Zumrawi, “Prediction of In-situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties,” *ResearchGate*, vol. 6, no. 5, pp. 116–119, 2014.

- [9] P. Kaur, K. S. Gill, and B. S. Walia, “CORRELATION BETWEEN SOAKED CBR VALUE AND CBR VALUE OBTAINED WITH DYNAMIC CONE PENETROMETER,” vol. 2, no. 2, pp. 1243–1250, 2012.
- [10] E. Juárez-Badillo and A. Rico-Rodríguez, *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México, 2014.
- [11] D. Navarro and F. Gómez, “Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos,” p. 54, 2004.
- [12] K. Zabielska-Adamska and M. J. Sulewska, “Dynamic CBR Test to Assess the Soil Compaction,” *J. Test. Eval.*, vol. 43, no. 5, pp. 1028–1035, 2014.
- [13] C. N. Rao, G. Varghese, and R. Shivashankar, “PFWD , CBR and DCP Evaluation of Lateritic Subgrades of Dakshina,” *ResearchGate*, no. December 2014, pp. 1–6, 2008.
- [14] R. Pérez, *Mecánica de Suelos I*, 1st ed. Ambato: FICM, 2016.
- [15] P. Berry and D. Reid, *Mecánica De Suelos*. Colombia: McGraw-Hill INTERAMERICANA S.A., 1996.
- [16] J. León and R. Zeas, “DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES DCP IN SITU Y CBR DE LABORATORIO,” UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2017.
- [17] G. De Noni, G. Trujillo, E. Custode, and M. Viennot, “The Camgahua in Ecuador: Morpho-Edaphologic Chaaacdedzation and Susceptibility to Erosion,” no. January 1992, pp. 332–346, 2016.
- [18] C. Zebrowski, “Los suelos con cangahua en el Ecuador,” *III Simp. Int. sobre Suelos volchicos Endur.*, pp. 128–137, 1996.
- [19] J. Bowles, *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil*, McGRAW-HIL. México, 1981.
- [20] A. Angamarca, “DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO Y NATURAL EN SUELOS FINOS Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUB-RASANTE, EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE QUITO,” 2013.
- [21] R. Armas Novoa, “Compactación de Suelos,” Habana-Cuba: ISPJAE, 2010, pp. 1–14.
- [22] J. F. Osorio Martinez and A. N. Casas Gerena, “Correlación P.D.C. con C.B.R.

- para Suelos en la Localidad de Suba,” Universidad Militar Nueva Granada, 2011.
- [23] O. Cordo and EICAM, *Manual Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93)*, Tercera. La Paz, 2006.
- [24] F. Viscarra Agreda, “El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos,” *iCIVIL*, p. 18, 2006.
- [25] E. Barquero and I. Fernández, “ASTM D 6951 - 03. Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos.” Proyecto MOPT/GTZ, pp. 1–14.
- [26] C. Laguna, “CORRELACIÓN Y REGRESIÓN LINEAL,” *Inst. Aragon. Ciencias la Salud*, pp. 143–178, 2019.
- [27] C. Martínez Bencardino, *Estadística y Muestreo*, Décima Ter. 2012.
- [28] M. Spiegel and L. Stephens, *Estadística Schaum*, Cuarta. México: McGraw-Hill, 2009.
- [29] Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras - 2003*. Quito, 2003.
- [30] F. Sierra, *Diseño Geométrico de Carreteras y Calles AASTHO-1994*, 1st ed. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires, 1997.
- [31] R. Reyes Spíndola and J. Cárdenas Grisales, *Ingeniería de Tránsito FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*, 7th ed. México: Ediciones Alfaomega, 1994.
- [32] F. Moreira, “Manual de Diseño de Pavimentos.” FICM, Ambato, 2017.
- [33] D. Moya, “Diseño Geométrico de Vías - Apuntes.” FICM, Ambato, 2019.
- [34] I. Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú, *Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993*, Primera. Lima: Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú, 1997.
- [35] M. Gómez, *MANUAL COMPLETO DISEÑO DE PAVIMENTOS*. UMSS Facultad de Ciencias y Tecnología, 1990.
- [36] G. Corredor and D. A. Drajat, *Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO*, vol. 53, no. 9. 1972.

## ANEXOS

### Anexo A: Fotografías)

Figura 70. Excavación de calicata



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 71. Toma de coordenadas



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 72. Ensayo de Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa)



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 73. Ensayo DCP



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 74. Ensayo de Humedad in situ



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 75. Cribado de las muestras extraídas para su secado



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 76. Pesaje del suelo retenido en cada tamiz (Granulometría)



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 77. Ensayo de Límite Líquido



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 78. Ensayo de Límite Plástico



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 79. Ensayo de Gravedad Específica



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 80. Ensayo de Compactación Proctor



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 81. Ensayo de Compactación CBR



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 82. Inmersión de moldes CBR



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 83. Medición de Esponjamiento de moldes CBR



Fuente: Hugo Vilema Peña

Figura 84. Ensayo de Compresión CBR

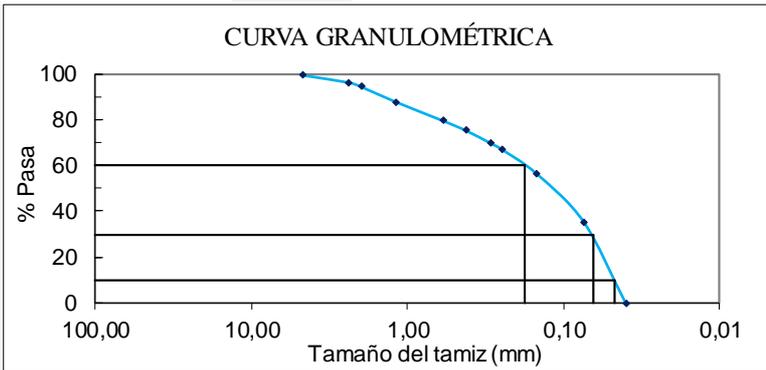


Fuente: Hugo Vilema Peña

**Anexo B: Ensayos**

**Huachi Grande – San José**

Tabla 35. Humedad in situ y Granulometría Pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ			<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,05 m		
<b>POZO:</b> P1			<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,60 m		
			<b>COORDENADAS:</b> 17 762824 m 9854947 m		
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	23,60	76,20	72,90	6,69	
2	31,20	86,20	82,80	6,59	6,64
3	30,40	83,50	80,20	6,63	
GRANULOMETRÍA					
		W <sub>INICIAL</sub> (gr) 250,6			
TAMIZ	mm	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% RET.ACUM.	% PASA
# 4	4,76	0,90	0,90	0,36	99,64
# 8	2,38	8,20	9,10	3,63	96,37
# 10	2,00	4,30	13,40	5,35	94,65
# 16	1,19	16,90	30,30	12,09	87,91
# 30	0,595	20,60	50,90	20,31	79,69
# 40	0,420	11,00	61,90	24,70	75,30
# 50	0,297	13,30	75,20	30,01	69,99
# 60	0,250	7,00	82,20	32,80	67,20
# 100	0,149	26,80	109,00	43,50	56,50
# 200	0,074	53,10	162,10	64,68	35,32
FUENTE		88,50	88,50	35,32	
CURVA GRANULOMÉTRICA					
					
COEFICIENTES DEL SUELO					
D10 (mm)	0,047	Cu = D60 / D10			3,83
D30 (mm)	0,065	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)			0,50
D60 (mm)	0,180	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm			1,19
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO	
SUCS	0,36	64,32	35,32	SM	
AASHTO	3,63	61,05	35,32	A-2-4	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 36. Humedad in situ y Granulometría Pozo 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m		
<b>POZO:</b>	P2	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	762128 m	9855641 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	30,90	86,90	80,80	12,22	
2	24,00	76,30	70,70	11,99	12,01
3	30,50	84,40	78,70	11,83	

GRANULOMETRÍA					
TAMIZ	mm	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		W <sub>INICIAL</sub> (gr): 252,4			
# 4	4,76	0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38	8,40	8,40	3,33	96,67
# 10	2,00	4,10	12,50	4,95	95,05
# 16	1,19	15,60	28,10	11,13	88,87
# 30	0,595	20,00	48,10	19,06	80,94
# 40	0,420	11,60	59,70	23,65	76,35
# 50	0,297	13,90	73,60	29,16	70,84
# 60	0,250	4,00	77,60	30,74	69,26
# 100	0,149	27,80	105,40	41,76	58,24
# 200	0,074	59,10	164,50	65,17	34,83
FUENTE		87,70	87,90	34,83	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,046	Cu = D60 / D10	3,48	
D30 (mm)	0,065	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,57	
D60 (mm)	0,160	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	1,19	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	65,17	34,83	SM
AASHTO	3,33	61,85	34,83	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 37. Densidad de Campo Pozo 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,05 m			
<b>POZO:</b> P1		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,60 m			
		<b>COORDENADAS:</b> 17 762824 m 9854947 m			
<b>DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO</b>				<b>Unidades</b>	
Peso de la masa del suelo + funda	(Wm+Rec)	370,00	gr		
Peso de la funda	(Rec)	4,80	gr		
Peso de la masa del suelo	(Wm = Wm+Rec-Rec)	365,20	gr		
<b>DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO</b>				<b>Unidades</b>	
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00	gr		
Peso final frasco + cono + arena		5460,00	gr		
Peso de arena en el cono		343,00	gr		
Peso arena en la perforación		487,00	gr		
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588	gr/cm <sup>3</sup>		
Volumen de la perforación	(Vm)	306,68	cm <sup>3</sup>		
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				<b>Unidades</b>	
Identificación del Recipiente		# 54	# 57	-	
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	76,20	83,50	gr	
Peso seco + recipiente	Ws+rec	72,90	80,20	gr	
Peso recipiente	Rec	23,60	30,40	gr	
Peso del agua	Ww	3,30	3,30	gr	
Peso de los sólidos	Ws	49,30	49,80	gr	
Contenido de humedad	w%	6,69	6,63	%	
Contenido de humedad promedio	W%	6,66		%	
<b>DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO</b>					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos	Vv =	25,80	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va = 	Va	22,50	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw = 	Vw	3,30	cm <sup>3</sup>	3,30	gr
Vs = 	Vs	18,79	cm <sup>3</sup>	49,80	gr
Vm =	Vm	44,59	cm <sup>3</sup>	53,10	gr
<b>DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO</b>				<b>Unidades</b>	
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,191	gr/cm <sup>3</sup>		
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,116	gr/cm <sup>3</sup>		
Contenido de humedad w%		6,66	%		
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		1,37	natural		
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		57,86	%		
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Vw/Vv*100$		12,79	%		
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		87,21	%		

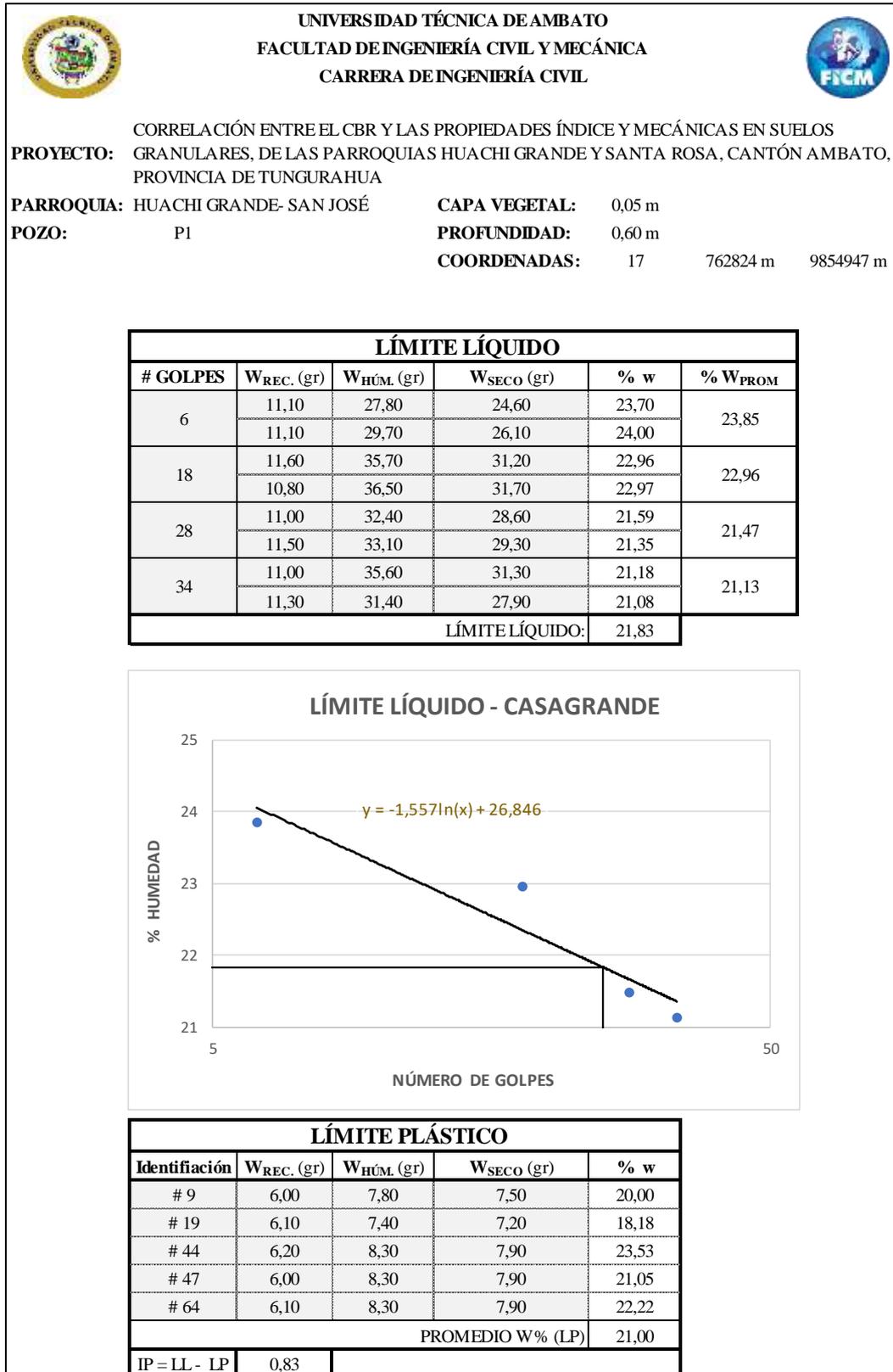
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 38. Densidad de Campo Pozo 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m			
<b>POZO:</b> P2		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m			
		<b>COORDENADAS:</b> 17 762128 m 9855641 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO				Unidades	
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		360,00		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		355,20		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO				Unidades	
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		5550,00		gr	
Peso de arena en el cono		343,00		gr	
Peso arena en la perforación		397,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		250,00		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				Unidades	
Identificación del Recipiente		# 89	# 56	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		76,30	84,40	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		70,70	78,70	gr	
Peso recipiente Rec		24,00	30,50	gr	
Peso del agua Ww		5,60	5,70	gr	
Peso de los sólidos Ws		46,70	48,20	gr	
Contenido de humedad w%		11,99	11,83	%	
Contenido de humedad promedio W%		11,91		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		19,75	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va = 		14,05	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw = 		5,70	cm <sup>3</sup>	5,70	gr
Vs = 		18,19	cm <sup>3</sup>	48,20	gr
Vm =		37,94	cm <sup>3</sup>	53,90	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO				Unidades	
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,421		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,270		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		11,91		%	
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		1,09		natural	
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		52,05		%	
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Vw/Vv*100$		28,86		%	
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		71,14		%	

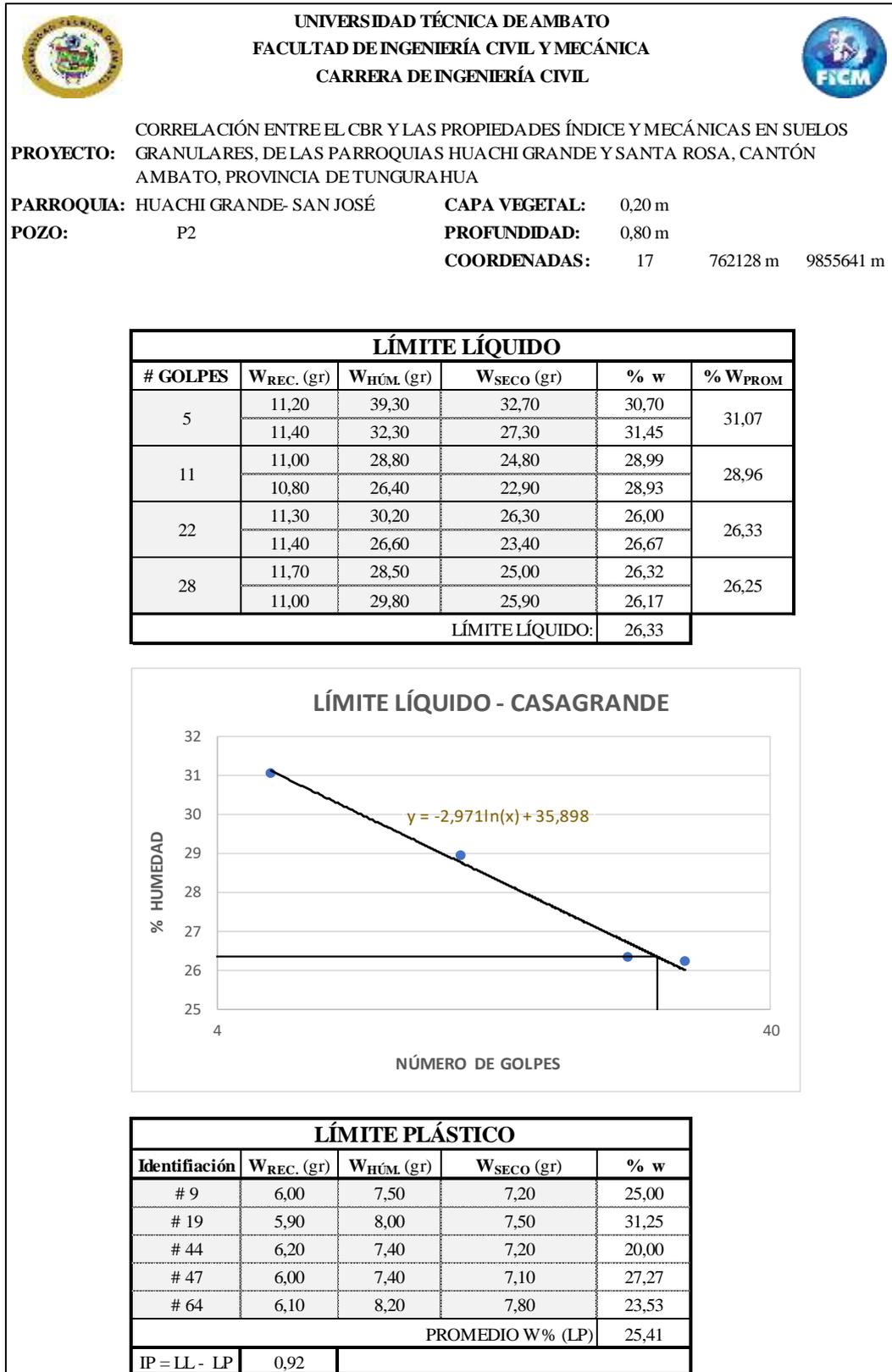
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 39. Límite Líquido y Plástico Pozo 1



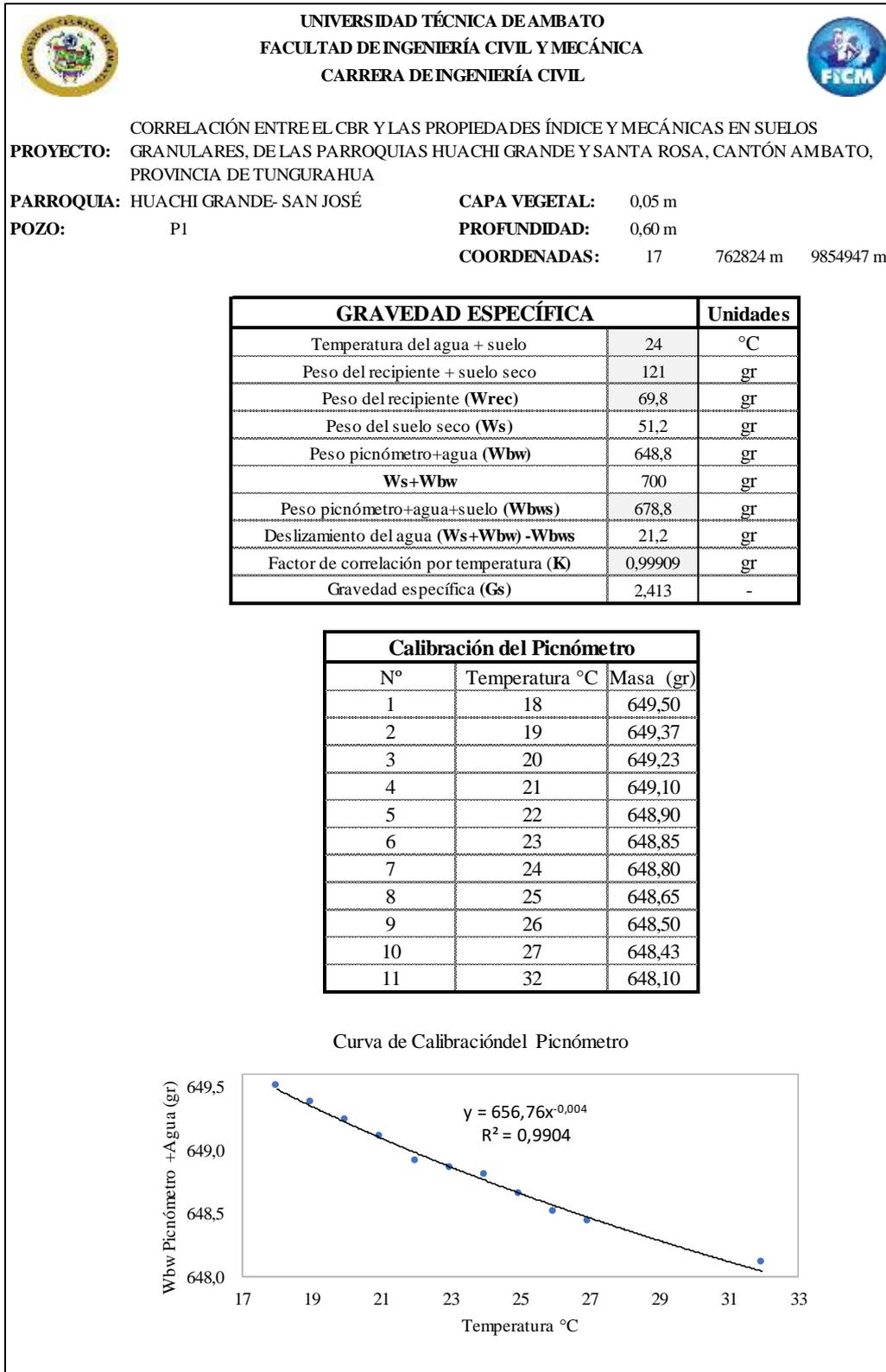
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 40. Límite Líquido y Plástico Pozo 2



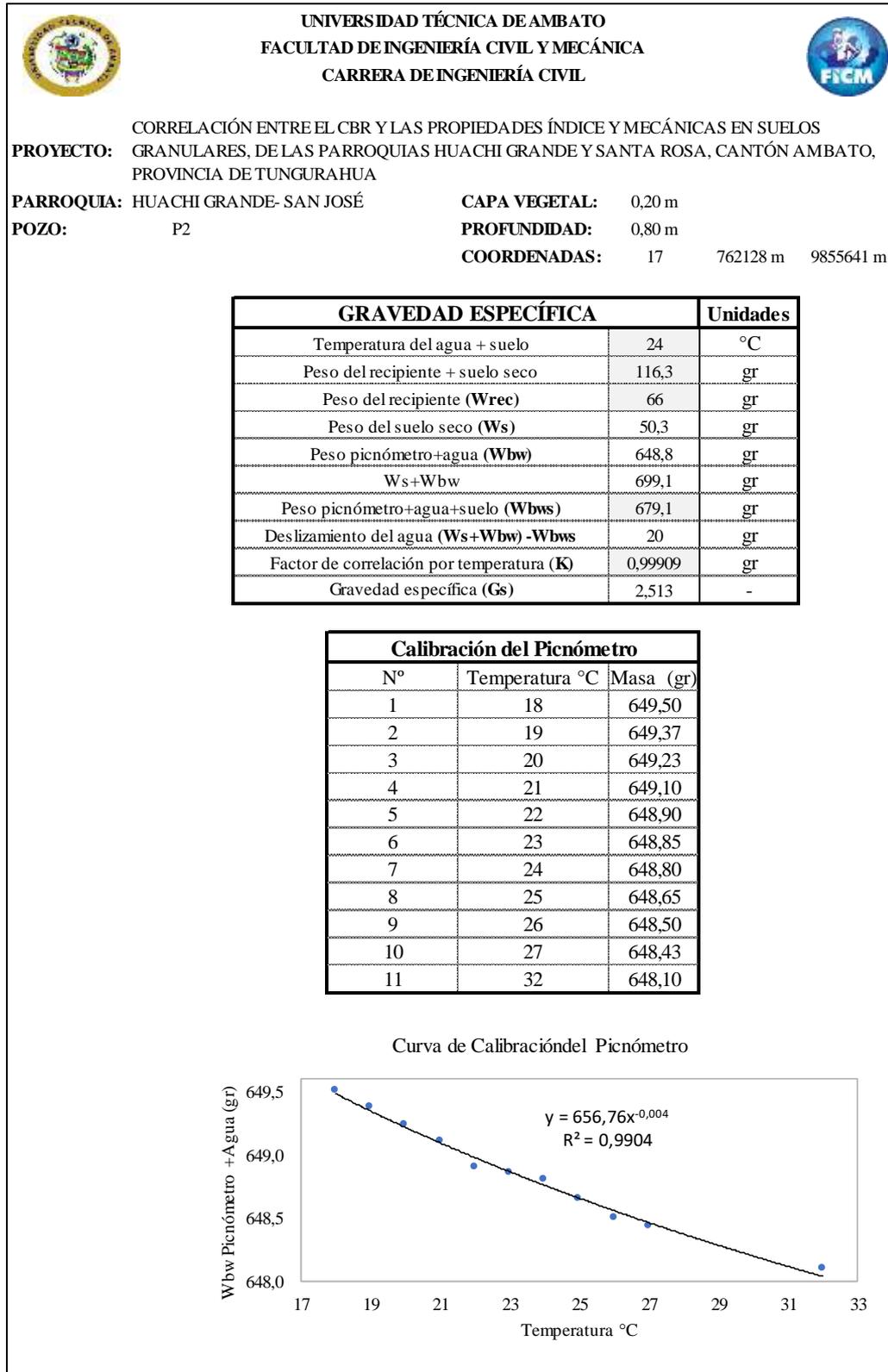
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 41. Gravedad Específica Pozo 1



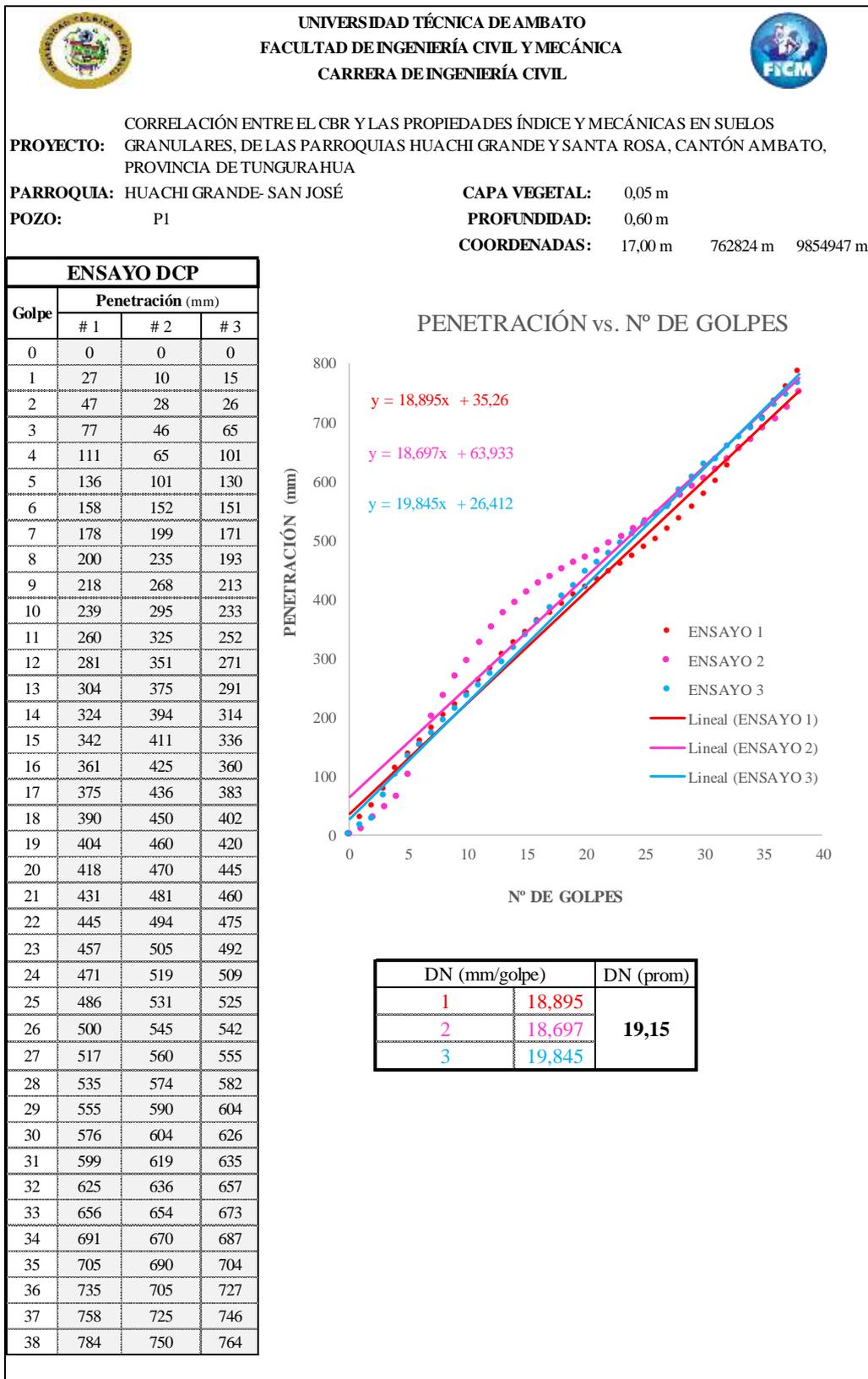
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 42. Gravedad Específica Pozo 2



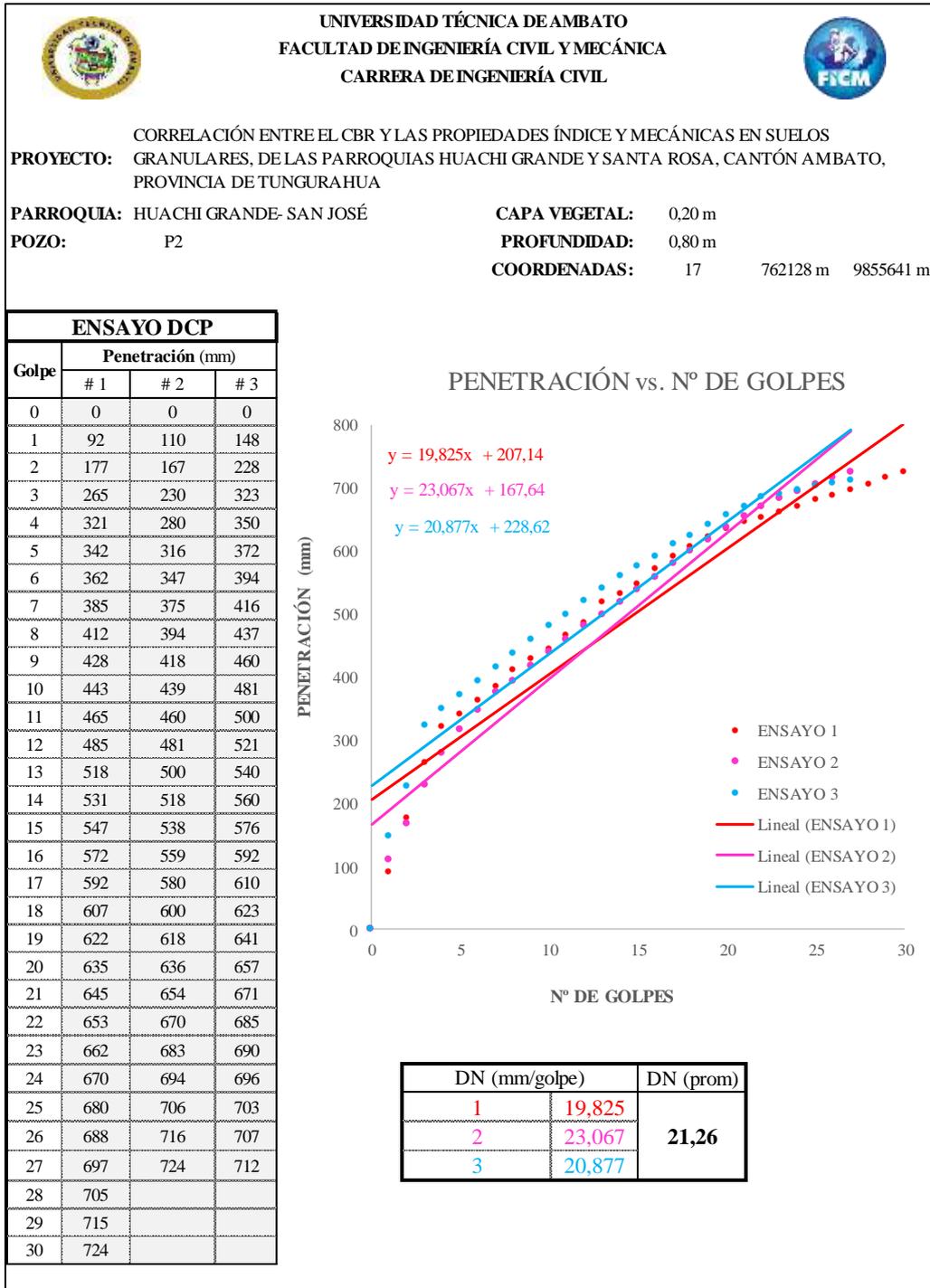
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 43. DCP Pozo 1



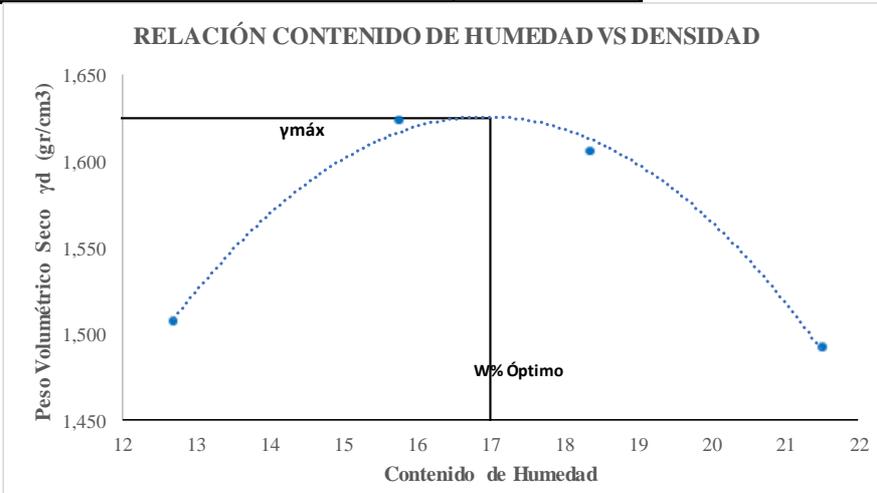
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 44. DCP Pozo 2



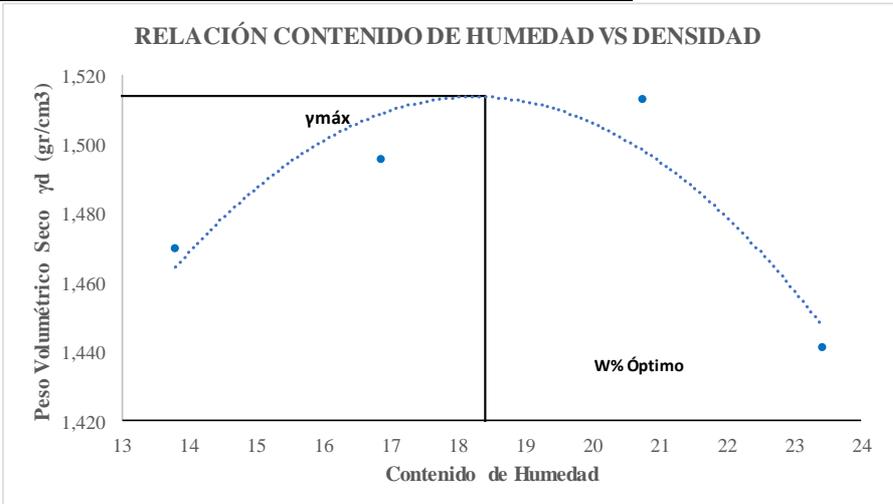
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 45. Proctor Pozo 1

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,05 m						
<b>POZO:</b> PI		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,60 m						
		<b>COORDENADAS:</b> 17 762824 m 9854947 m						
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15535	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2316,67	cm <sup>3</sup>		
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	*(cm)	15,24	h (cm)		
Peso Inicial	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19470	19888	19938	19734				
P. suelo humedo Wm (gr)	3935	4353	4403	4199				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,699	1,879	1,901	1,813				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	05 MS	07 MS	32	76	66	96	82	97
P. del recipiente (Wrec)	32,50	32,80	26,40	30,70	30,90	31,40	30,60	33,20
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	138,50	121,30	97,00	85,00	86,90	98,70	93,20	94,30
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	126,70	111,20	87,40	77,60	78,10	88,40	81,90	83,70
Peso solidos (Ws)	94,20	78,40	61,00	46,90	47,20	57,00	51,30	50,50
Peso del agua (Ww)	11,80	10,10	9,60	7,40	8,80	10,30	11,30	10,60
Cont. Humedad (w%)	12,53	12,88	15,74	15,78	18,64	18,07	22,03	20,99
Cont. Humedad promedio (w%)	12,70		15,76		18,36		21,51	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,507		1,623		1,606		1,492	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %			17					
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )			1,625					
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b>								
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 46. Proctor Pozo 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m						
<b>POZO:</b> P2		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m						
		<b>COORDENADAS:</b> 17 762128 m 9855641 m						
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15535	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2316,67	cm <sup>3</sup>		
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h(cm)	15,24	h (cm)		
Peso Inicial	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	12	15	18	21				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19409	19583	19766	19655				
P. suelo humedo Wm (gr)	3874	4048	4231	4120				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,672	1,747	1,826	1,778				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	66	96	82	97	05 MS	07 MS	29 HV	30 HV
P. del recipiente (Wrec)	30,90	31,40	30,60	33,20	32,50	32,80	7,90	7,70
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	93,20	93,90	94,90	90,30	84,60	84,30	73,00	62,60
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	84,70	87,30	85,70	82,00	75,20	75,90	59,70	53,00
Peso solidos (Ws)	53,80	55,90	55,10	48,80	42,70	43,10	51,80	45,30
Peso del agua (Ww)	8,50	6,60	9,20	8,30	9,40	8,40	13,30	9,60
Cont. Humedad (w%)	15,80	11,81	16,70	17,01	22,01	19,49	25,68	21,19
Cont. Humedad promedio (w%)	13,80		16,85		20,75		23,43	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,469		1,495		1,512		1,441	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %		<b>18,4</b>						
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		<b>1,514</b>						
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 47. Compactación CBR Pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
 												
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>												
PARROQUIA: HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ		CAPA VEGETAL: 0,05 m										
POZO: P1		PROFUNDIDAD: 0,60 m										
		COORDENADAS: 17 762824 m 9854947 m										
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO	16,50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
Identificación Molde	1		2		3							
Número de Golpes	5		5		5							
Número de Capas	56		27		11							
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo						
P. Hum. + Molde (gr)	12749	12872	10678	10876	12175	12460						
Peso Molde (gr)	8293	8293	6400	6400	8341	8341						
P. Humedo (gr)	4456	4579	4278	4476	3834	4119						
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2292,44	2292,44	2298,37	2298,37	2274,25	2274,25						
% Agua absorbida	2,76%		4,63%		7,43%							
Esponjamiento	0,32 plg		0,17 plg		0,05 plg							
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,944	1,997	1,861	1,947	1,686	1,811						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,678	1,655	1,606	1,577	1,455	1,450						
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,666		1,592		1,452							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
	05 MS	96	05 MS	96	33 HV	34 HV	35 HV	36 HV	29 HV	30 HV	31 HV	32 HV
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	97,10	84,40	85,50	82,70	69,60	57,80	59,30	58,40	59,10	62,20	59,80	60,90
Rec+S. seco (Ws + Wm)	88,30	77,10	76,50	73,80	61,20	50,90	49,70	48,60	52,10	54,70	49,50	50,20
P. recipiente (Wrec)	32,50	31,40	32,50	31,40	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,70	7,80	7,70
Peso del agua (Ww)	8,80	7,30	9,00	8,90	8,40	6,90	9,60	9,80	7,00	7,50	10,30	10,70
Peso solidos (Ws)	55,80	45,70	44,00	42,40	53,30	43,10	41,80	40,80	44,20	47,00	41,70	42,50
Cont. Humedad (w%)	15,77	15,97	20,45	20,99	15,76	16,01	22,97	24,02	15,84	15,96	24,70	25,18
Cont. promedio (w%)	15,872		20,723		15,885		23,493		15,897		24,938	
Datos				MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3						
Altura (cm)				12,60	12,60	12,50						
Diametro (cm)				15,22	15,24	15,22						
Peso (gr)				8293	6400	8341						
Area (cm <sup>2</sup> )				181,94	182,41	181,94						
Volumen (cm <sup>3</sup> )				2292,44	2298,37	2274,25						

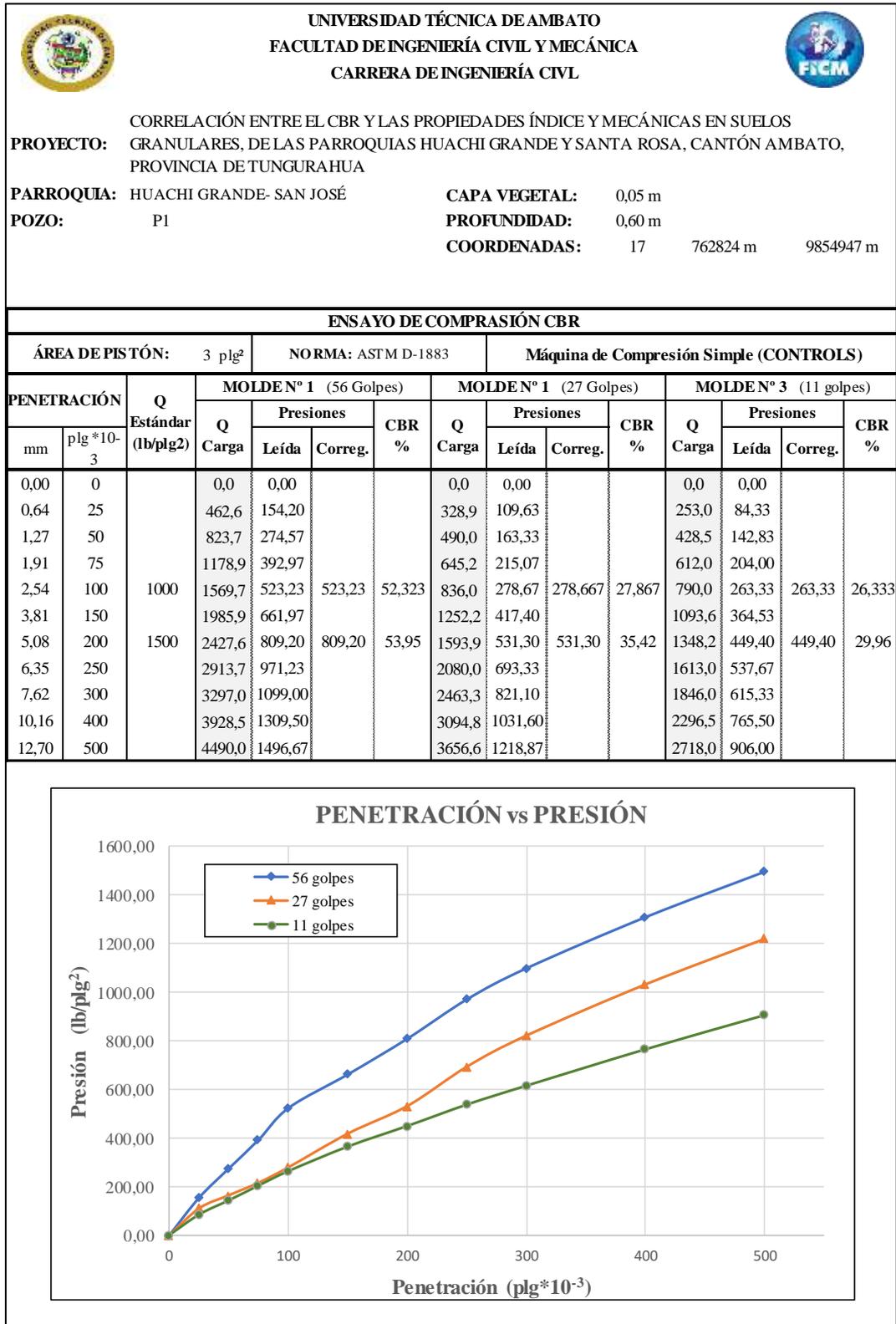
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 48. Compactación CBR Pozo 2

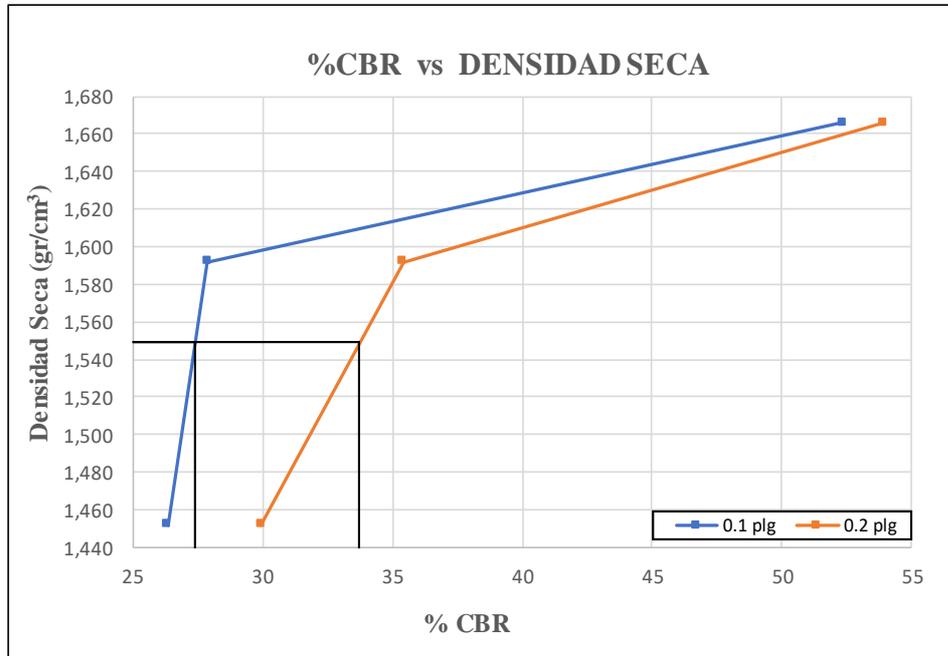
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																												
 																																
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																																
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																															
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- SAN JOSÉ	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m																													
<b>POZO:</b>	P2	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m																													
		<b>COORDENADAS:</b>	17	762128 m	9855641 m																											
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																																
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO		<b>PESO DEL MARTILLO:</b>	10 lb																												
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180		<b>ALTURA DE CAIDA:</b>	18"																												
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000		<b>W% ÓPTIMO</b>	20,00																												
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																																
Identificación Molde	1		2		3																											
Número de Golpes	5		5		5																											
Número de Capas	56		27		11																											
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																										
P. Hum. + Molde (gr)	12470	12583	12331	12533	13331	13546																										
Peso Molde (gr)	8292	8292	8339	8339	9564	9564																										
P. Humedo (gr)	4178	4291	3992	4194	3767	3982																										
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2304,54	2286,40	2286,40	2347,00	2347,00																										
% Agua absorbida	2,70%		5,06%		5,71%																											
Espojamiento	0,05 plg		0,00 plg		0,00 plg																											
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,813	1,862	1,746	1,834	1,605	1,697																										
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,517	1,514	1,459	1,471	1,330	1,331																										
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,516		1,465		1,331																											
CONTENIDO DE HUMEDAD																																
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																				
	35 HV	36 HV	35 HV	36 HV	33 HV	34 HV	33 HV	34 HV	31 HV	32 HV	31 HV	32 HV																				
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	58,80	60,50	58,30	58,20	59,60	58,30	58,50	59,30	58,90	58,80	58,10	58,10																				
Rec+S. seco (Ws + Wm)	50,30	52,10	48,00	49,70	51,20	49,90	48,00	49,60	50,30	49,90	46,80	47,70																				
P. recipiente (Wrec)	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,80	7,80	7,70	7,80	7,70																				
Peso del agua (Ww)	8,50	8,40	10,30	8,50	8,40	8,40	10,50	9,70	8,60	8,90	11,30	10,40																				
Peso solidos (Ws)	42,40	44,30	40,10	41,90	43,30	42,10	40,10	41,80	42,50	42,20	39,00	40,00																				
Cont. Humedad (w%)	20,05	18,96	25,69	20,29	19,40	19,95	26,18	23,21	20,24	21,09	28,97	26,00																				
Cont. promedio (w%)	19,504		22,986		19,676		24,695		20,663		27,487																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,70</td> <td>12,60</td> <td>12,60</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,20</td> <td>15,20</td> <td>15,40</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>8292</td> <td>8339</td> <td>9564</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>181,46</td> <td>181,46</td> <td>186,27</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2304,54</td> <td>2286,40</td> <td>2347,00</td> </tr> </tbody> </table>				Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,70	12,60	12,60	Diametro (cm)	15,20	15,20	15,40	Peso (gr)	8292	8339	9564	Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	181,46	186,27	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2286,40	2347,00				
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																													
Altura (cm)	12,70	12,60	12,60																													
Diametro (cm)	15,20	15,20	15,40																													
Peso (gr)	8292	8339	9564																													
Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	181,46	186,27																													
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2286,40	2347,00																													

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 49. Ensayo CBR Pozo 1



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	52,32	27,87	26,33
	0,2 plg	53,95	35,42	29,96
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,666	1,592	1,452

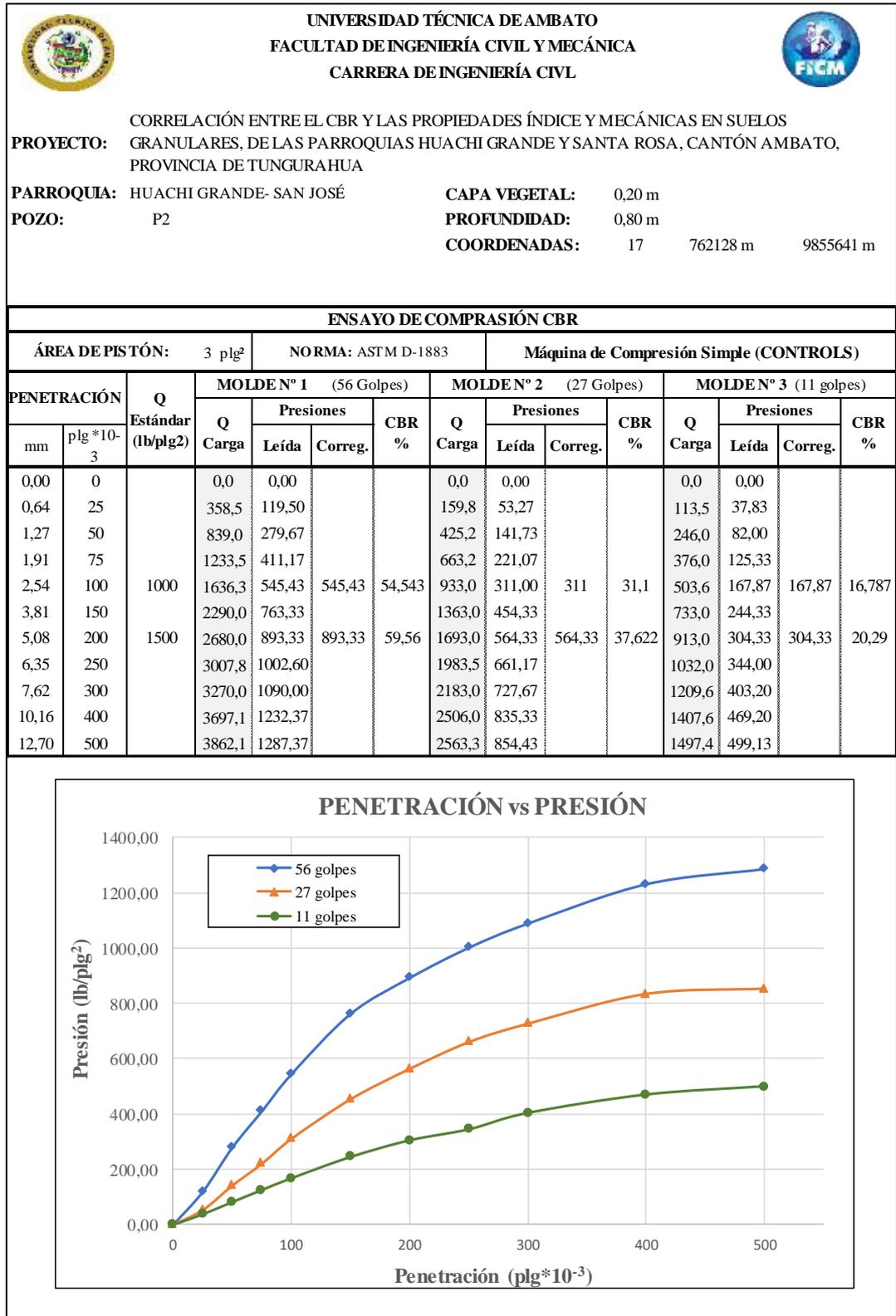


Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,631 gr/cm<sup>3</sup>

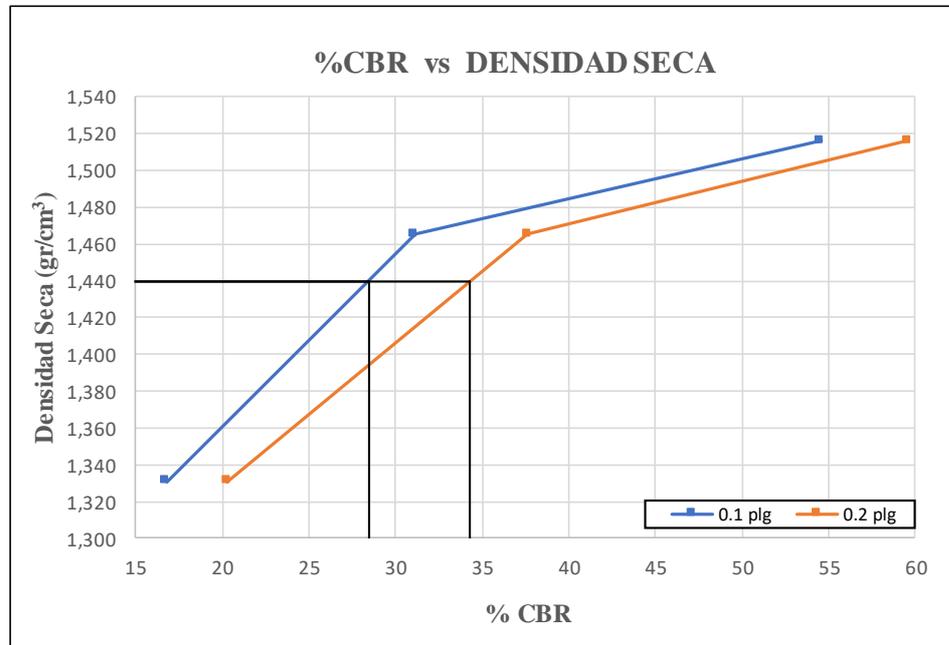
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,549	27,4	33,7	33,7

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 50. Ensayo CBR Pozo 2



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	54,54	31,10	16,79
	0,2 plg	59,56	37,62	20,29
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,516	1,465	1,331



Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,515 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,439	28,5	34,3	34,3

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Huachi Grande – La Florida

Tabla 51. Humedad in situ y Granulometría Pozo 3

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- LA FLORIDA	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m
<b>POZO:</b>	P3	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,75 m
		<b>COORDENADAS:</b> 17 763047 m 9855489 m

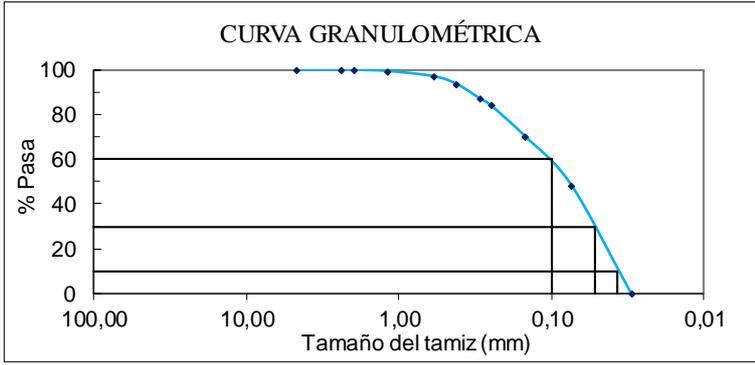
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	37,80	86,10	82,50	8,05	
2	25,40	75,60	72,00	7,73	7,91
3	25,80	77,40	73,60	7,95	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>RETENIDO</sub> (gr)	W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		250				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		0,30	0,30	0,12	99,88
# 10	2,00		0,10	0,40	0,16	99,84
# 16	1,19		1,30	1,70	0,68	99,32
# 30	0,595		5,80	7,50	3,00	97,00
# 40	0,420		8,50	16,00	6,40	93,60
# 50	0,297		16,00	32,00	12,80	87,20
# 60	0,250		7,90	39,90	15,96	84,04
# 100	0,149		34,60	74,50	29,80	70,20
# 200	0,074		54,50	129,00	51,60	48,40
FUENTE			120,90	121,00	48,40	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,037	Cu = D60 / D10	2,70	
D30 (mm)	0,052	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,73	
D60 (mm)	0,100	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,297	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	51,60	48,40	SC
AASHTO	0,12	51,48	48,40	A-4 (3)

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 52. Humedad in situ y Granulometría Pozo 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- LA FLORIDA	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m		
<b>POZO:</b>	P4	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	764143 m	9855470 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	25,90	78,70	74,00	9,77	
2	23,70	80,00	74,60	10,61	9,99
3	24,70	87,50	82,00	9,60	

GRANULOMETRÍA					
		W <sub>INICIAL</sub> (gr)	250,2		
TAMIZ	mm	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% <sub>RET.ACUM.</sub>	% PASA
# 4	4,76	0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38	0,70	0,70	0,28	99,72
# 10	2,00	1,40	2,10	0,84	99,16
# 16	1,19	2,40	4,50	1,80	98,20
# 30	0,595	7,00	11,50	4,60	95,40
# 40	0,420	15,10	26,60	10,63	89,37
# 50	0,297	17,50	44,10	17,63	82,37
# 60	0,250	8,60	52,70	21,06	78,94
# 100	0,149	27,60	80,30	32,09	67,91
# 200	0,074	58,40	138,70	55,44	44,56
FUENTE		111,50	111,50	44,56	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,037	Cu = D60 / D10	3,24	
D30 (mm)	0,055	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,68	
D60 (mm)	0,120	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,420	
Clasificación	GRAVA (%G)	ARENA (%S)	FINO (%F)	SUELO
<b>SUCS</b>	0,00	55,44	44,56	<b>SC</b>
<b>AASHTO</b>	0,28	55,16	44,56	<b>A-4 (2)</b>

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 53. Densidad de Campo Pozo 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA:	HUACHI GRANDE- LA FLORIDA	CAPA VEGETAL:	0,20 m		
POZO:	P3	PROFUNDIDAD:	0,75 m		
		COORDENADAS:	17	763047 m	9855489 m
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda		(Wm+Rec)	572,30	gr	
Peso de la funda		(Rec)	4,80	gr	
Peso de la masa del suelo		(Wm = Wm+Rec-Rec)	567,50	gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena			6359,00	gr	
Peso final frasco + cono + arena			4250,00	gr	
Peso de arena en el cono			1619,00	gr	
Peso arena en la perforación			490,00	gr	
Densidad de la Arena de Ottawa			1,588	gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación		(Vm)	308,56	cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente			# 15	# 4	-
Peso húmedo + recipiente		Wm+rec	75,60	77,40	gr
Peso seco + recipiente		Ws+rec	72,00	73,60	gr
Peso recipiente		Rec	25,40	25,80	gr
Peso del agua		Ww	3,60	3,80	gr
Peso de los sólidos		Ws	46,60	47,80	gr
Contenido de humedad		w%	7,73	7,95	%
Contenido de humedad promedio		W%	7,84		%
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos		Vv =	10,02	cm <sup>3</sup>	-
Va = 		Va	6,22	cm <sup>3</sup>	0,00
Vw = 		Vw	3,80	cm <sup>3</sup>	3,80
Vs = 		Vs	18,04	cm <sup>3</sup>	47,80
Vm =		Vm	28,06	cm <sup>3</sup>	51,60
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)			1,839	gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca ( $\gamma_d$ )			1,705	gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%			7,84	%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs			0,56	natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100			35,71	%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100			37,93	%	
Grado de Saturación de aire Ga%			62,07	%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 54. Densidad de Campo Pozo 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA: HUACHI GRANDE- LA FLORIDA		CAPA VEGETAL: 0,20 m			
POZO: P4		PROFUNDIDAD: 0,80 m			
		COORDENADAS: 17 764143 m 9855470 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO				Unidades	
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		804,30		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		799,50		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO				Unidades	
Peso inicial frasco + cono + arena		6358,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		3980,00		gr	
Peso de arena en el cono		1619,00		gr	
Peso arena en la perforación		759,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		477,96		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				Unidades	
Identificación del Recipiente		# 37	# 6	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		78,70	87,50	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		74,00	82,00	gr	
Peso recipiente Rec		25,90	24,70	gr	
Peso del agua Ww		4,70	5,50	gr	
Peso de los sólidos Ws		48,10	57,30	gr	
Contenido de humedad w%		9,77	9,60	%	
Contenido de humedad promedio W%		9,68		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		15,92	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va = 		Wa	10,42	cm <sup>3</sup>	0,00
Vw = 		Ww	5,50	cm <sup>3</sup>	5,50
Vs = 		Ws	21,62	cm <sup>3</sup>	57,30
Vm =		Wt	37,54	cm <sup>3</sup>	62,80
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO				Unidades	
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)		1,673		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca (γd)		1,525		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		9,68		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs		0,74		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100		42,41		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100		34,55		%	
Grado de Saturación de aire Ga%		65,45		%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 55. Límite Líquido y Plástico Pozo 3



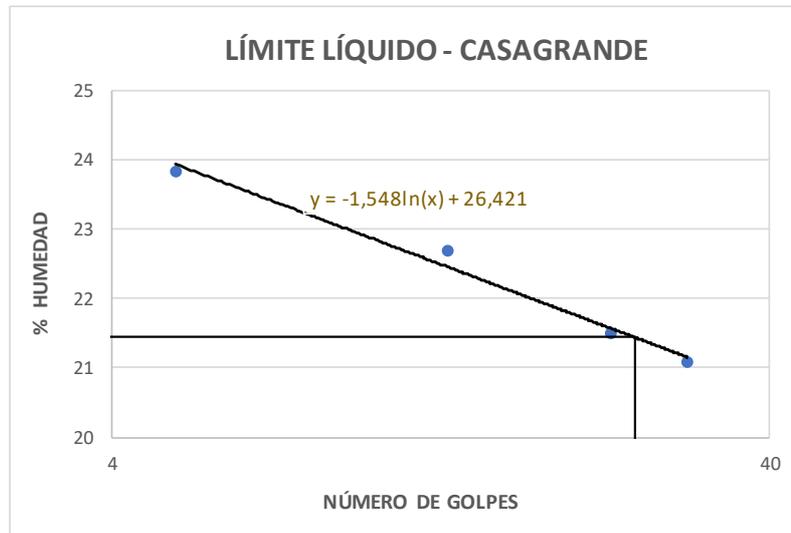
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** HUACHI GRANDE- LA FLORIDA      **CAPA VEGETAL:** 0,20 m  
**POZO:** P3      **PROFUNDIDAD:** 0,75 m  
**COORDENADAS:** 17      763047 m      9855489 m

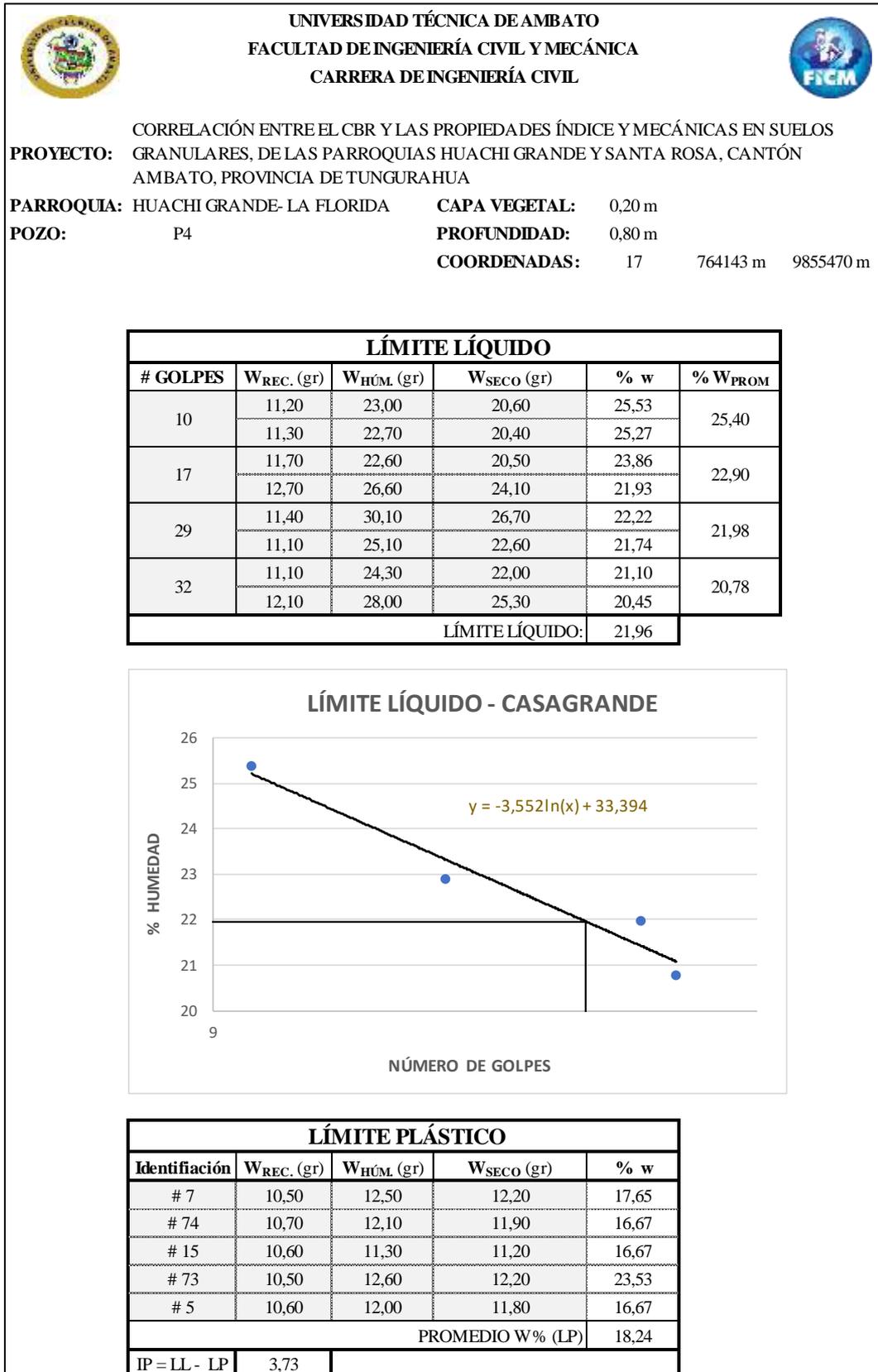
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
5	11,20	29,40	25,90	23,81	23,82
	11,30	32,60	28,50	23,84	
13	11,70	25,40	22,90	22,32	22,70
	12,70	25,50	23,10	23,08	
23	11,40	28,30	25,30	21,58	21,51
	11,10	31,50	27,90	21,43	
30	11,10	29,60	26,40	20,92	21,08
	12,10	25,80	23,40	21,24	
<b>LÍMITE LÍQUIDO:</b>				21,44	



<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 7	10,50	11,90	11,70	16,67
# 74	10,70	12,00	11,80	18,18
# 15	10,60	11,60	11,40	25,00
# 73	10,50	12,40	12,10	18,75
# 5	10,60	12,00	11,80	16,67
<b>PROMEDIO W% (LP)</b>				19,05
<b>IP = LL - LP</b>	2,39			

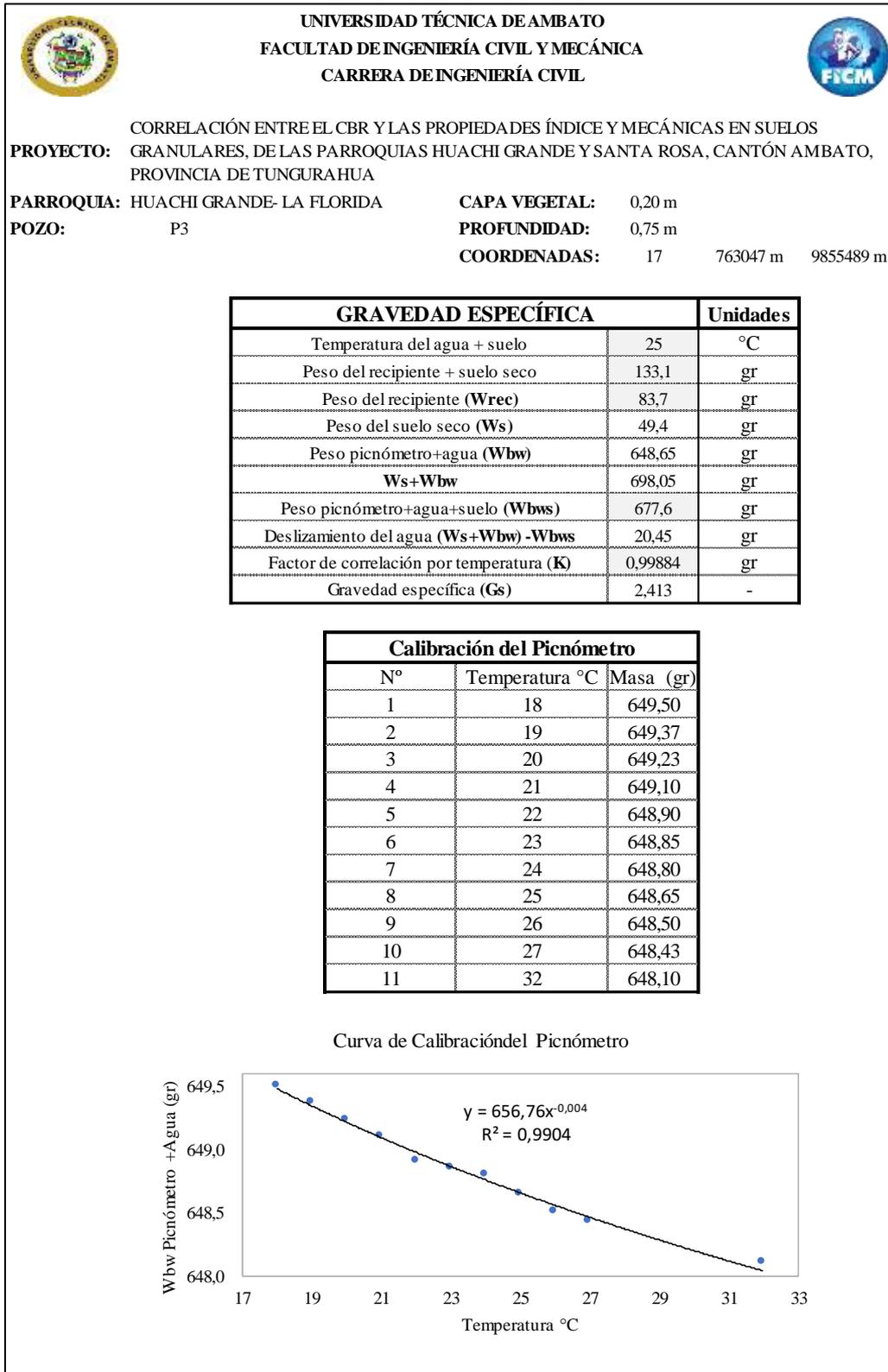
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 56. Límite Líquido y Plástico Pozo 4



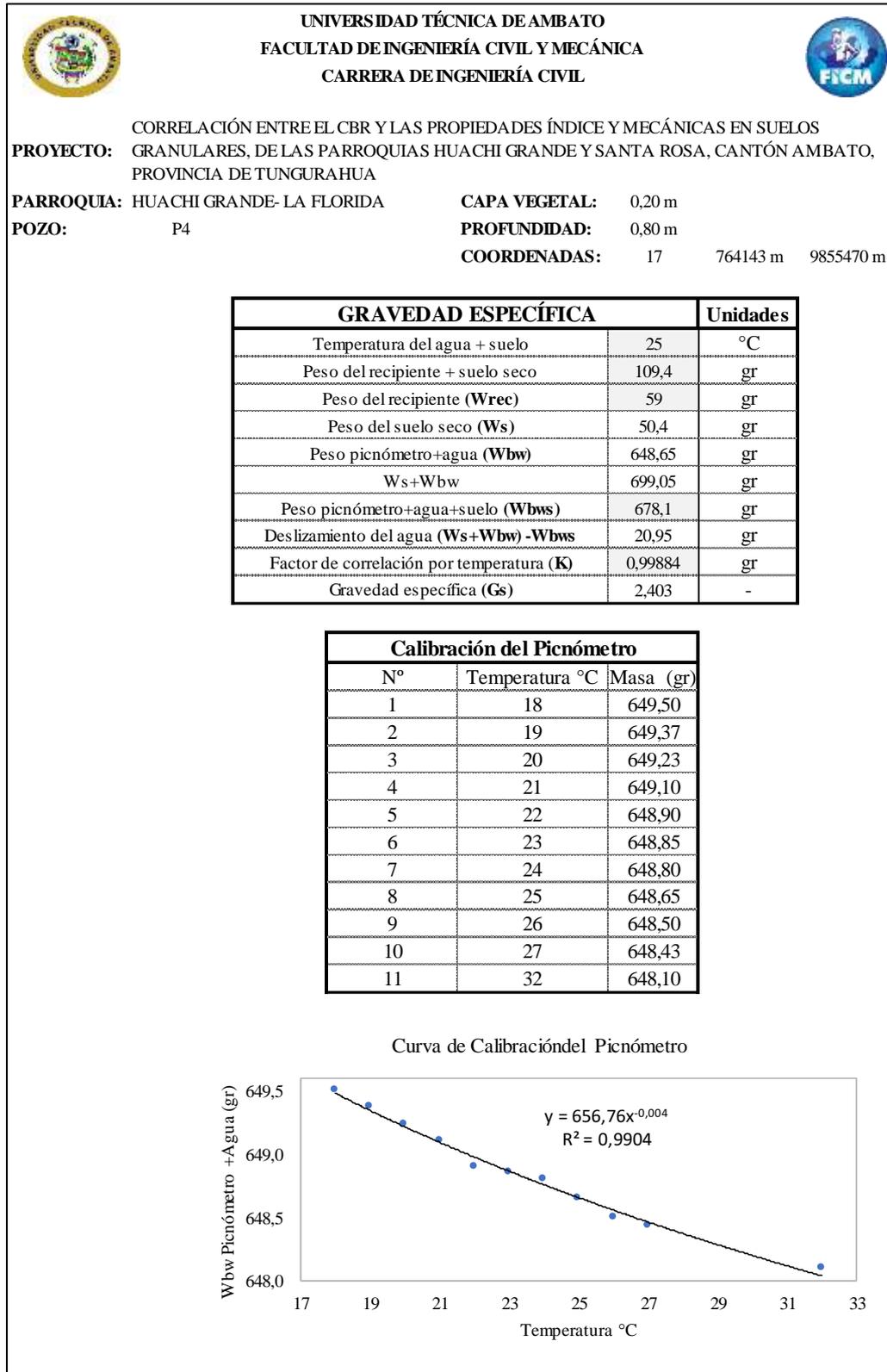
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 57. Gravedad Específica Pozo 3



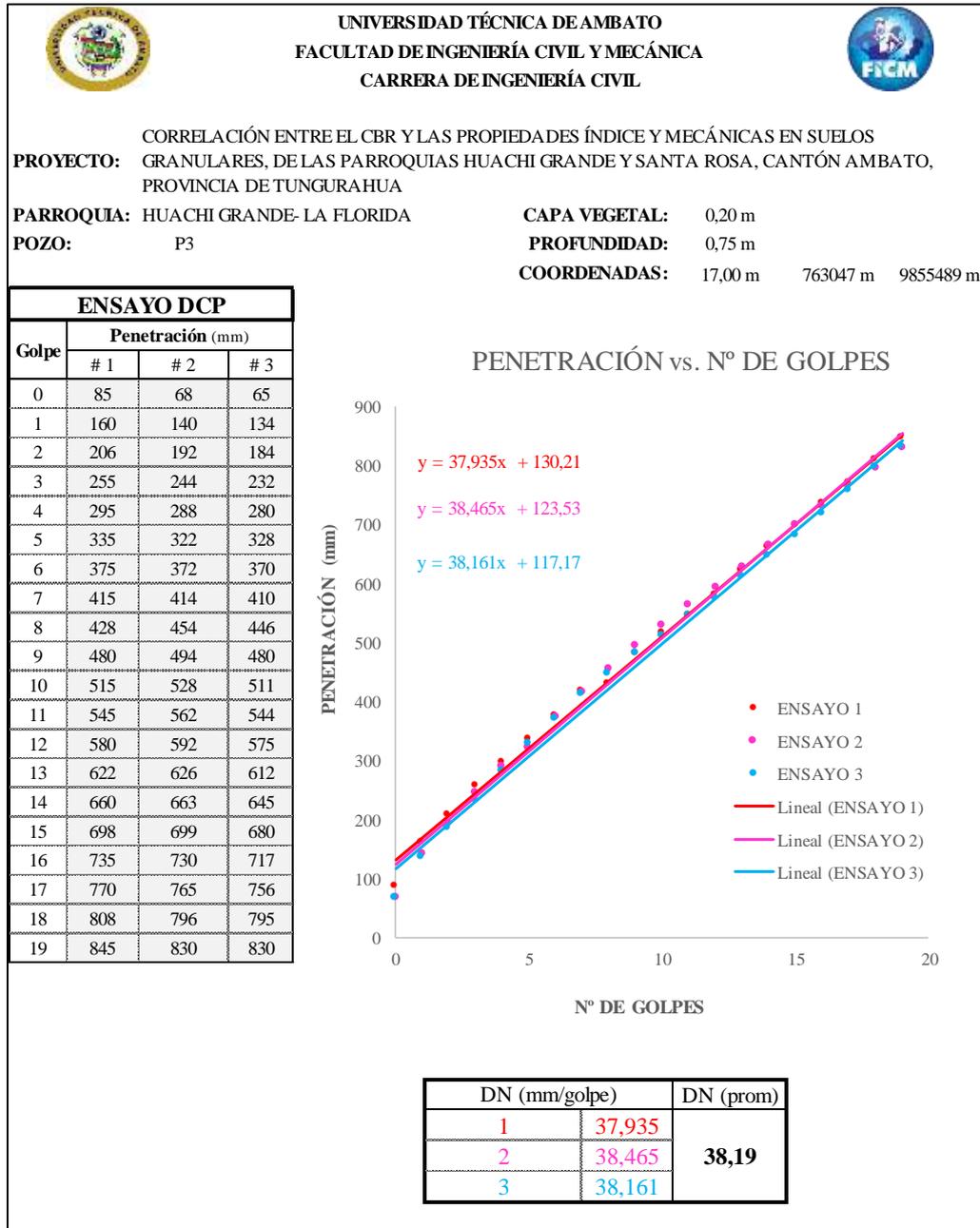
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 58. Gravedad Específica Pozo 4



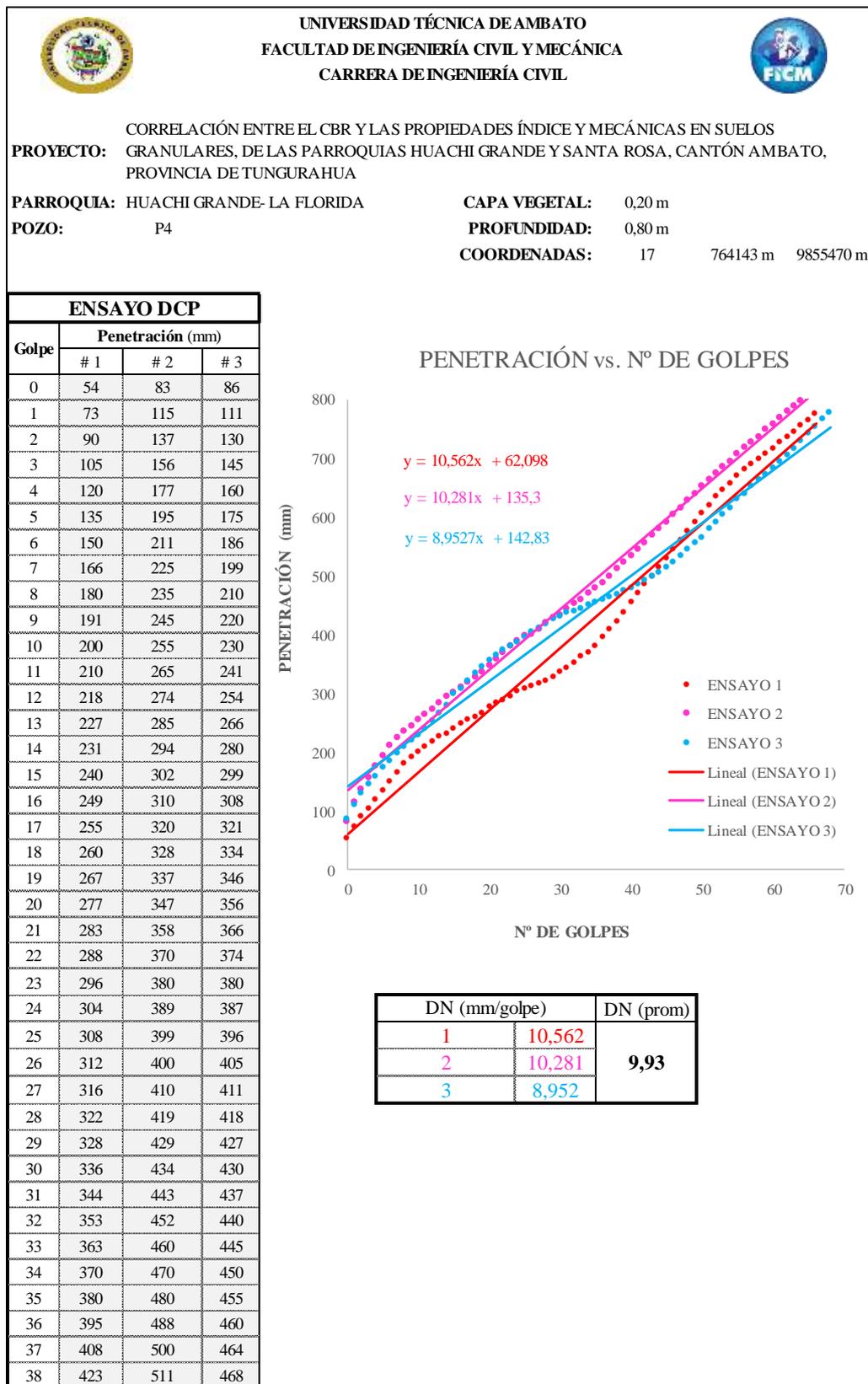
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 59. DCP Pozo 3



Fuente: Hugo Vilema Peña

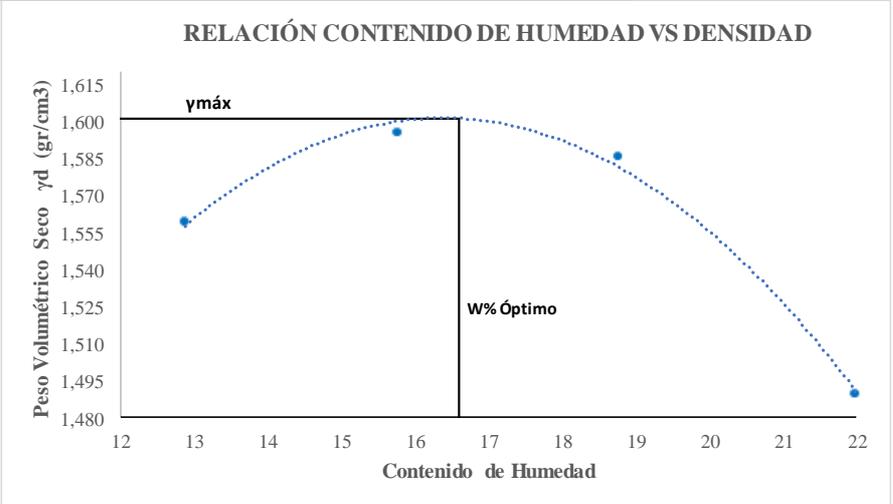
Tabla 60. DCP Pozo 4



39	437	523	474
40	454	534	480
41	470	545	485
42	485	557	492
43	500	570	498
44	514	581	506
45	530	591	515
46	545	604	524
47	560	616	534
48	575	629	545
49	591	640	555
50	606	652	565
51	620	664	579
52	634	674	590
53	646	685	604
54	656	695	615
55	669	707	630
56	680	718	640
57	689	728	653
58	699	736	663
59	707	749	673
60	717	758	683
61	726	768	695
62	736	779	706
63	745	788	716
64	755	797	730
65	765	806	742
66	775		753
67			766
68			777

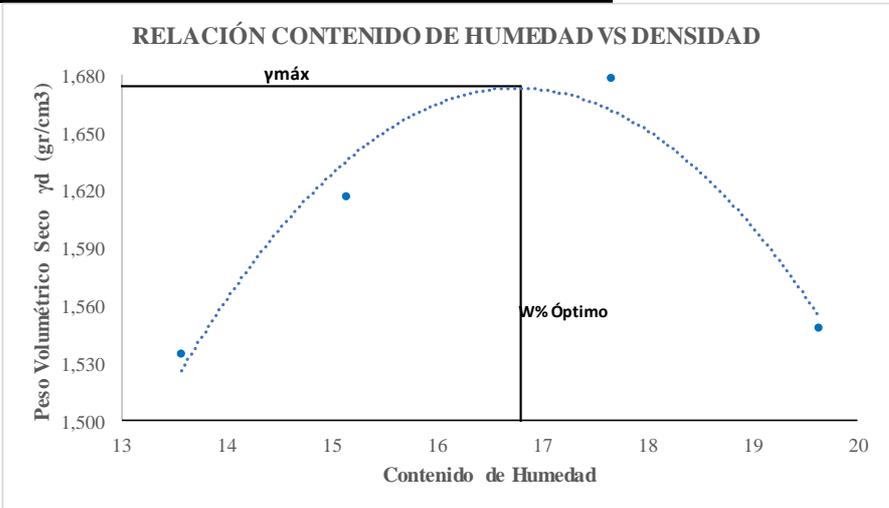
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 61. Proctor Pozo 3

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<p style="text-align: center;">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>								
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- LA FLORIDA	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m					
<b>POZO:</b>	P3	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,75 m					
		<b>COORDENADAS:</b>	17 763047 m 9855489 m					
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78 cm <sup>3</sup>			
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h (cm)	15,22			
Peso Inicial	6000		6000		6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	11	14	17	20				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18131	18334	18418	18264				
P. suelo húmedo Wm (gr)	4098	4301	4385	4231				
P. unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,760	1,847	1,883	1,817				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	103	32	45	76	1 HV	2 HV	102	101
P. del recipiente (Wrec)	30,80	26,40	23,50	30,70	63,70	60,80	31,10	31,30
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	84,90	88,10	89,30	83,80	178,90	165,00	119,30	110,30
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	78,70	81,10	80,30	76,60	160,20	149,00	102,70	96,70
Peso sólidos (Ws)	47,90	54,70	56,80	45,90	96,50	88,20	71,60	65,40
Peso del agua (Ww)	6,20	7,00	9,00	7,20	18,70	16,00	16,60	13,60
Cont. Humedad (w%)	12,94	12,80	15,85	15,69	19,38	18,14	23,18	20,80
Cont. Humedad promedio (w%)	12,87		15,77		18,76		21,99	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,559		1,595		1,586		1,489	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %		<b>16,6</b>						
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		<b>1,601</b>						
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 62. Proctor Pozo 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
 								
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- LA FLORIDA		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m						
<b>POZO:</b> P4		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m						
		<b>COORDENADAS:</b> 17 764143 m 9855470 m						
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78 cm <sup>3</sup>			
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h (cm)	15,22			
Peso Inicial	6000		6000		6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18092	18367	18630	18345				
P. suelo humedo Wm (gr)	4059	4334	4597	4312				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,743	1,861	1,974	1,852				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	77	64	102	106	28	45	101	103
P. del recipiente (Wrec)	30,90	30,70	31,10	30,90	23,10	23,50	31,30	30,80
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	121,10	120,50	89,20	93,70	80,90	82,30	91,40	98,80
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	110,70	109,40	81,60	85,40	72,10	73,60	82,30	86,80
Peso solidos (Ws)	79,80	78,70	50,50	54,50	49,00	50,10	51,00	56,00
Peso del agua (Ww)	10,40	11,10	7,60	8,30	8,80	8,70	9,10	12,00
Cont. Humedad (w%)	13,03	14,10	15,05	15,23	17,96	17,37	17,84	21,43
Cont. Humedad promedio (w%)	13,57		15,14		17,66		19,64	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,535		1,616		1,678		1,548	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %		<b>16,8</b>						
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		<b>1,674</b>						
RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD								
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 63. Compactación CBR Pozo 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
 												
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>												
<b>PROYECTO:</b>		CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA										
<b>PARROQUIA:</b>		HUACHI GRANDE- LA FLORIDA		<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m							
<b>POZO:</b>		P3		<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,75 m							
				<b>COORDENADAS:</b>	17      763047 m      9855489 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO		<b>PESO DEL MARTILLO:</b>		10 lb							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180		<b>ALTURA DE CAIDA:</b>		18"							
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000		<b>W % ÓPTIMO</b>		17,20							
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
Identificación Molde	1		2		3							
Número de Golpes	5		5		5							
Número de Capas	56		27		11							
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo						
P. Hum. + Molde (gr)	13231	13344	12571	12768	12051	12394						
Peso Molde (gr)	8726	8726	8339	8339	8339	8339						
P. Humedo (gr)	4505	4618	4232	4429	3712	4055						
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2283,33	2283,33	2283,33	2283,33						
% Agua absorbida	2,51%		4,66%		9,24%							
Esponjamiento	0,05 plg		0,03 plg		0,00 plg							
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,932	1,980	1,853	1,940	1,626	1,776						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,651	1,658	1,583	1,617	1,389	1,431						
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,654		1,600		1,410							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
	31 HV	32 HV	31 HV	32 HV	27 HV	28 HV	27 HV	28 HV	70	T 30	70	T 30
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	59,50	58,50	58,20	58,60	154,10	117,20	153,60	110,20	110,40	59,40	109,90	58,50
Rec+S. seco (Ws + Wm)	52,00	51,10	50,00	50,30	146,70	109,80	144,60	103,50	102,70	51,80	99,80	48,50
P. recipiente (Wrec)	7,90	7,70	7,90	7,70	103,20	66,50	103,20	66,50	57,60	7,30	57,60	7,30
Peso del agua (Ww)	7,50	7,40	8,20	8,30	7,40	7,40	9,00	6,70	7,70	7,60	10,10	10,00
Peso solidos (Ws)	44,10	43,40	42,10	42,60	43,50	43,30	41,40	37,00	45,10	44,50	42,20	41,20
Cont. Humedad (w%)	17,01	17,05	19,48	19,48	17,01	17,09	21,74	18,11	17,07	17,08	23,93	24,27
Cont. promedio (w%)	17,029		19,481		17,051		19,924		17,076		24,103	
Datos				MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3						
Altura (cm)				12,60	12,70	12,70						
Diametro (cm)				15,35	15,13	15,13						
Peso (gr)				8726	8339	8339						
Area (cm <sup>2</sup> )				185,06	179,79	179,79						
Volumen (cm <sup>3</sup> )				2331,76	2283,33	2283,33						

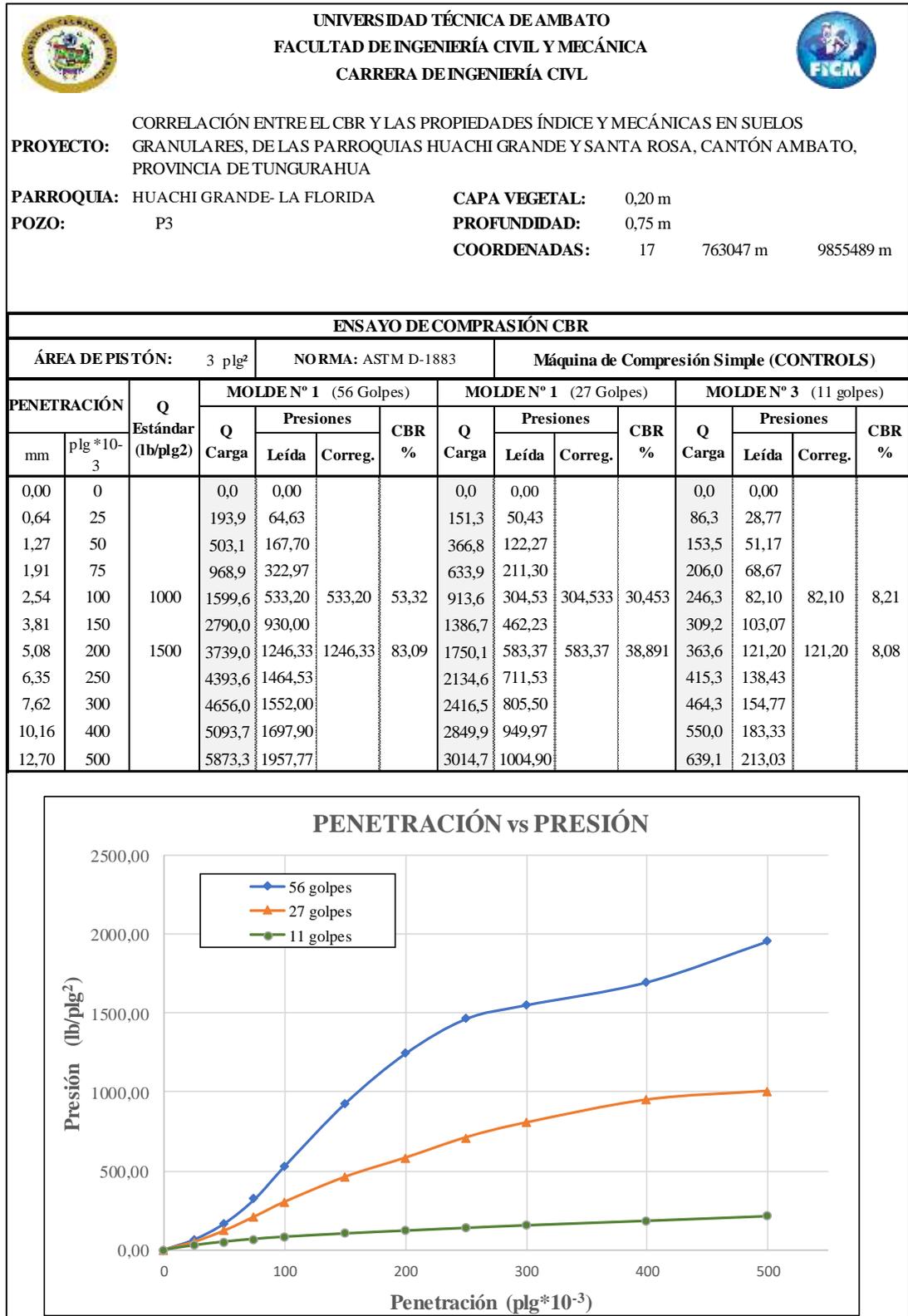
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 64. Compactación CBR Pozo 4

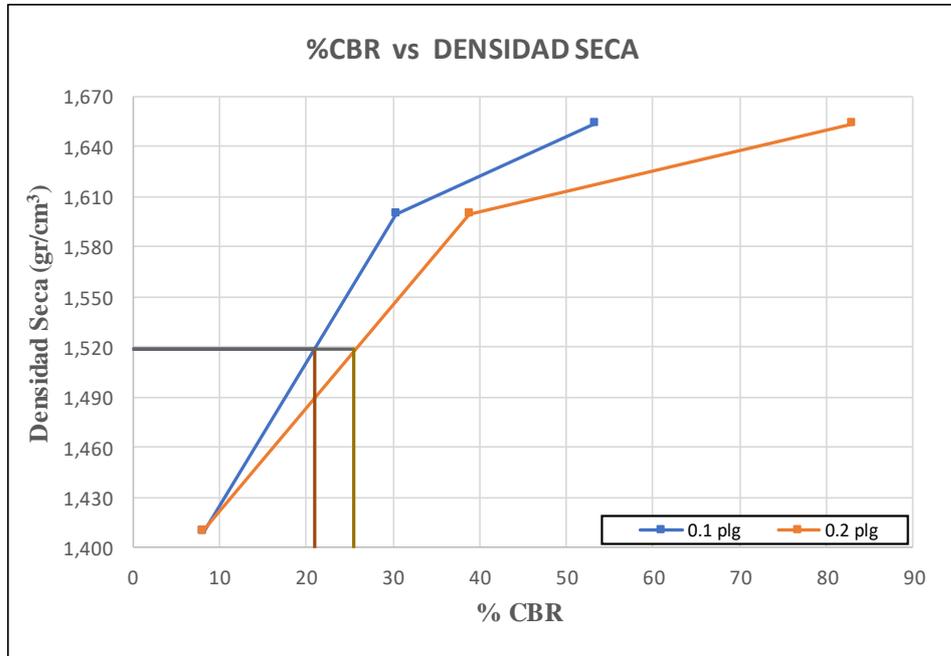
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																		
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS																																				
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																																				
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- LA FLORIDA <b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m																																				
<b>POZO:</b> P4 <b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m																																				
<b>COORDENADAS:</b> 17    764143 m    9855470 m																																				
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>																																				
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO			<b>PESO DEL MARTILLO:</b>		10 lb																														
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180			<b>ALTURA DE CAIDA:</b>		18"																														
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000			<b>W% ÓPTIMO</b>		17,50																														
<b>ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.</b>																																				
Identificación Molde	1		2		3																															
Número de Golpes	5		5		5																															
Número de Capas	56		27		11																															
<b>Condiciones de la Muestra</b>	<b>Antes del Remojo</b>	<b>Después del Remojo</b>	<b>Antes del Remojo</b>	<b>Después del Remojo</b>	<b>Antes del Remojo</b>	<b>Después del Remojo</b>																														
P. Hum. + Molde (gr)	12774	12939	13290	13595	12605	12989																														
Peso Molde (gr)	8292	8292	9283	9283	8726	8726																														
P. Humedo (gr)	4482	4647	4007	4312	3879	4263																														
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2304,54	2298,37	2298,37	2331,76	2331,76																														
% Agua absorbida	3,68%		7,61%		9,90%																															
Espojamiento	0,09 plg		0,11 plg		0,15 plg																															
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,945	2,016	1,743	1,876	1,664	1,828																														
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,658	1,687	1,485	1,499	1,420	1,448																														
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,673		1,492		1,434																															
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>																																				
<b>Identificación del recipiente</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>																								
	21 HV	22 HV	21 HV	22 HV	23 HV	24 HV	23 HV	24 HV	25 HV	26 HV	25 HV	26 HV																								
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	114,10	111,00	114,30	111,20	112,80	111,90	113,60	112,60	111,50	111,10	110,80	111,10																								
Rec+S. seco (Ws + Wm)	106,70	103,60	106,00	103,00	105,40	104,40	103,40	102,30	104,00	103,70	100,30	100,60																								
P. recipiente (Wrec)	63,80	60,80	63,80	60,80	62,50	61,60	62,50	61,60	60,10	60,70	60,10	60,70																								
Peso del agua (Ww)	7,40	7,40	8,30	8,20	7,40	7,50	10,20	10,30	7,50	7,40	10,50	10,50																								
Peso solidos (Ws)	42,90	42,80	42,20	42,20	42,90	42,80	40,90	40,70	43,90	43,00	40,20	39,90																								
Cont. Humedad (w%)	17,25	17,29	19,67	19,43	17,25	17,52	24,94	25,31	17,08	17,21	26,12	26,32																								
Cont. promedio (w%)	17,270		19,550		17,386		25,123		17,147		26,218																									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,70</td> <td>12,60</td> <td>12,60</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,20</td> <td>15,24</td> <td>15,35</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>8292</td> <td>9283</td> <td>8726</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>181,46</td> <td>182,41</td> <td>185,06</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2304,54</td> <td>2298,37</td> <td>2331,76</td> </tr> </tbody> </table>													Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,70	12,60	12,60	Diametro (cm)	15,20	15,24	15,35	Peso (gr)	8292	9283	8726	Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	182,41	185,06	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2298,37	2331,76
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																																	
Altura (cm)	12,70	12,60	12,60																																	
Diametro (cm)	15,20	15,24	15,35																																	
Peso (gr)	8292	9283	8726																																	
Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	182,41	185,06																																	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2298,37	2331,76																																	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 65. Ensayo CBR Pozo 3



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	53,32	30,45	8,21
	0,2 plg	83,09	38,89	8,08
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,654	1,600	1,410

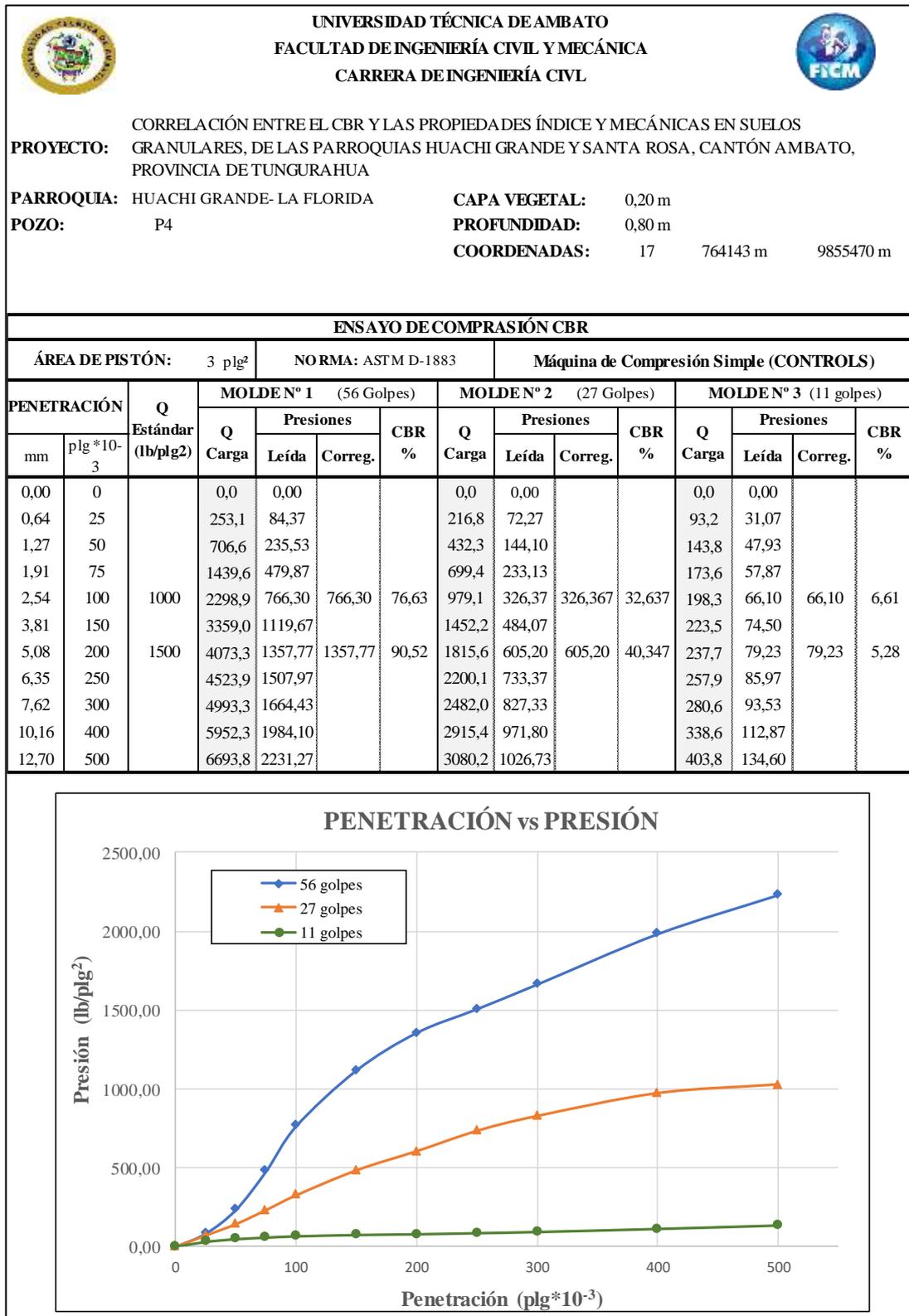


Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,599 gr/cm<sup>3</sup>

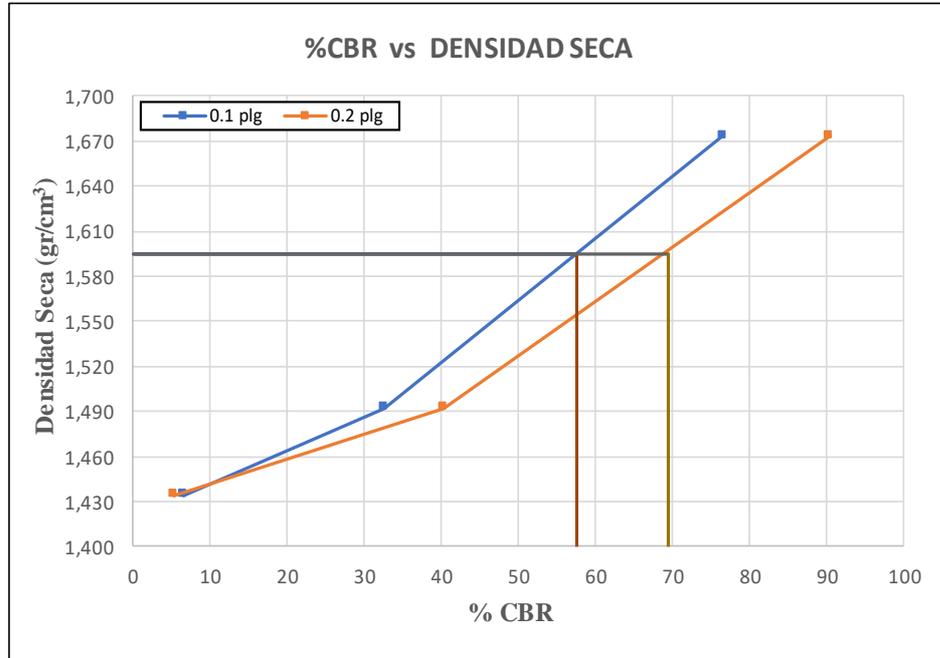
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,519	21,0	25,5	25,5

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 66. Ensayo CBR Pozo 4



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	76,63	32,64	6,61
	0,2 plg	90,52	40,35	5,28
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,673	1,492	1,434



Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,679 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,595	57,5	69,5	69,5

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Huachi Grande – El Porvenir

Tabla 67. Humedad in situ y Granulometría Pozo 5

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<p><b>PROYECTO:</b> CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>		
<p><b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- EL PORVENIR</p>	<p><b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m</p>	
<p><b>POZO:</b> P5</p>	<p><b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m</p>	
	<p><b>COORDENADAS:</b> 17      763396 m      9854547 m</p>	

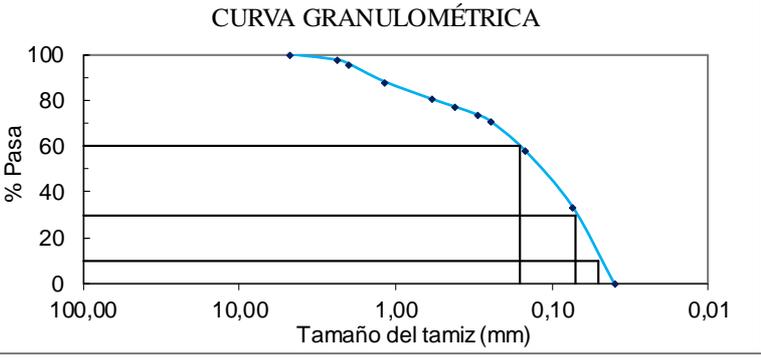
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	24,00	75,80	67,80	18,26	
2	30,50	83,50	75,20	18,57	18,45
3	30,90	82,10	74,10	18,52	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)		W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		W <sub>Retenido</sub> (gr)	251			
# 4	4,76	0,60		0,60	0,24	99,76
# 8	2,38	5,90		6,50	2,59	97,41
# 10	2,00	4,70		11,20	4,46	95,54
# 16	1,19	19,10		30,30	12,07	87,93
# 30	0,595	19,00		49,30	19,64	80,36
# 40	0,420	8,60		57,90	23,07	76,93
# 50	0,297	9,10		67,00	26,69	73,31
# 60	0,250	6,40		73,40	29,24	70,76
# 100	0,149	32,40		105,80	42,15	57,85
# 200	0,074	61,20		167,00	66,53	33,47
FUENTE		83,60		84,00	33,47	

CURVA GRANULOMÉTRICA



COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,050	Cu = D60 / D10	3,20	
D30 (mm)	0,070	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,61	
D60 (mm)	0,160	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	1,190	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,24	66,29	33,47	SC
AASHTO	2,59	63,94	33,47	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 68. Humedad in situ y Granulometría Pozo 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- EL PORVENIR	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m		
<b>POZO:</b>	P6	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	763705 m	9854948 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	31,20	81,80	78,70	6,53	
2	30,40	82,40	79,20	6,56	6,41
3	23,60	73,70	70,80	6,14	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% RET.ACUM.	% PASA
		250,2				
# 4	4,76		8,30	8,30	3,32	96,68
# 8	2,38		17,90	26,20	10,47	89,53
# 10	2,00		9,30	35,50	14,19	85,81
# 16	1,19		23,60	59,10	23,62	76,38
# 30	0,595		22,00	81,10	32,41	67,59
# 40	0,420		9,50	90,60	36,21	63,79
# 50	0,297		8,80	99,40	39,73	60,27
# 60	0,250		6,30	105,70	42,25	57,75
# 100	0,149		26,10	131,80	52,68	47,32
# 200	0,074		46,20	178,00	71,14	28,86
FUENTE			71,70	72,20	28,86	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,050	Cu = D60 / D10	5,80	
D30 (mm)	0,080	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,44	
D60 (mm)	0,290	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	2,380	
Clasificación	GRAVA (%G)	ARENA (%S)	FINO (%F)	SUELO
<b>SUCS</b>	3,32	67,82	28,86	SC
<b>AASHTO</b>	10,47	60,67	28,86	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 69. Densidad de Campo Pozo 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS <b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA <b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- EL PORVENIR <b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m <b>POZO:</b> P5 <b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m <b>COORDENADAS:</b> 17      763396 m      9854547 m					
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda	(Wm+Rec)	810,00			gr
Peso de la funda	(Rec)	4,80			gr
Peso de la masa del suelo	(Wm = Wm+Rec-Rec)	805,20			gr
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00			gr
Peso final frasco + cono + arena		5140,00			gr
Peso de arena en el cono		343,00			gr
Peso arena en la perforación		807,00			gr
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588			gr/cm <sup>3</sup>
Volumen de la perforación	(Vm)	508,19			cm <sup>3</sup>
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 54	# 57		
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	83,50	82,10		
Peso seco + recipiente	Ws+rec	75,20	74,10		
Peso recipiente	Rec	30,50	30,90		
Peso del agua	Ww	8,30	8,00		
Peso de los sólidos	Ws	44,70	43,20		
Contenido de humedad	w%	18,57	18,52		
Contenido de humedad promedio	W%	18,54			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos	Vv =	16,01	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va =	Va =	8,01	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw =	Vw =	8,00	cm <sup>3</sup>	8,00	gr
Vs =	Vs =	16,30	cm <sup>3</sup>	43,20	gr
Vm =	Vm =	32,31	cm <sup>3</sup>	51,20	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,584			gr/cm <sup>3</sup>
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,337			gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%		18,54			%
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		0,98			natural
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		49,55			%
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Vw/Vv*100$		49,96			%
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		50,04			%

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 70. Densidad de Campo Pozo 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- EL PORVENIR		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m			
<b>POZO:</b> P6		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m			
		<b>COORDENADAS:</b> 17 763705 m 9854948 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		400,00		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		395,20		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		5590,00		gr	
Peso de arena en el cono		343,00		gr	
Peso arena en la perforación		357,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		224,81		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 89	# 56	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		81,80	82,40	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		78,70	79,20	gr	
Peso recipiente Rec		31,20	30,40	gr	
Peso del agua Ww		3,10	3,20	gr	
Peso de los sólidos Ws		47,50	48,80	gr	
Contenido de humedad w%		6,53	6,56	%	
Contenido de humedad promedio W%		6,54		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		11,17	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va = 		7,97	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw = 		3,20	cm <sup>3</sup>	3,20	gr
Vs = 		18,42	cm <sup>3</sup>	48,80	gr
Vm = 		29,58	cm <sup>3</sup>	52,00	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)		1,758		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca (γd)		1,650		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		6,54		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs		0,61		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100		37,75		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100		28,66		%	
Grado de Saturación de aire Ga%		71,34		%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 71. Límite Líquido y Plástico Pozo 5



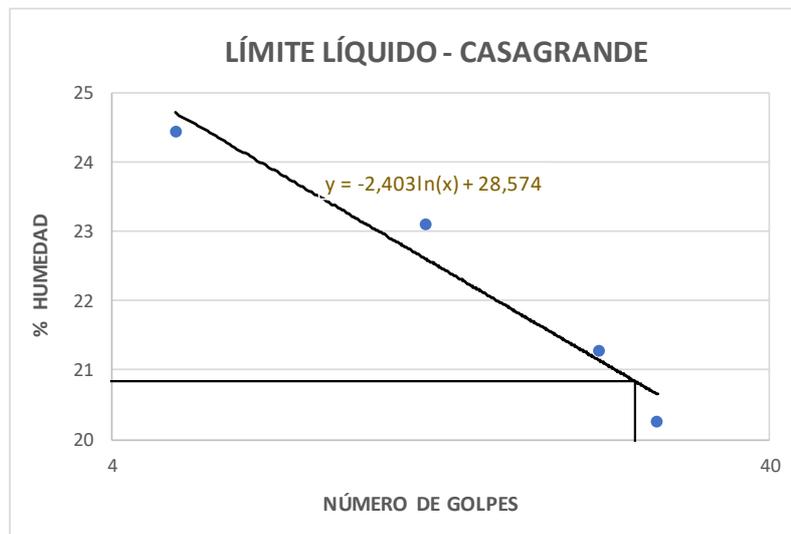
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** HUACHI GRANDE- EL PORVENIR      **CAPA VEGETAL:** 0,20 m  
**POZO:** P5      **PROFUNDIDAD:** 0,80 m  
**COORDENADAS:** 17      763396 m      9854547 m

LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
5	11,10	34,60	30,00	24,34	24,44
	11,10	31,90	27,80	24,55	
12	11,60	32,60	28,70	22,81	23,11
	10,80	30,30	26,60	23,42	
22	11,00	28,70	25,60	21,23	21,28
	11,50	29,70	26,50	21,33	
27	11,00	32,40	28,80	20,22	20,27
	11,30	34,40	30,50	20,31	
LÍMITE LÍQUIDO:				20,84	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 19	5,90	7,00	6,80	22,22
# 9	6,00	7,40	7,20	16,67
# 47	6,00	7,40	7,20	16,67
# 44	6,20	11,00	10,30	17,07
# 64	6,10	7,90	7,60	20,00
PROMEDIO W% (LP)				18,53
IP = LL - LP	2,31			

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 72. Límite Líquido y Plástico Pozo 6



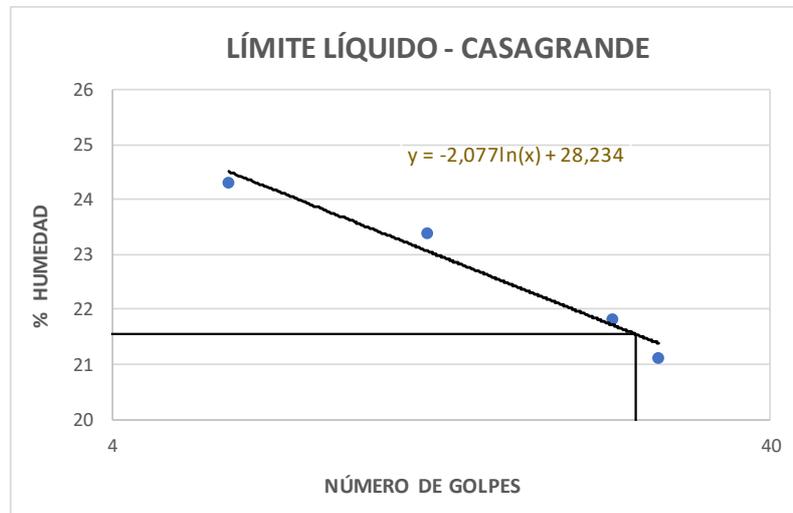
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** HUACHI GRANDE- EL PORVENIR **CAPA VEGETAL:** 0,20 m  
**POZO:** P6 **PROFUNDIDAD:** 0,80 m  
**COORDENADAS:** 17 763705 m 9854948 m

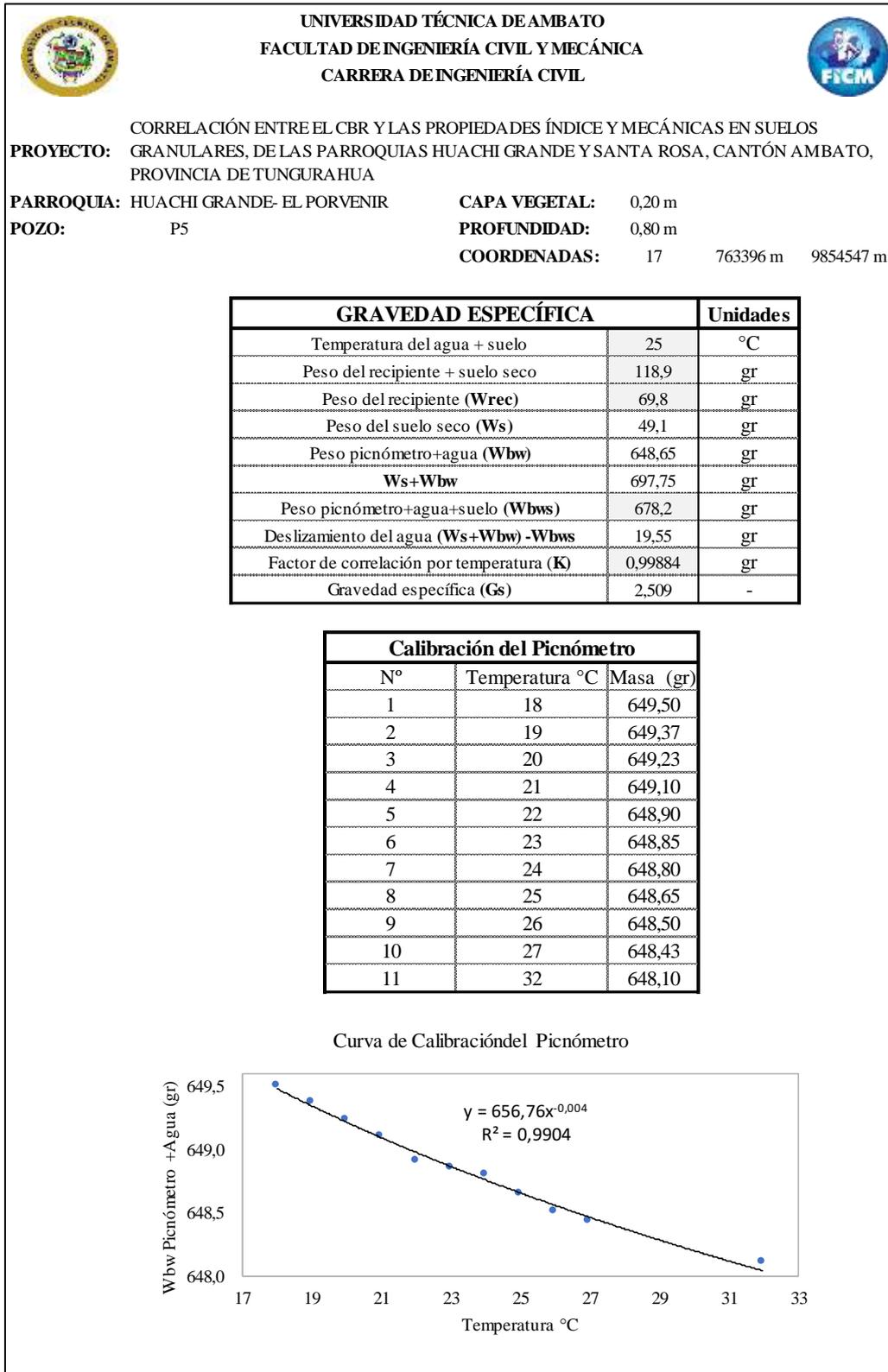
LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
6	11,30	24,70	22,10	24,07	24,32
	11,10	25,30	22,50	24,56	
12	11,30	26,60	23,70	23,39	23,41
	11,10	32,70	28,60	23,43	
23	11,10	35,00	30,70	21,94	21,84
	11,10	39,10	34,10	21,74	
27	11,30	33,00	29,20	21,23	21,13
	11,40	32,70	29,00	21,02	
LÍMITE LÍQUIDO:				21,55	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 5	10,60	12,10	11,80	25,00
# 4	10,40	11,70	11,50	18,18
# 15	10,60	12,60	12,30	17,65
# 11	10,70	12,60	12,30	18,75
# 1	10,70	12,00	11,80	18,18
PROMEDIO W% (LP)				19,55
IP = LL - LP	2,00			

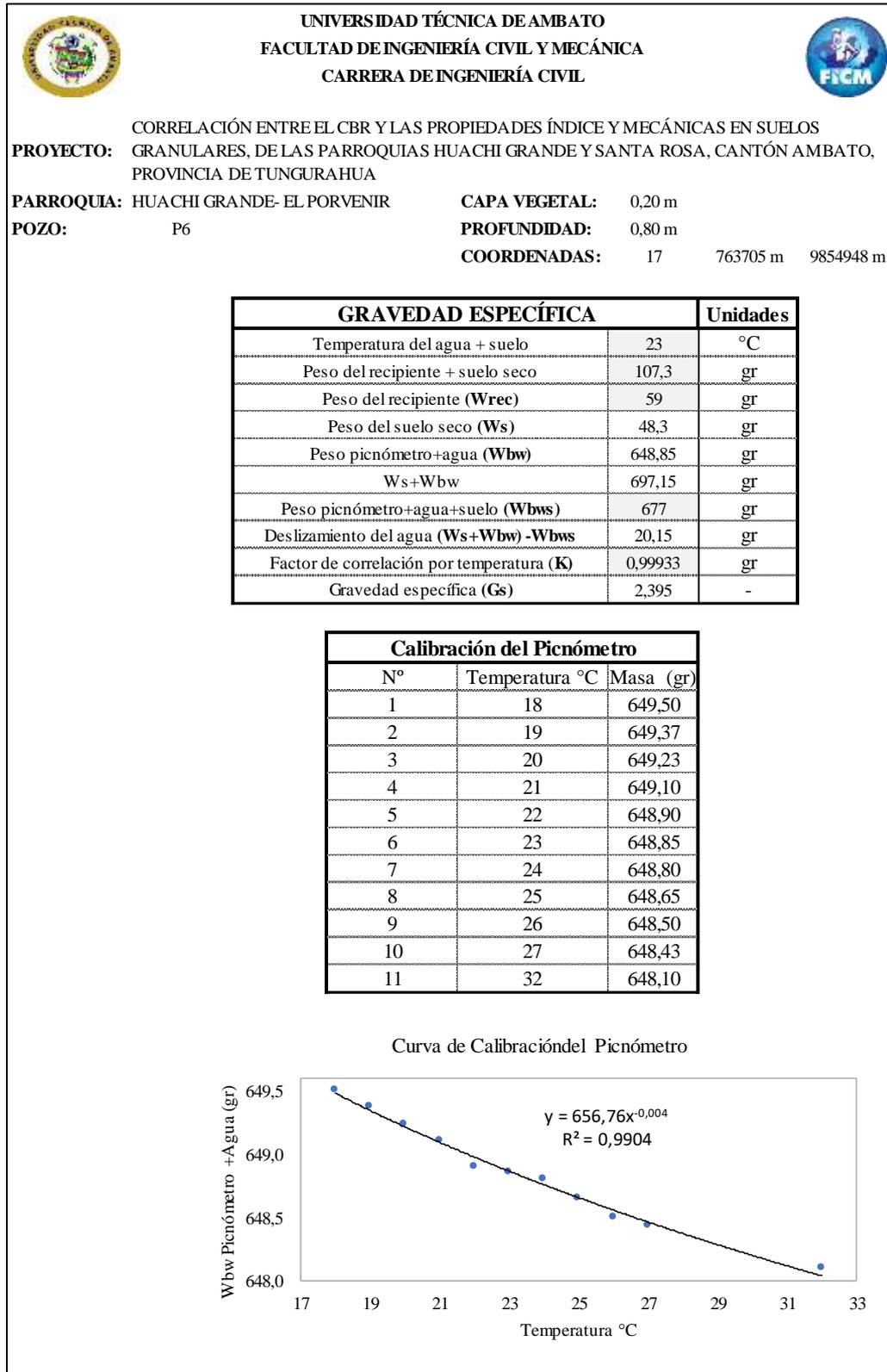
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 73. Gravedad Específica Pozo 5



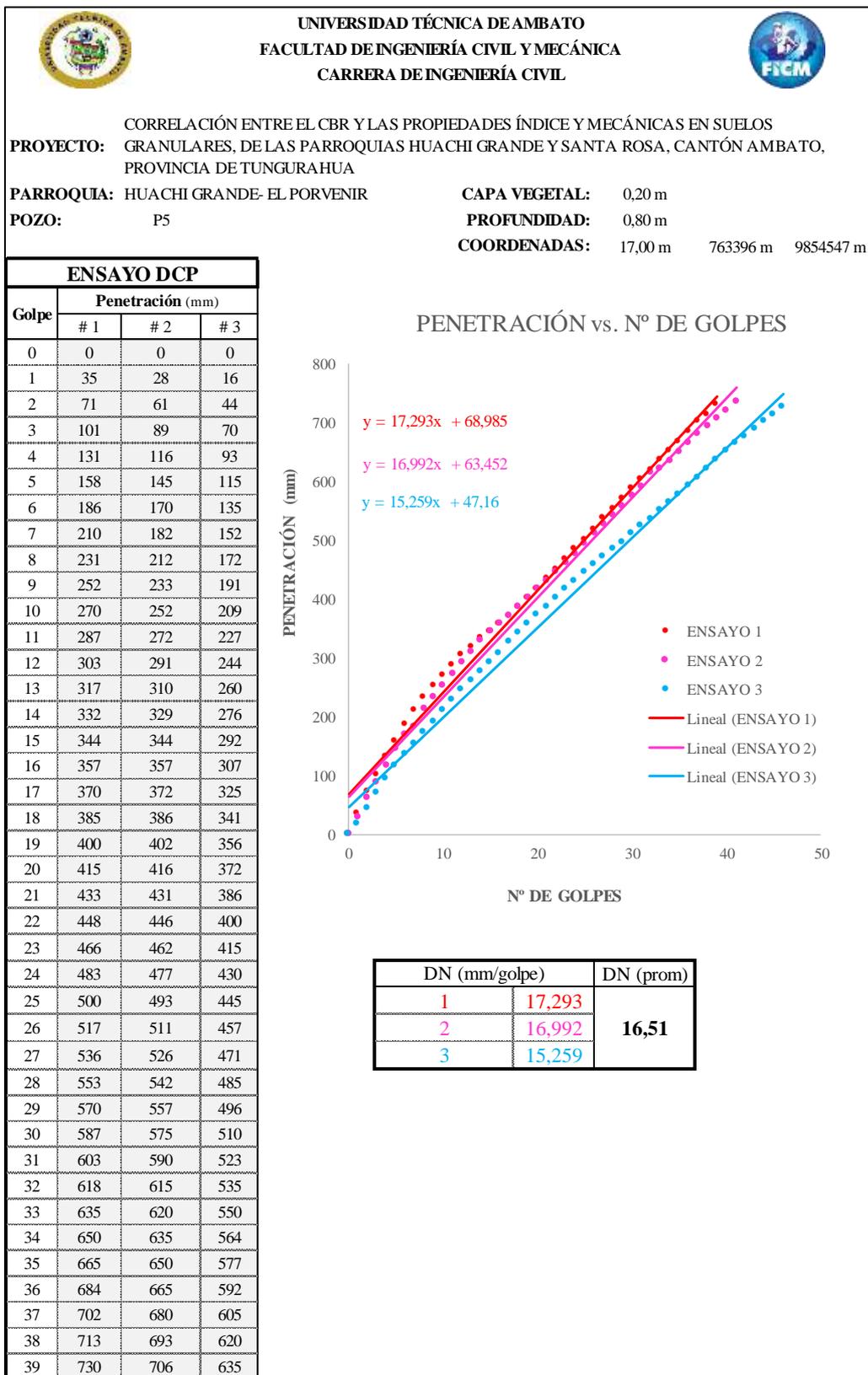
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 74. Gravedad Específica Pozo 6



Fuente: Hugo Vilema Peña

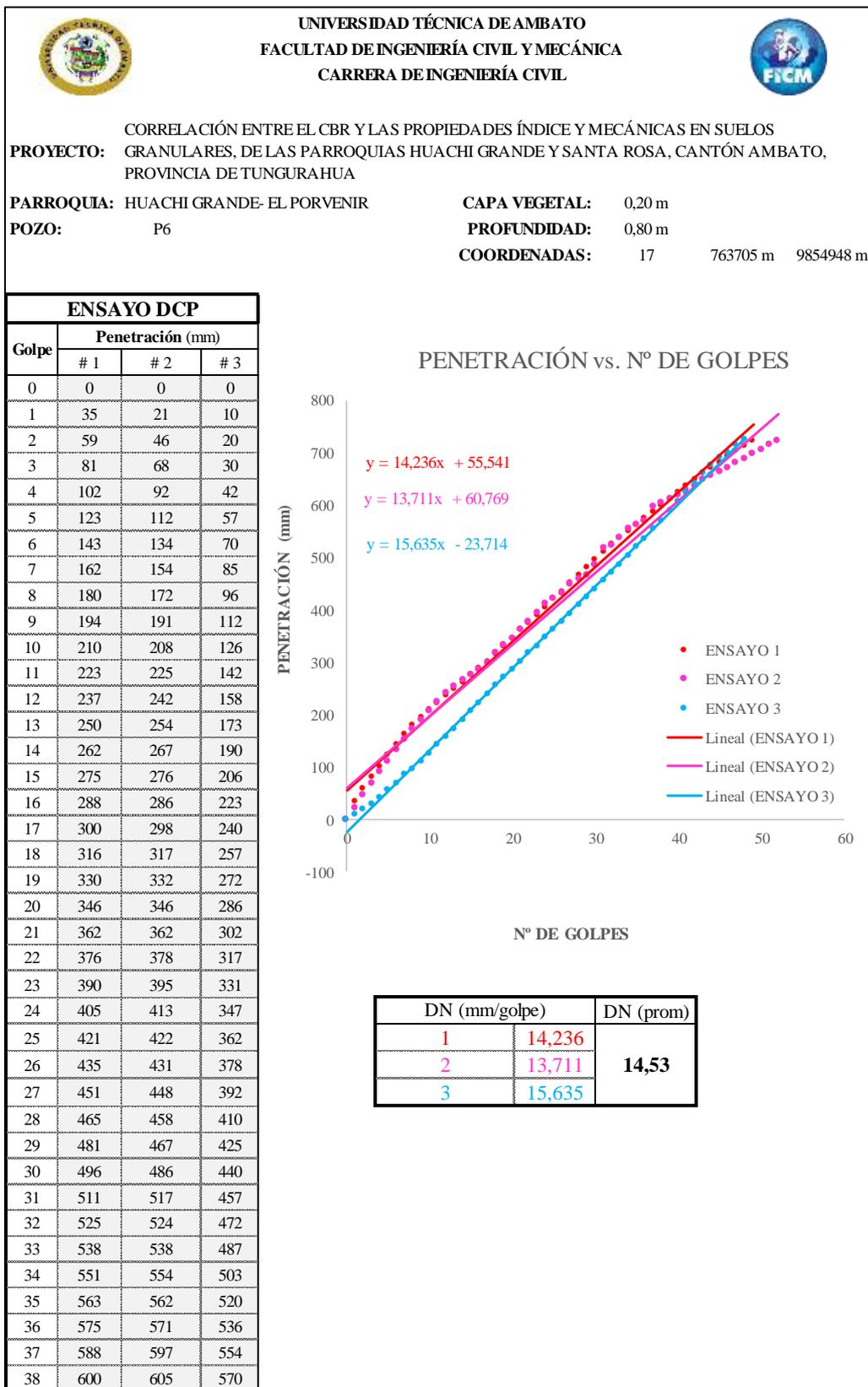
Tabla 75. DCP Pozo 5



40		720	650
41		734	664
42			675
43			689
44			701
45			713
46			726

Fuente: Hugo Vilema Peña

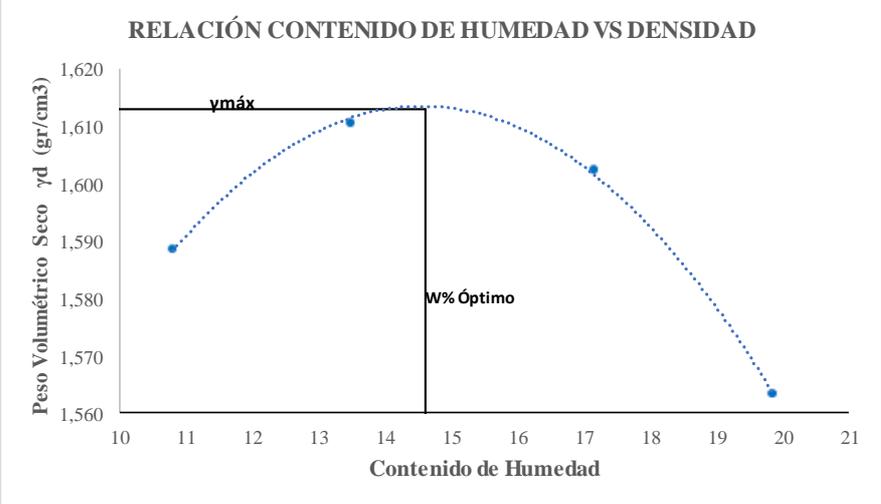
Tabla 76. DCP Pozo 6



39	611	612	589
40	623	620	606
41	637	628	624
42	648	637	642
43	660	648	660
44	672	656	675
45	682	663	690
46	693	671	701
47	704	680	715
48	714	689	725
49	723	697	
50		706	
51		715	
52		724	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 77. Proctor Pozo 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- EL PORVENIR	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m
<b>POZO:</b>	P5	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m
		<b>COORDENADAS:</b>	17 763396 m 9854547 m
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR			
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180
Peso Inicial	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Número	1	2	3
W% inicial añadida	2	5	8
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18132	18289	18405
P. suelo humedo Wm (gr)	4099	4256	4372
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,760	1,828	1,877
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Identificación del recipiente	05 MS	07 MS	28
P. del recipiente (Wrec)	32,50	32,80	23,10
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	191,30	185,00	98,80
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	176,00	170,00	89,90
Peso solidos (Ws)	143,50	137,20	66,80
Peso del agua (Ww)	15,30	15,00	8,90
Cont. Humedad (w%)	10,66	10,93	13,32
Cont. Humedad promedio (w%)	10,80		13,48
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,589		1,610
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Cont. Humedad óptimo $\omega\%$	<b>14,6</b>		
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1,613</b>		
			

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 78. Proctor Pozo 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<p style="text-align: center;">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p> <p><b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p> <p><b>PARROQUIA:</b> HUACHI GRANDE- EL PORVENIR      <b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m</p> <p><b>POZO:</b> P6      <b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m</p> <p><b>COORDENADAS:</b> 17 763705 m 9854948 m</p>								
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78 cm <sup>3</sup>			
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	*(cm)	15,22 h (cm)			
Peso Inicial	6000		6000		6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18232	18441	18575	18345				
P. suelo humedo Wm (gr)	4199	4408	4542	4312				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,803	1,893	1,950	1,852				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	25 HV	26 HV	82	07 MS	21 HV	22 HV	23 HV	24 HV
P. del recipiente (Wrec)	60,00	60,60	30,60	32,80	63,70	60,80	62,50	61,60
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	131,00	133,50	98,00	94,20	120,60	111,30	111,90	119,00
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	122,80	125,30	88,80	85,90	111,60	103,50	102,90	109,20
Peso solidos (Ws)	62,80	64,70	58,20	53,10	47,90	42,70	40,40	47,60
Peso del agua (Ww)	8,20	8,20	9,20	8,30	9,00	7,80	9,00	9,80
Cont. Humedad (w%)	13,06	12,67	15,81	15,63	18,79	18,27	22,28	20,59
Cont. Humedad promedio (w%)	12,87		15,72		18,53		21,43	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,598		1,636		1,645		1,525	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega\%$			16,5					
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )			1,653					
<p><b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b></p> <p>El gráfico muestra la relación entre el contenido de humedad (eje X, 12-22%) y el peso volumétrico seco <math>\gamma_d</math> (eje Y, 1,520-1,660 gr/cm<sup>3</sup>). La curva es parabólica y se ha determinado el punto máximo (ymax) que corresponde a un contenido de humedad óptimo del 16,5% y un peso volumétrico seco máximo de 1,653 gr/cm<sup>3</sup>.</p>								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 79. Compactación CBR Pozo 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
 												
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>												
PARROQUIA: HUACHI GRANDE- EL PORVENIR		CAPA VEGETAL: 0,20 m										
POZO: P5		PROFUNDIDAD: 0,80 m										
		COORDENADAS: 17 763396 m 9854547 m										
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO	14,50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
Identificación Molde	1		2		3							
Número de Golpes	5		5		5							
Número de Capas	56		27		11							
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo						
P. Hum. + Molde (gr)	13857	14179	12492	12823	13402	13831						
Peso Molde (gr)	9564	9564	8339	8339	9564	9564						
P. Humedo (gr)	4293	4615	4153	4484	3838	4267						
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2298,37	2298,37	2331,76	2331,76						
% Agua absorbida	7,50%		7,97%		11,18%							
Esponjamiento	0,20 plg		0,24 plg		0,31 plg							
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,841	1,979	1,807	1,951	1,646	1,830						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,608	1,619	1,581	1,603	1,437	1,446						
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,613		1,592		1,442							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
	34 HV	35 HV	34 HV	35 HV	33 HV	36 HV	33 HV	36 HV	33 HV	34 HV	29 HV	30 HV
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	59,60	59,70	60,50	59,00	66,10	60,60	62,90	58,10	60,70	59,10	61,40	62,80
Rec+S. seco (Ws + Wm)	53,10	53,10	51,20	49,40	58,80	54,00	52,60	49,60	54,00	52,60	50,20	51,20
P. recipiente (Wrec)	7,80	7,90	7,80	7,90	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,80	7,80	7,70
Peso del agua (Ww)	6,50	6,60	9,30	9,60	7,30	6,60	10,30	8,50	6,70	6,50	11,20	11,60
Peso solidos (Ws)	45,30	45,20	43,40	41,50	50,90	46,20	44,70	41,80	46,10	44,80	42,40	43,50
Cont. Humedad (w%)	14,35	14,60	21,43	23,13	14,34	14,29	23,04	20,33	14,53	14,51	26,42	26,67
Cont. promedio (w%)	14,475		22,281		14,314		21,689		14,521		26,541	
Datos				MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3						
Altura (cm)				12,60	12,60	12,60						
Diametro (cm)				15,35	15,24	15,35						
Peso (gr)				9564	8339	9564						
Area (cm <sup>2</sup> )				185,06	182,41	185,06						
Volumen (cm <sup>3</sup> )				2331,76	2298,37	2331,76						

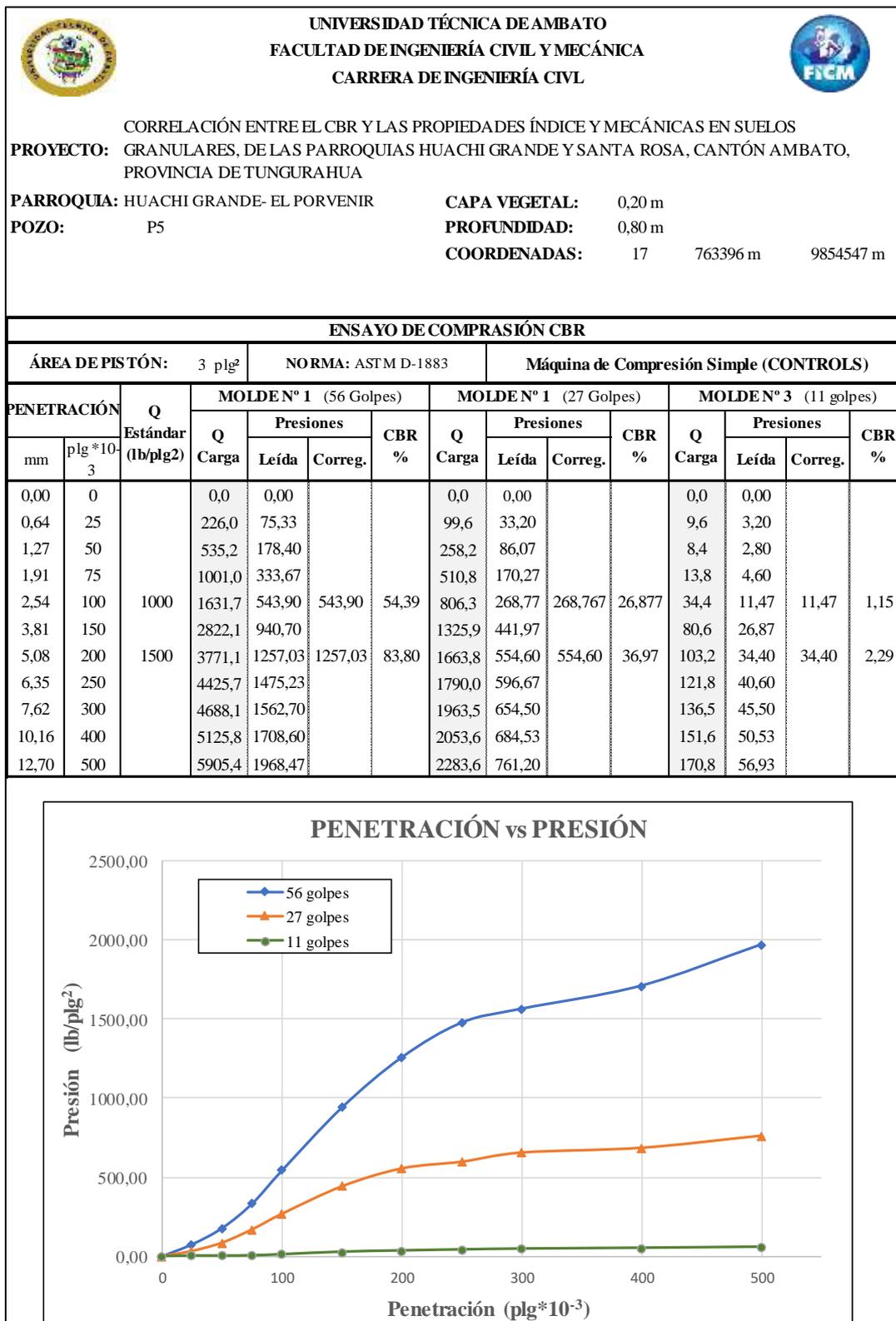
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 80. Compactación CBR Pozo 6

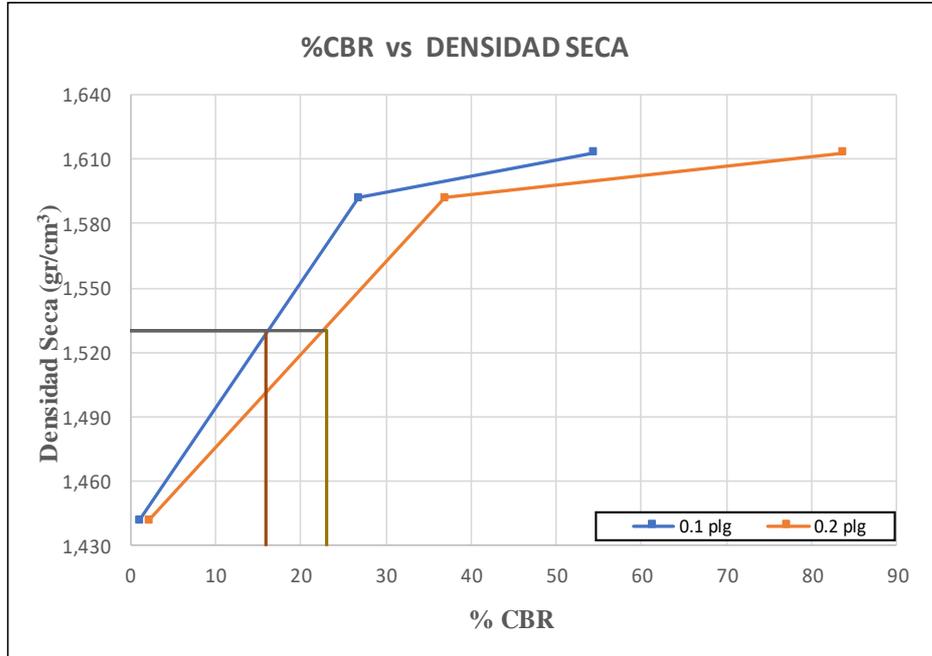
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																
 																																				
<p align="center">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																																				
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																																			
<b>PARROQUIA:</b>	HUACHI GRANDE- EL PORVENIR	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m																																	
<b>POZO:</b>	P6	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m																																	
		<b>COORDENADAS:</b>	17	763705 m	9854948 m																															
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																																				
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO		<b>PESO DEL MARTILLO:</b>	10 lb																																
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180		<b>ALTURA DE CAIDA:</b>	18"																																
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000		<b>W% ÓPTIMO</b>	17,80																																
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																																				
Identificación Molde	1		2		3																															
Número de Golpes	5		5		5																															
Número de Capas	56		27		11																															
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																														
P. Hum. + Molde (gr)	13347	13447	13960	14098	10386	10647																														
Peso Molde (gr)	8726	8726	9564	9564	6398	6398																														
P. Humedo (gr)	4621	4721	4396	4534	3988	4249																														
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2331,76	2331,76	2313,69	2313,69																														
% Agua absorbida	2,16%		3,14%		6,54%																															
Esponjamiento	0,21 plg		0,24 plg		0,10 plg																															
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,982	2,025	1,885	1,944	1,724	1,836																														
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,685	1,661	1,607	1,598	1,467	1,463																														
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,673		1,603		1,465																															
CONTENIDO DE HUMEDAD																																				
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																								
	21 HV	22 HV	21 HV	22 HV	23 HV	27 HV	23 HV	27 HV	23 HV	24 HV	23 HV	24 HV																								
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	114,70	114,10	114,00	111,30	113,00	153,60	113,00	153,70	114,20	112,00	114,80	113,20																								
Rec+S. seco (Ws + Wm)	107,10	106,10	105,00	102,20	105,60	146,10	104,60	144,10	106,60	104,40	104,10	102,80																								
P. recipiente (Wrec)	63,80	60,80	63,80	60,80	62,50	103,10	62,50	103,10	62,50	61,70	62,50	61,70																								
Peso del agua (Ww)	7,60	8,00	9,00	9,10	7,40	7,50	8,40	9,60	7,60	7,60	10,70	10,40																								
Peso solidos (Ws)	43,30	45,30	41,20	41,40	43,10	43,00	42,10	41,00	44,10	42,70	41,60	41,10																								
Cont. Humedad (w%)	17,55	17,66	21,84	21,98	17,17	17,44	19,95	23,41	17,23	17,80	25,72	25,30																								
Cont. promedio (w%)	17,606		21,913		17,306		21,684		17,516		25,513																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,60</td> <td>12,60</td> <td>12,70</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,35</td> <td>15,35</td> <td>15,23</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>8726</td> <td>9564</td> <td>6398</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>185,06</td> <td>185,06</td> <td>182,18</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2331,76</td> <td>2331,76</td> <td>2313,69</td> </tr> </tbody> </table>												Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,60	12,60	12,70	Diametro (cm)	15,35	15,35	15,23	Peso (gr)	8726	9564	6398	Area (cm <sup>2</sup> )	185,06	185,06	182,18	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2313,69
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																																	
Altura (cm)	12,60	12,60	12,70																																	
Diametro (cm)	15,35	15,35	15,23																																	
Peso (gr)	8726	9564	6398																																	
Area (cm <sup>2</sup> )	185,06	185,06	182,18																																	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2313,69																																	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 81. Ensayo CBR Pozo 5



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	54,39	26,88	1,15
	0,2 plg	83,80	36,97	2,29
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,613	1,592	1,442

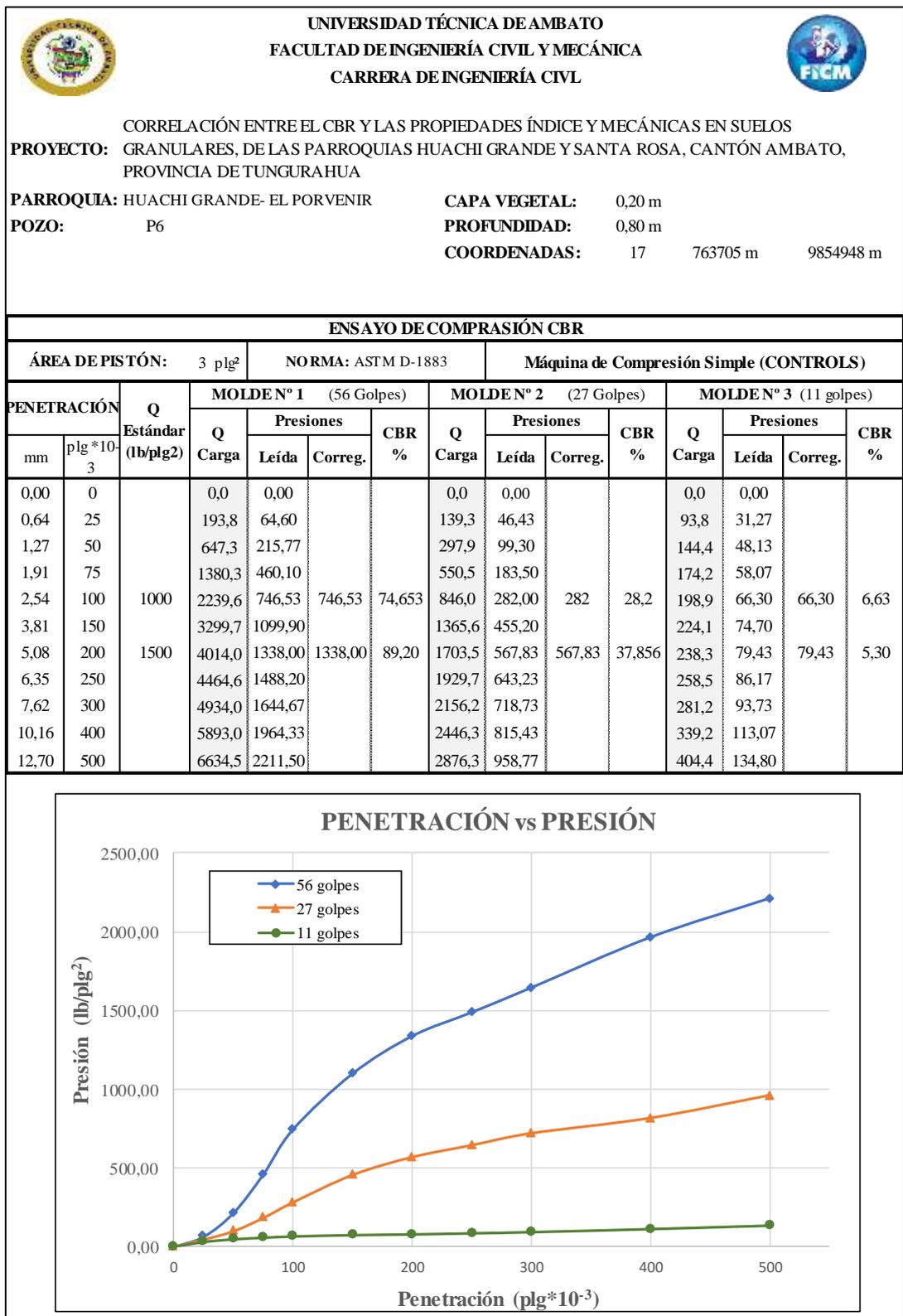


Densidad Seca Máx( $\gamma_d$ ) = 1,611 gr/cm<sup>3</sup>

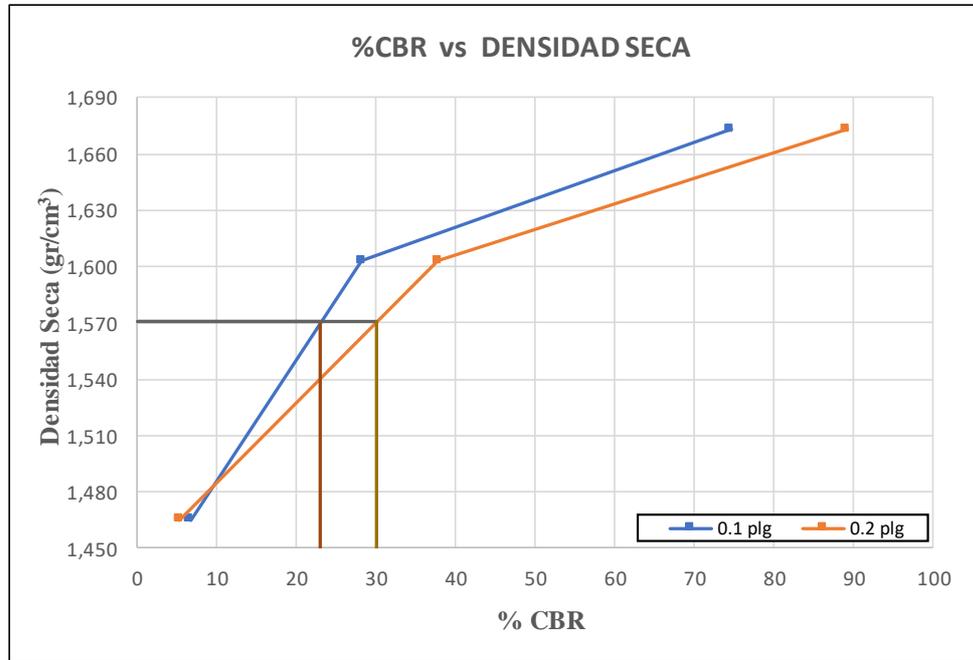
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,530	16,0	23,0	23

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 82. Ensayo CBR Pozo 6



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	74,65	28,20	6,63
	0,2 plg	89,20	37,86	5,30
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,673	1,603	1,465



Densidad Seca Máx( $\gamma_d$ ) = 1,653 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,570	23,0	30,0	30

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Santa Rosa – El Quinche

Tabla 83. Humedad in situ y Granulometría Pozo 7

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL QUINCHE	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m
<b>POZO:</b>	P7	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m
		<b>COORDENADAS:</b> 17 759835 m 9857693 m

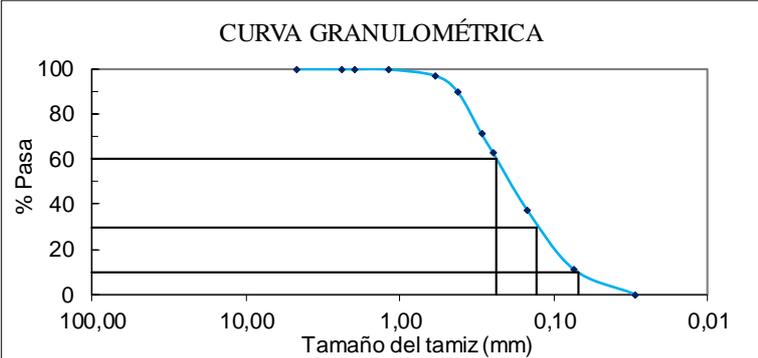
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	37,00	88,70	86,00	5,51	
2	38,50	90,40	87,80	5,27	5,39
3	41,30	94,00	91,30	5,40	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		251				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		0,00	0,00	0,00	100,00
# 10	2,00		0,10	0,10	0,04	99,96
# 16	1,19		0,30	0,40	0,16	99,84
# 30	0,595		6,80	7,20	2,87	97,13
# 40	0,420		18,40	25,60	10,20	89,80
# 50	0,297		45,70	71,30	28,41	71,59
# 60	0,250		20,90	92,20	36,73	63,27
# 100	0,149		64,70	156,90	62,51	37,49
# 200	0,074		66,60	223,50	89,04	10,96
FUENTE			27,10	27,50	10,96	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,070	Cu = D60 / D10	3,43	
D30 (mm)	0,130	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	1,01	
D60 (mm)	0,240	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,420	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	89,04	10,96	SW - SM
AASHTO	0,00	89,04	10,96	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 84. Humedad in situ y Granulometría Pozo 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL QUINCHE	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,05 m		
<b>POZO:</b>	P8	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,70 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	759924 m	9856815 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	30,80	81,20	77,20	8,62	
2	30,20	81,30	77,30	8,49	8,58
3	57,40	107,80	103,80	8,62	

GRANULOMETRÍA					
		W <sub>INICIAL</sub> (gr)	251,2		
TAMIZ	mm	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% <sub>RET.ACUM.</sub>	% PASA
# 4	4,76	0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38	0,00	0,00	0,00	100,00
# 10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
# 16	1,19	0,00	0,00	0,00	100,00
# 30	0,595	0,10	0,10	0,04	99,96
# 40	0,420	0,80	0,90	0,36	99,64
# 50	0,297	3,90	4,80	1,91	98,09
# 60	0,250	4,10	8,90	3,54	96,46
# 100	0,149	50,40	59,30	23,61	76,39
# 200	0,074	149,40	208,70	83,08	16,92
FUENTE		42,00	42,50	16,92	

CURVA GRANULOMÉTRICA	
100	100,00
80	10,00
60	1,00
40	0,10
20	0,01
0	0,01
% Pasa	Tamaño del tamiz (mm)

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,060	Cu = D60 / D10	2,00	
D30 (mm)	0,090	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	1,13	
D60 (mm)	0,120	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,149	
Clasificación	GRAVA (%G)	ARENA (%S)	FINO (%F)	SUELO
SUCS	0,00	83,08	16,92	SM
AASHTO	0,00	83,08	16,92	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña





Tabla 87. Límite Líquido y Plástico Pozo 7



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA- EL QUINCHE

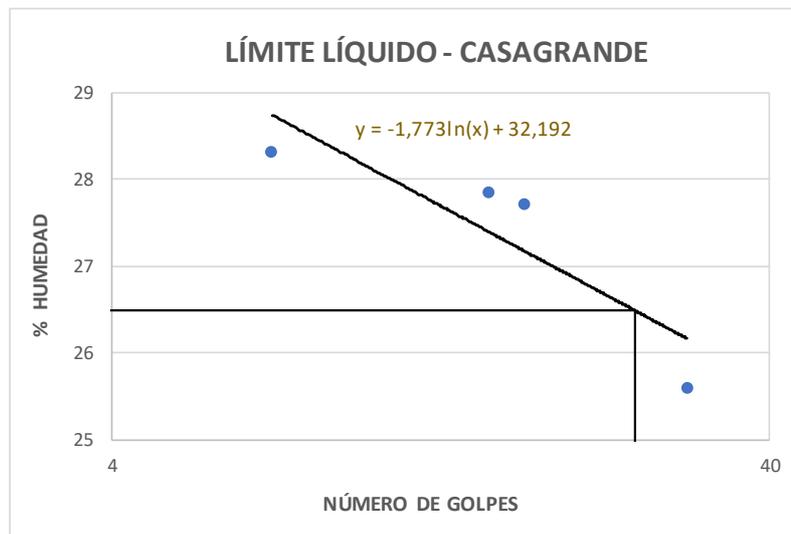
**CAPA VEGETAL:** 0,20 m

**POZO:** P7

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17 759835 m 9857693 m

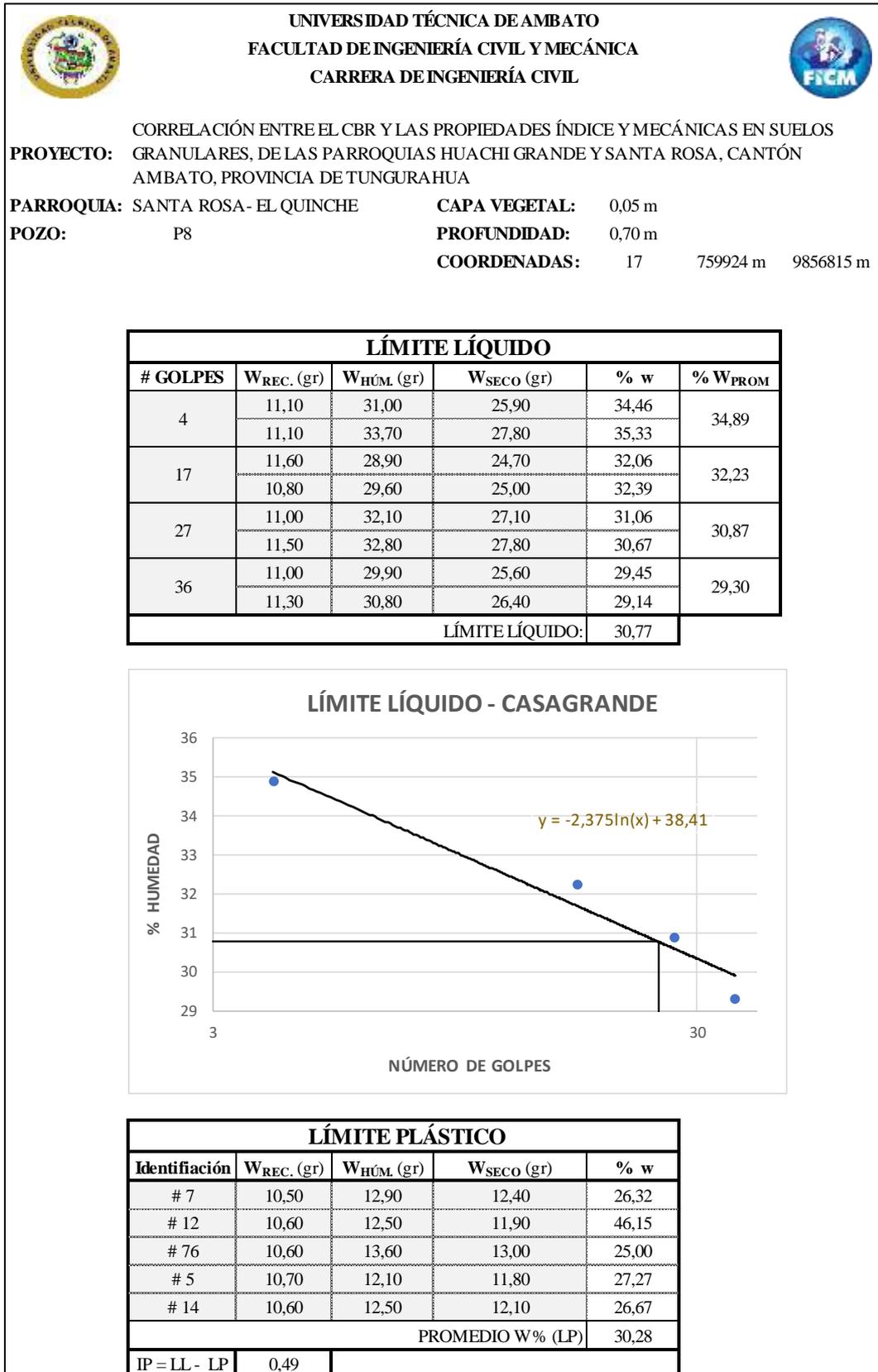
LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
7	11,10	36,20	30,70	28,06	28,32
	11,10	30,90	26,50	28,57	
15	11,60	28,10	24,50	27,91	27,84
	10,80	29,20	25,20	27,78	
17	11,00	32,20	27,60	27,71	27,71
	11,50	32,70	28,10	27,71	
30	11,00	34,00	29,30	25,68	25,60
	11,30	35,90	30,90	25,51	
LÍMITE LÍQUIDO:				26,48	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 1	10,70	12,80	12,40	23,53
# 74	10,70	12,20	11,90	25,00
# 9	10,70	13,30	12,80	23,81
# 3	10,50	13,50	12,90	25,00
# 5	10,70	14,10	13,30	30,77
PROMEDIO W% (LP)				25,62
IP = LL - LP	0,86			

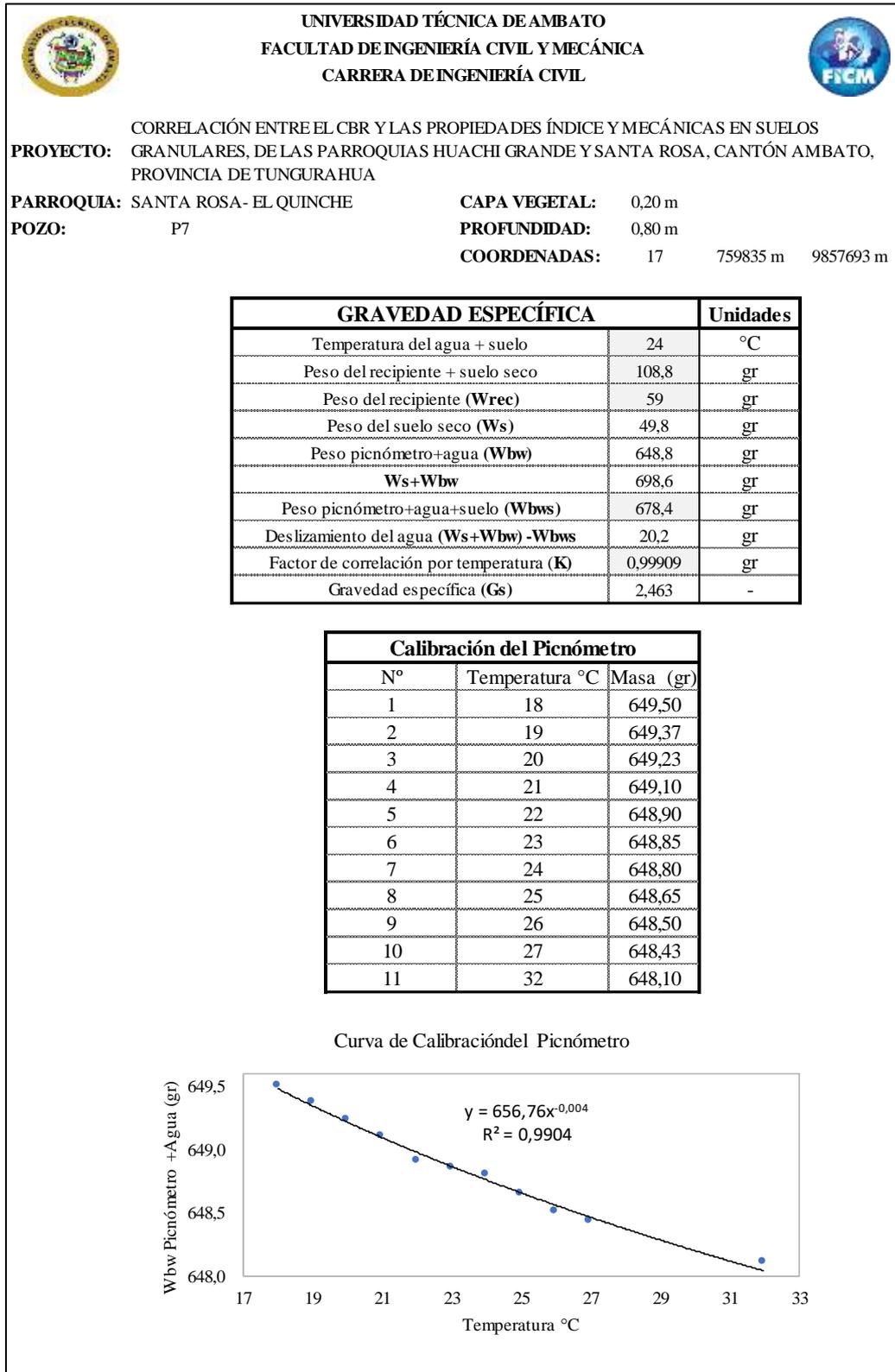
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 88. Límite Líquido y Plástico Pozo 8



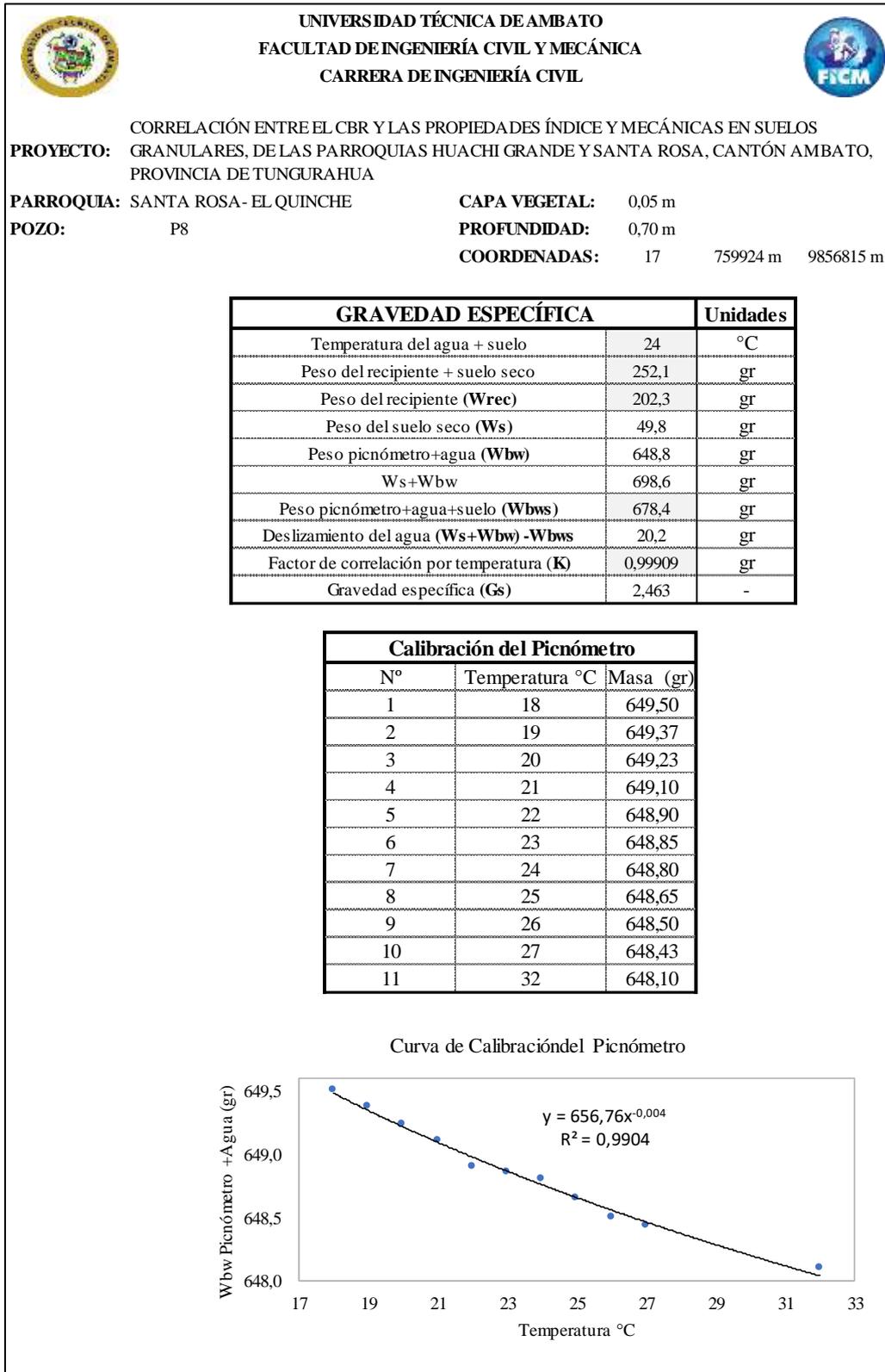
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 89. Gravedad Específica Pozo 7



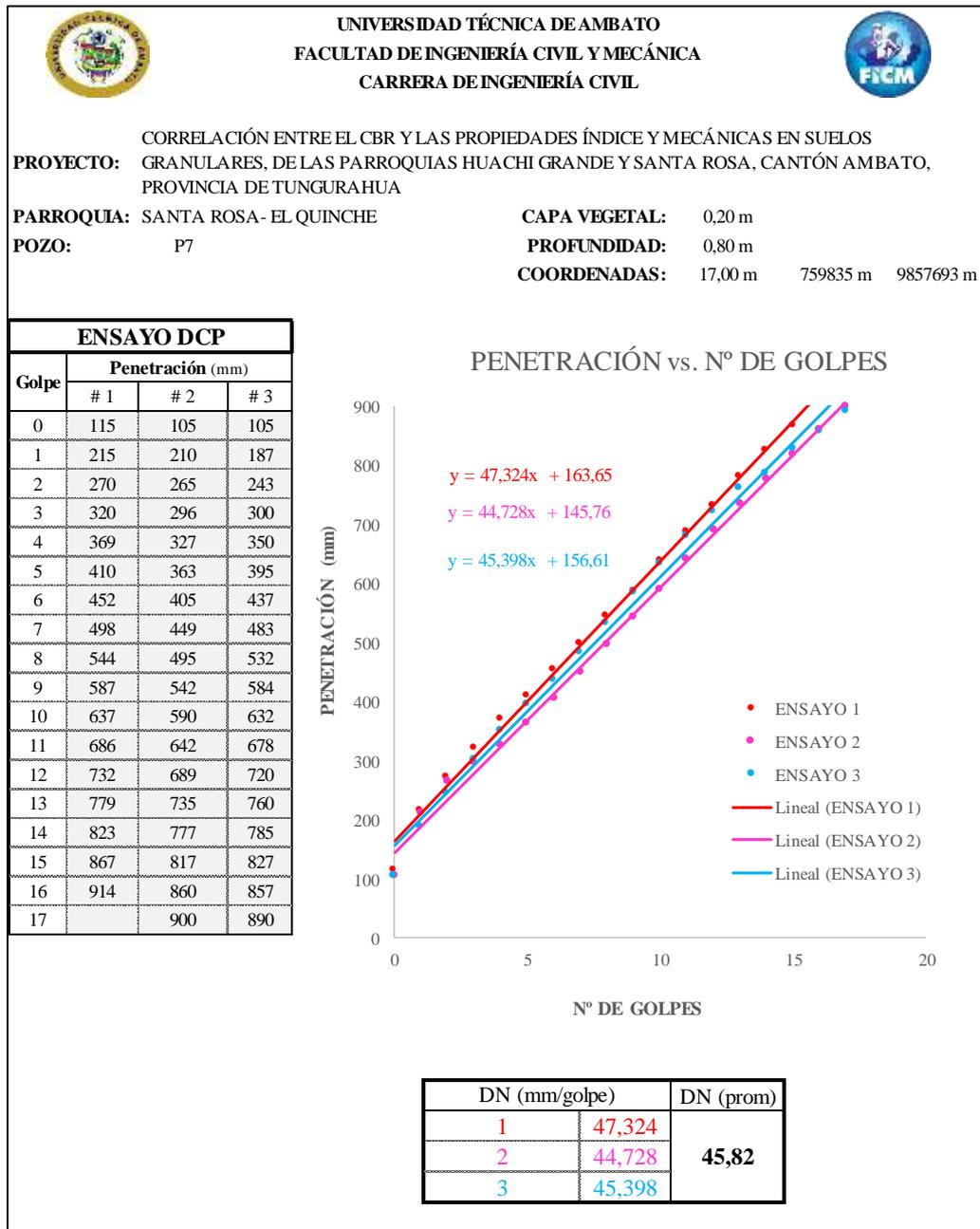
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 90. Gravedad Específica Pozo 8



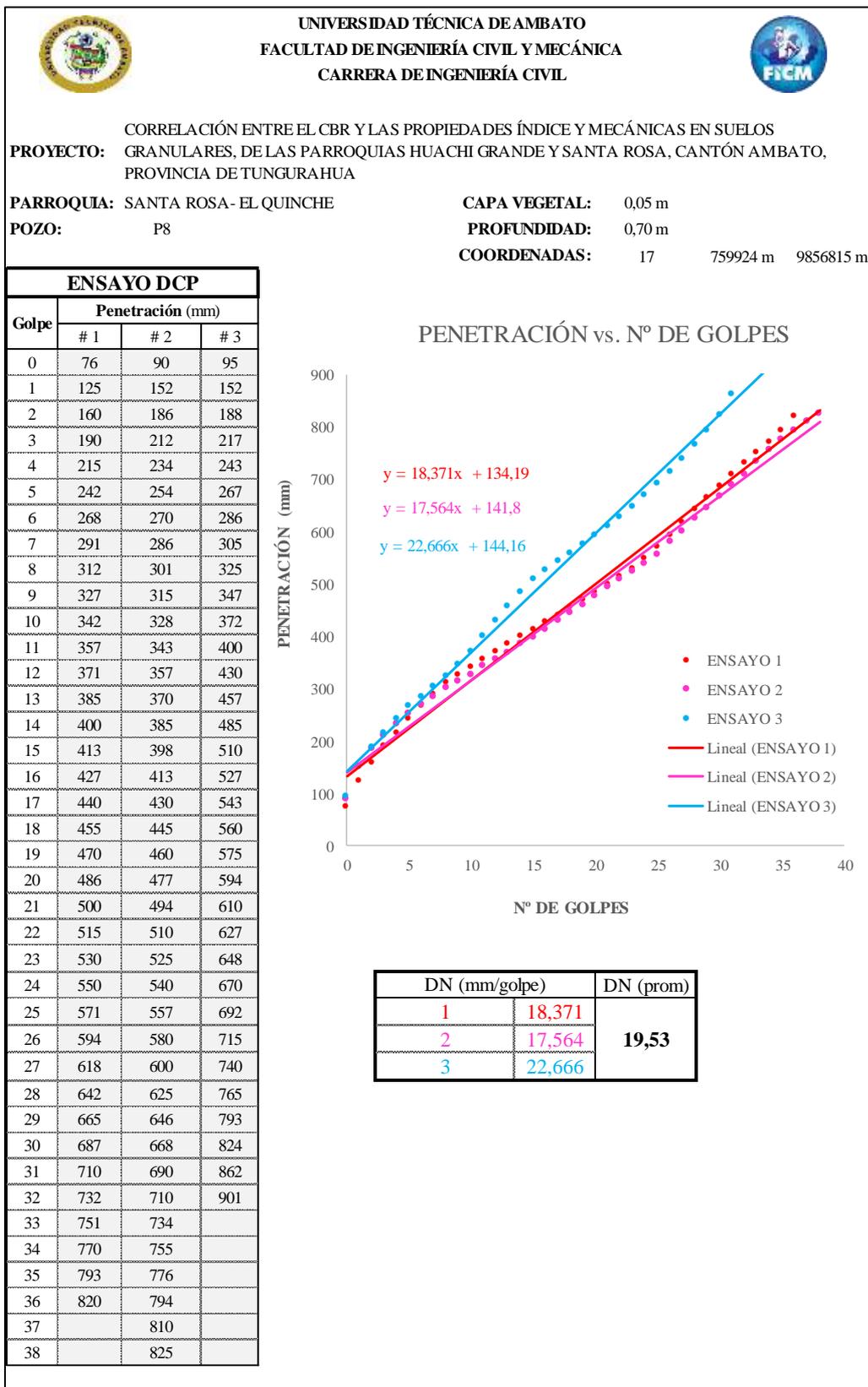
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 91. DCP Pozo 7



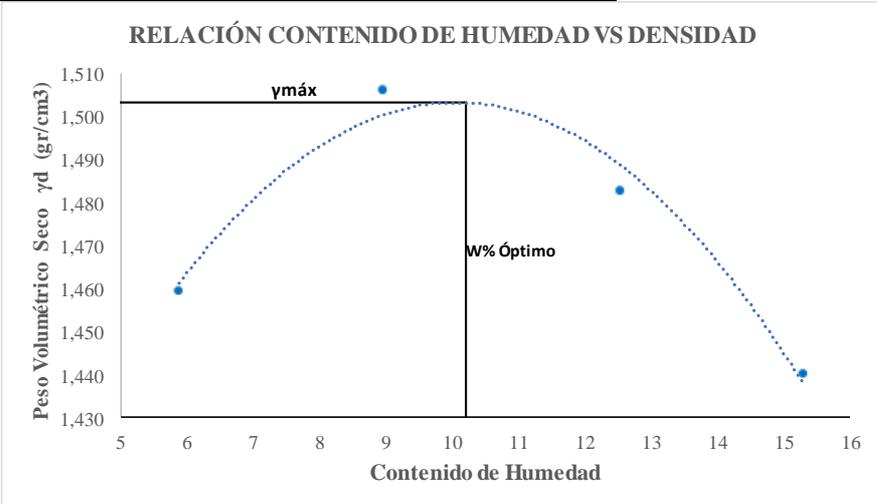
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 92. DCP Pozo 8



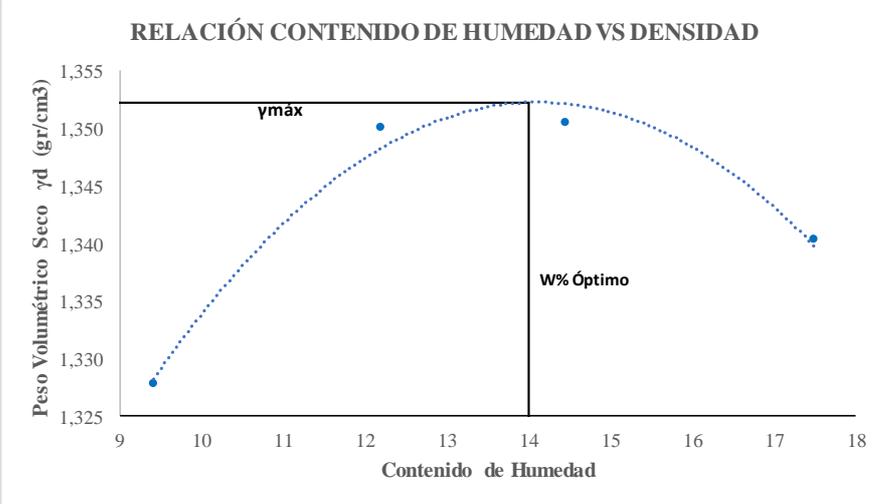
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 93. Proctor Pozo 7

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>													
<p align="center">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>															
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA														
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL QUINCHE	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m												
<b>POZO:</b>	P7	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m												
		<b>COORDENADAS:</b>	17 759835 m 9857693 m												
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR															
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033 gr										
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78 cm <sup>3</sup>										
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h(cm)	15,22										
Peso Inicial	6000		6000		6000										
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN															
Ensayo Número	1	2	3	4											
W% inicial añadida	5	8	11	14											
P. molde+Suelo húmedo (gr)	17631	17855	17918	17900											
P. suelo humedo Wm (gr)	3598	3822	3885	3867											
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,545	1,641	1,668	1,661											
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD															
Identificación del recipiente	28	82	96	77	64	97	05 MS	07 MS							
P. del recipiente (Wrec)	23,10	30,60	31,40	30,90	30,70	33,20	32,50	32,80							
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	94,40	92,40	97,80	88,40	80,80	93,60	91,80	98,40							
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	90,40	89,00	92,30	83,70	75,20	86,90	84,10	89,50							
Peso solidos (Ws)	67,30	58,40	60,90	52,80	44,50	53,70	51,60	56,70							
Peso del agua (Ww)	4,00	3,40	5,50	4,70	5,60	6,70	7,70	8,90							
Cont. Humedad (w%)	5,94	5,82	9,03	8,90	12,58	12,48	14,92	15,70							
Cont. Humedad promedio (w%)	5,88		8,97		12,53		15,31								
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,459		1,506		1,482		1,440								
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA															
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %		<b>10,2</b>													
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )		<b>1,503</b>													
<p align="center"><b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b></p>  <p>El gráfico muestra la relación entre el contenido de humedad (eje X, 5% a 16%) y el peso volumétrico seco <math>\gamma_d</math> (eje Y, 1,430 a 1,510 gr/cm<sup>3</sup>). La curva es parabólica y se marcan el punto de máxima densidad (<math>\gamma_{m\acute{a}x}</math>) y el contenido de humedad óptimo (W% Óptimo).</p> <table border="1"> <caption>Datos del Gráfico</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso Volumétrico Seco <math>\gamma_d</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>1,460</td></tr> <tr><td>9</td><td>1,505</td></tr> <tr><td>12,5</td><td>1,485</td></tr> <tr><td>15,5</td><td>1,440</td></tr> </tbody> </table>						Contenido de Humedad (%)	Peso Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	6	1,460	9	1,505	12,5	1,485	15,5	1,440
Contenido de Humedad (%)	Peso Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )														
6	1,460														
9	1,505														
12,5	1,485														
15,5	1,440														

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 94. Proctor Pozo 8

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL QUINCHE	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,05 m						
<b>POZO:</b>	P8	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,70 m						
		<b>COORDENADAS:</b> 17 759924 m 9856815 m						
<b>ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR</b>								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78	cm <sup>3</sup>		
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h(cm)	15,22	h (cm)	12,8	
Peso Inicial	6000		6000		6000	6000		
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	17416	17560	17632	17700				
P. suelo humedo Wm (gr)	3383	3527	3599	3667				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,453	1,515	1,545	1,575				
<b>2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD</b>								
Identificación del recipiente	21 HV	22 HV	23 HV	24 HV	25 HV	26 HV	27 HV	28 HV
P. del recipiente (Wrec)	63,70	60,80	62,50	61,60	60,00	60,60	103,10	66,50
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	140,80	141,80	133,10	145,70	119,00	128,40	146,40	146,00
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	134,10	134,90	125,40	136,60	111,50	119,90	140,10	133,90
Peso solidos (Ws)	70,40	74,10	62,90	75,00	51,50	59,30	37,00	67,40
Peso del agua (Ww)	6,70	6,90	7,70	9,10	7,50	8,50	6,30	12,10
Cont. Humedad (w%)	9,52	9,31	12,24	12,13	14,56	14,33	17,03	17,95
Cont. Humedad promedio (w%)	9,41		12,19		14,45		17,49	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,328		1,350		1,350		1,340	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %			<b>14</b>					
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )			<b>1,352</b>					
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b>								
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 95. Compactación CBR Pozo 7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
 												
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>												
PARROQUIA: SANTA ROSA - EL QUINCHE		CAPA VEGETAL: 0,20 m										
POZO: P7		PROFUNDIDAD: 0,80 m										
		COORDENADAS: 17 759835 m 9857693 m										
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO	9,30								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
Identificación Molde	1		2		3							
Número de Golpes	5		5		5							
Número de Capas	56		27		11							
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo						
P. Hum. + Molde (gr)	13453	14020	11978	12569	12966	13611						
Peso Molde (gr)	9629	9629	8386	8386	9564	9564						
P. Humedo (gr)	3824	4391	3592	4183	3402	4047						
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2301,39	2301,39	2286,40	2286,40	2331,76	2331,76						
% Agua absorbida	14,83%		16,45%		18,96%							
Esponjamiento	0,00 plg		0,04 plg		0,07 plg							
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,662	1,908	1,571	1,830	1,459	1,736						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,534	1,523	1,453	1,450	1,349	1,356						
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,528		1,452		1,352							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
	25 HV	26 HV	25 HV	26 HV	23 HV	24 HV	23 HV	24 HV	21 HV	22 HV	21 HV	22 HV
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	112,10	111,30	115,00	112,40	117,90	115,40	114,40	113,90	115,40	111,30	117,40	113,10
Rec+S. seco (Ws + Wm)	108,10	107,40	103,90	102,00	113,80	111,30	103,20	103,50	111,60	107,40	104,90	102,40
P. recipiente (Wrec)	60,10	60,70	60,10	60,70	62,30	61,70	62,30	61,70	63,70	60,80	63,70	60,80
Peso del agua (Ww)	4,00	3,90	11,10	10,40	4,10	4,10	11,20	10,40	3,80	3,90	12,50	10,70
Peso solidos (Ws)	48,00	46,70	43,80	41,30	51,50	49,60	40,90	41,80	47,90	46,60	41,20	41,60
Cont. Humedad (w%)	8,33	8,35	25,34	25,18	7,96	8,27	27,38	24,88	7,93	8,37	30,34	25,72
Cont. promedio (w%)	8,342		25,262		8,114		26,132		8,151		28,030	
Datos				MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3						
Altura (cm)				12,60	12,60	12,60						
Diametro (cm)				15,25	15,20	15,35						
Peso (gr)				9629	8386	9564						
Area (cm <sup>2</sup> )				182,65	181,46	185,06						
Volumen (cm <sup>3</sup> )				2301,39	2286,40	2331,76						

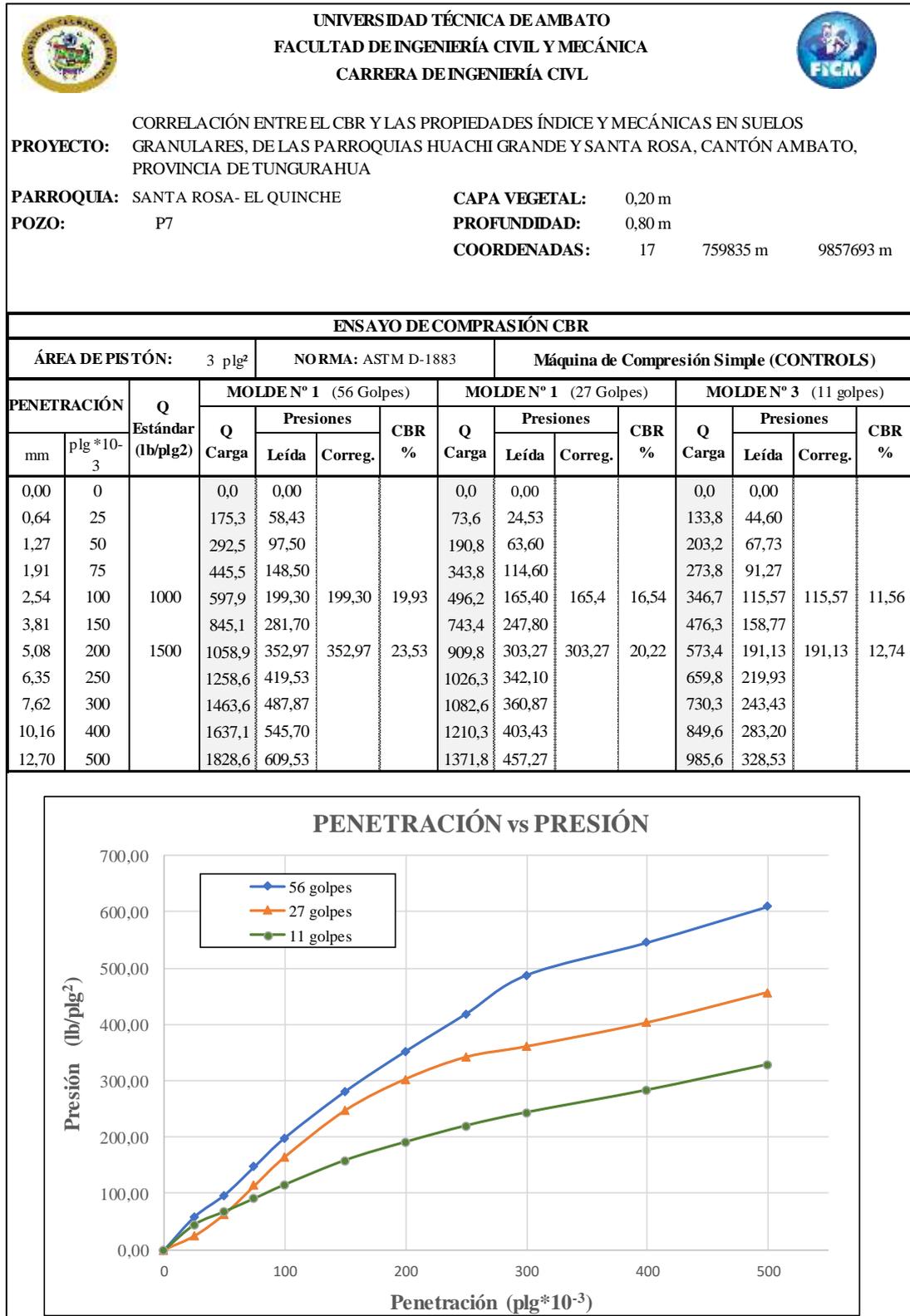
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 96. Compactación CBR Pozo 8

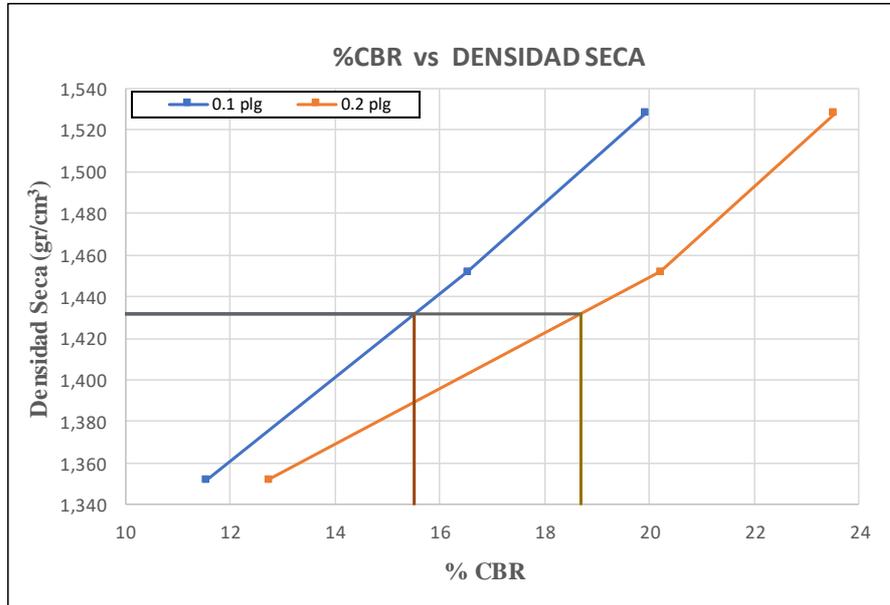
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																
 																																				
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																																				
PARROQUIA: SANTA ROSA- EL QUINCHE		CAPA VEGETAL: 0,05 m																																		
POZO: P8		PROFUNDIDAD: 0,70 m																																		
		COORDENADAS: 17 759924 m 9856815 m																																		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																																				
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb																																
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"																																
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO	13,20																																
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																																				
Identificación Molde	1		2		3																															
Número de Golpes	5		5		5																															
Número de Capas	56		27		11																															
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																														
P. Hum. + Molde (gr)	12854	13398	11797	12374	10362	11005																														
Peso Molde (gr)	9283	9283	8292	8292	7276	7276																														
P. Humedo (gr)	3571	4115	3505	4082	3086	3729																														
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2298,37	2298,37	2304,54	2304,54	2298,37	2298,37																														
% Agua absorbida	15,23%		16,46%		20,84%																															
Esponjamiento	0,00 plg		0,00 plg		0,00 plg																															
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,554	1,790	1,521	1,771	1,343	1,622																														
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,384	1,376	1,352	1,361	1,192	1,210																														
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,380		1,357		1,201																															
CONTENIDO DE HUMEDAD																																				
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																								
	82	12	82	12	32	76	32	76	29 HV	30 HV	29 HV	30 HV																								
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	83,00	78,30	84,50	75,50	77,20	83,60	77,30	81,50	58,60	58,90	58,50	58,30																								
Rec+S. seco (Ws + Wm)	77,30	72,50	72,60	63,40	71,60	77,70	65,00	70,30	53,00	53,10	45,40	45,70																								
P. recipiente (Wrec)	30,80	25,30	30,80	25,30	26,40	30,80	26,40	30,80	7,90	7,70	7,90	7,70																								
Peso del agua (Ww)	5,70	5,80	11,90	12,10	5,60	5,90	12,30	11,20	5,60	5,80	13,10	12,60																								
Peso solidos (Ws)	46,50	47,20	41,80	38,10	45,20	46,90	38,60	39,50	45,10	45,40	37,50	38,00																								
Cont. Humedad (w%)	12,26	12,29	28,47	31,76	12,39	12,58	31,87	28,35	12,42	12,78	34,93	33,16																								
Cont. promedio (w%)	12,273		30,114		12,485		30,110		12,596		34,046																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,60</td> <td>12,70</td> <td>12,60</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,24</td> <td>15,20</td> <td>15,24</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>9283</td> <td>8292</td> <td>7276</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>182,41</td> <td>181,46</td> <td>182,41</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2298,37</td> <td>2304,54</td> <td>2298,37</td> </tr> </tbody> </table>													Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,60	12,70	12,60	Diametro (cm)	15,24	15,20	15,24	Peso (gr)	9283	8292	7276	Area (cm <sup>2</sup> )	182,41	181,46	182,41	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2298,37	2304,54	2298,37
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																																	
Altura (cm)	12,60	12,70	12,60																																	
Diametro (cm)	15,24	15,20	15,24																																	
Peso (gr)	9283	8292	7276																																	
Area (cm <sup>2</sup> )	182,41	181,46	182,41																																	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2298,37	2304,54	2298,37																																	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 97. Ensayo CBR Pozo 7



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	19,93	16,54	11,56
	0,2 plg	23,53	20,22	12,74
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,528	1,452	1,352



Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,507 gr/cm<sup>3</sup>

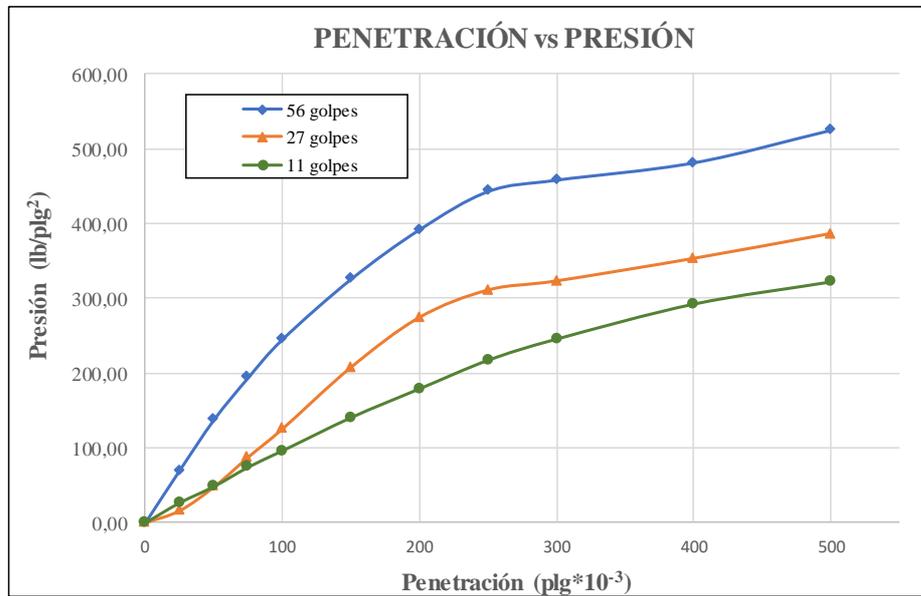
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,432	15,5	18,7	18,7

Fuente: Hugo Vilema Peña

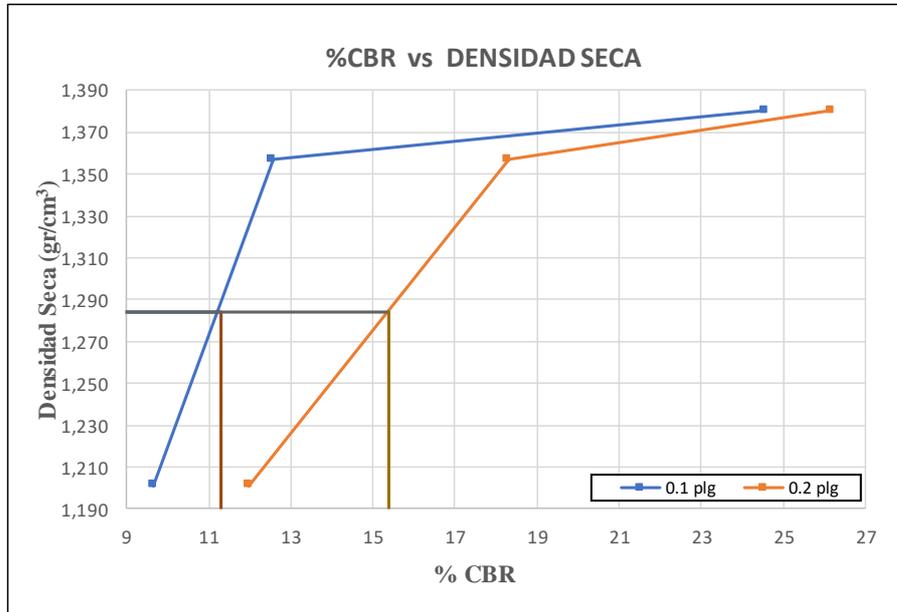
Tabla 98. Ensayo CBR Pozo 8

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVL</b>	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL QUINCHE	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,05 m
<b>POZO:</b>	P8	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,70 m
		<b>COORDENADAS:</b> 17      759924 m      9856815 m

ENSAYO DE COMPRESIÓN CBR														
ÁREA DE PISTÓN:			NORMA: ASTM D-1883				Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)							
PENETRACIÓN		Q	MOLDE N° 1 (56 Golpes)				MOLDE N° 2 (27 Golpes)				MOLDE N° 3 (11 golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	plg *10-3	Estándar (lb/plg2)		Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0,00	0		0,0	0,00			0,0	0,00			0,0	0,00		
0,64	25		210,3	70,10			48,6	16,20			80,3	26,77		
1,27	50		413,6	137,87			143,8	47,93			146,1	48,70		
1,91	75		583,0	194,33			263,3	87,77			223,8	74,60		
2,54	100	1000	736,8	245,60	245,60	24,56	376,8	125,60	125,6	12,56	289,7	96,57	96,57	9,66
3,81	150		978,6	326,20			623,7	207,90			423,0	141,00		
5,08	200	1500	1177,8	392,60	392,60	26,17	823,8	274,60	274,60	18,307	539,0	179,67	179,67	11,98
6,35	250		1330,9	443,63			932,8	310,93			653,6	217,87		
7,62	300		1376,4	458,80			969,2	323,07			738,6	246,20		
10,16	400		1445,9	481,97			1059,6	353,20			879,0	293,00		
12,70	500		1576,8	525,60			1159,3	386,43			968,3	322,77		



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	24,56	12,56	9,66
	0,2 plg	26,17	18,31	11,98
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,380	1,357	1,201



Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,352 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,284	11,3	15,4	15,4

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Santa Rosa – Las Lajas

Tabla 99. Humedad in situ y Granulometría Pozo 9

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- LAS LAJAS	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,10 m
<b>POZO:</b>	P9	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m
		<b>COORDENADAS:</b> 17      760891 m      9856891 m

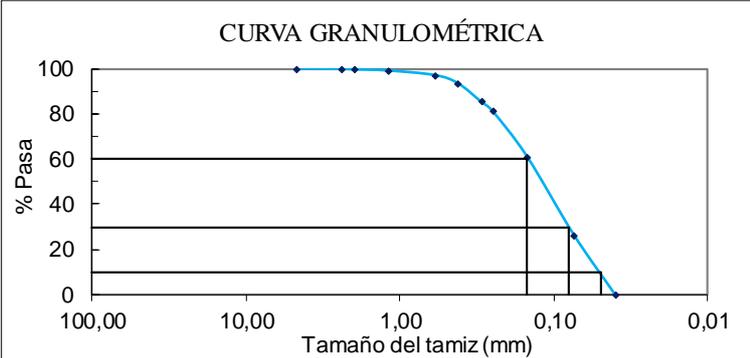
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	36,60	88,10	84,80	6,85	
2	35,60	87,30	84,50	5,73	5,86
3	35,90	86,30	83,90	5,00	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		250				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		0,50	0,50	0,20	99,80
# 10	2,00		0,50	1,00	0,40	99,60
# 16	1,19		1,30	2,30	0,92	99,08
# 30	0,595		5,00	7,30	2,92	97,08
# 40	0,420		8,90	16,20	6,48	93,52
# 50	0,297		20,40	36,60	14,64	85,36
# 60	0,250		10,40	47,00	18,80	81,20
# 100	0,149		50,30	97,30	38,92	61,08
# 200	0,074		86,70	184,00	73,60	26,40
FUENTE			65,80	66,00	26,40	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,050	Cu = D60 / D10	3,00	
D30 (mm)	0,080	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,85	
D60 (mm)	0,150	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,297	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	73,60	26,40	SM
AASHTO	0,20	73,40	26,40	A-2-4

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 100. Humedad in situ y Granulometría Pozo 10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- LAS LAJAS	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m		
<b>POZO:</b>	P10	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	760842 m	9857241 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	30,80	81,80	76,60	11,35	
2	30,70	81,10	76,10	11,01	11,14
3	30,80	81,00	76,00	11,06	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET. ACUM.</sub>	% RET. ACUM.	% PASA
		250				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		0,10	0,10	0,04	99,96
# 10	2,00		0,10	0,20	0,08	99,92
# 16	1,19		1,20	1,40	0,56	99,44
# 30	0,595		4,30	5,70	2,28	97,72
# 40	0,420		5,20	10,90	4,36	95,64
# 50	0,297		8,80	19,70	7,88	92,12
# 60	0,250		5,20	24,90	9,96	90,04
# 100	0,149		31,60	56,50	22,60	77,40
# 200	0,074		87,90	144,40	57,76	42,24
FUENTE			105,50	105,60	42,24	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,046	Cu = D60 / D10	2,28	
D30 (mm)	0,061	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,77	
D60 (mm)	0,105	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,250	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	57,76	42,24	SM
AASHTO	0,04	57,72	42,24	A-4 (2)

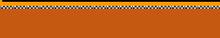
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 101. Densidad de Campo Pozo 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA- LAS LAJAS		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,10 m			
<b>POZO:</b> P9		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m			
		<b>COORDENADAS:</b> 17 760891 m 9856891 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		530,00		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		525,20		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6270,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		5380,00		gr	
Peso de arena en el cono		343,00		gr	
Peso arena en la perforación		547,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		344,46		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 1	# 3	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		88,10	87,30	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		84,80	84,50	gr	
Peso recipiente Rec		36,60	35,60	gr	
Peso del agua Ww		3,30	2,80	gr	
Peso de los sólidos Ws		48,20	48,90	gr	
Contenido de humedad w%		6,85	5,73	%	
Contenido de humedad promedio W%		6,29		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		15,46	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va =		Wa	12,66	cm <sup>3</sup>	0,00
Vw =		Ww	2,80	cm <sup>3</sup>	2,80
Vs =		Ws	18,45	cm <sup>3</sup>	48,90
Vm =		Wt	33,91	cm <sup>3</sup>	51,70
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,525		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,435		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		6,29		%	
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		0,84		natural	
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		45,58		%	
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Vw/Vv*100$		18,12		%	
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		81,88		%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 102. Densidad de Campo Pozo 10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA- LAS LAJAS		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m			
<b>POZO:</b> P10		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m			
		<b>COORDENADAS:</b> 17 760842 m 9857241 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		700,00		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		695,20		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6270,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		5190,00		gr	
Peso de arena en el cono		343,00		gr	
Peso arena en la perforación		737,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		464,11		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 78	# 84	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		81,10	81,00	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		76,10	76,00	gr	
Peso recipiente Rec		30,70	30,80	gr	
Peso del agua Ww		5,00	5,00	gr	
Peso de los sólidos Ws		45,40	45,20	gr	
Contenido de humedad w%		11,01	11,06	%	
Contenido de humedad promedio W%		11,04		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		16,46	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va = 		11,46	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw = 		5,00	cm <sup>3</sup>	5,00	gr
Vs = 		17,06	cm <sup>3</sup>	45,20	gr
Vm = 		33,51	cm <sup>3</sup>	50,20	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,498		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,349		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		11,04		%	
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		0,96		natural	
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		49,10		%	
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Vw/Vv*100$		30,38		%	
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		69,62		%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 103. Límite Líquido y Plástico Pozo 9



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA- LAS LAJAS

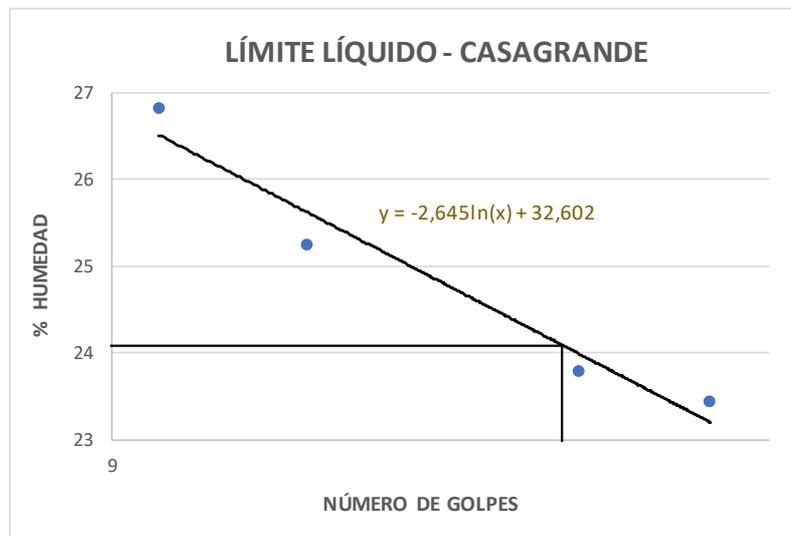
**CAPA VEGETAL:** 0,10 m

**POZO:** P9

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17 760891 m 9856891 m

LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
10	11,30	30,50	26,50	26,32	26,83
	11,10	26,00	22,80	27,35	
14	11,30	31,30	27,20	25,79	25,24
	11,10	31,80	27,70	24,70	
26	11,10	27,60	24,40	24,06	23,79
	11,10	27,90	24,70	23,53	
35	11,30	28,20	25,00	23,36	23,44
	11,40	28,20	25,00	23,53	
LÍMITE LÍQUIDO:				24,09	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 16	10,70	13,30	12,80	23,81
# 10	10,70	12,80	12,40	23,53
# 11	10,60	13,10	12,60	25,00
# 4	10,70	12,70	12,30	25,00
# 18	10,70	12,90	12,50	22,22
PROMEDIO W% (LP)				23,91
IP = LL - LP	0,18			

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 104. Límite Líquido y Plástico Pozo 10



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA- LAS LAJAS

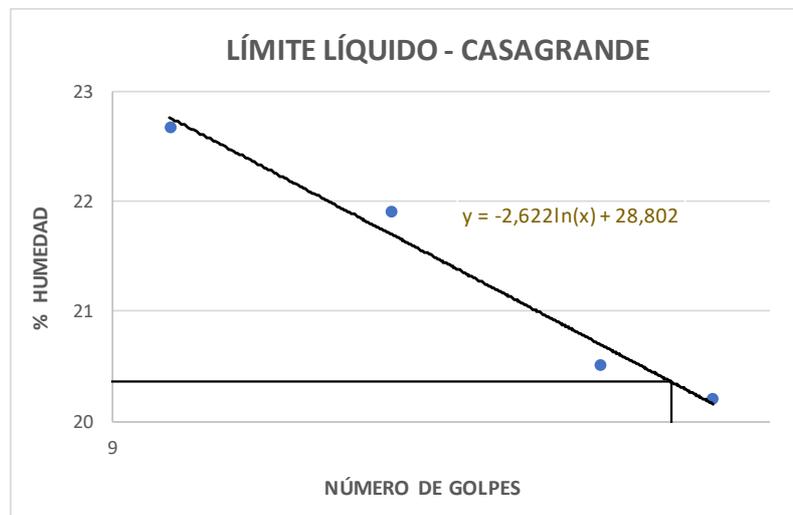
**CAPA VEGETAL:** 0,20 m

**POZO:** P10

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17 760842 m 9857241 m

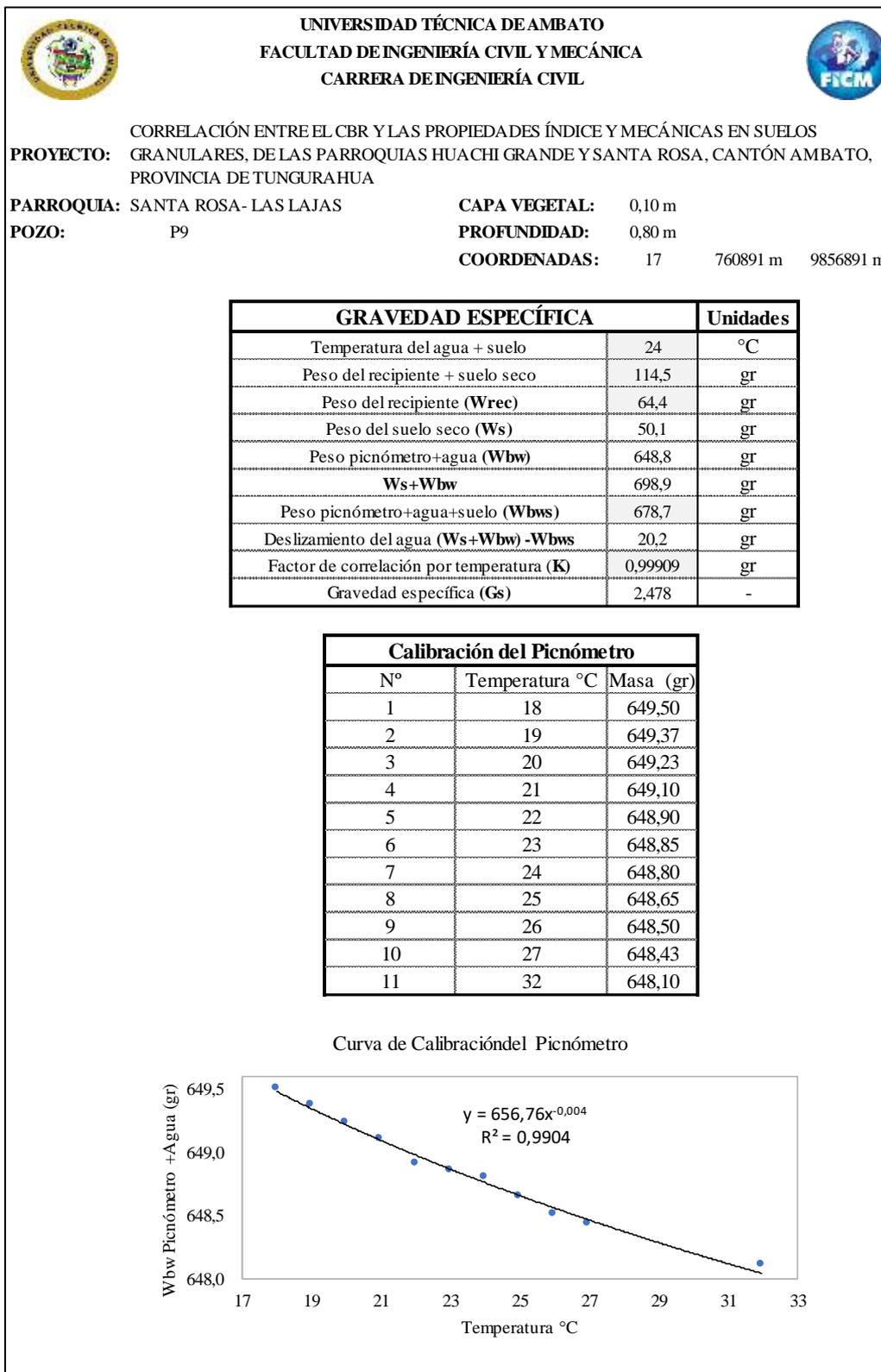
LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
10	11,20	30,20	26,70	22,58	22,68
	11,40	36,20	31,60	22,77	
15	10,90	27,00	24,10	21,97	21,91
	10,80	29,20	25,90	21,85	
22	11,70	27,90	25,10	20,90	20,52
	11,00	27,70	24,90	20,14	
27	11,30	35,20	31,20	20,10	20,22
	11,40	33,30	29,60	20,33	
LÍMITE LÍQUIDO:				20,36	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 8	10,70	13,10	12,70	20,00
# 3	10,60	13,00	12,60	20,00
# 15	10,60	13,00	12,60	20,00
# 31	10,70	12,50	12,20	20,00
# 82	10,70	13,00	12,60	21,05
PROMEDIO W% (LP)				20,21
IP = LL - LP	0,15			

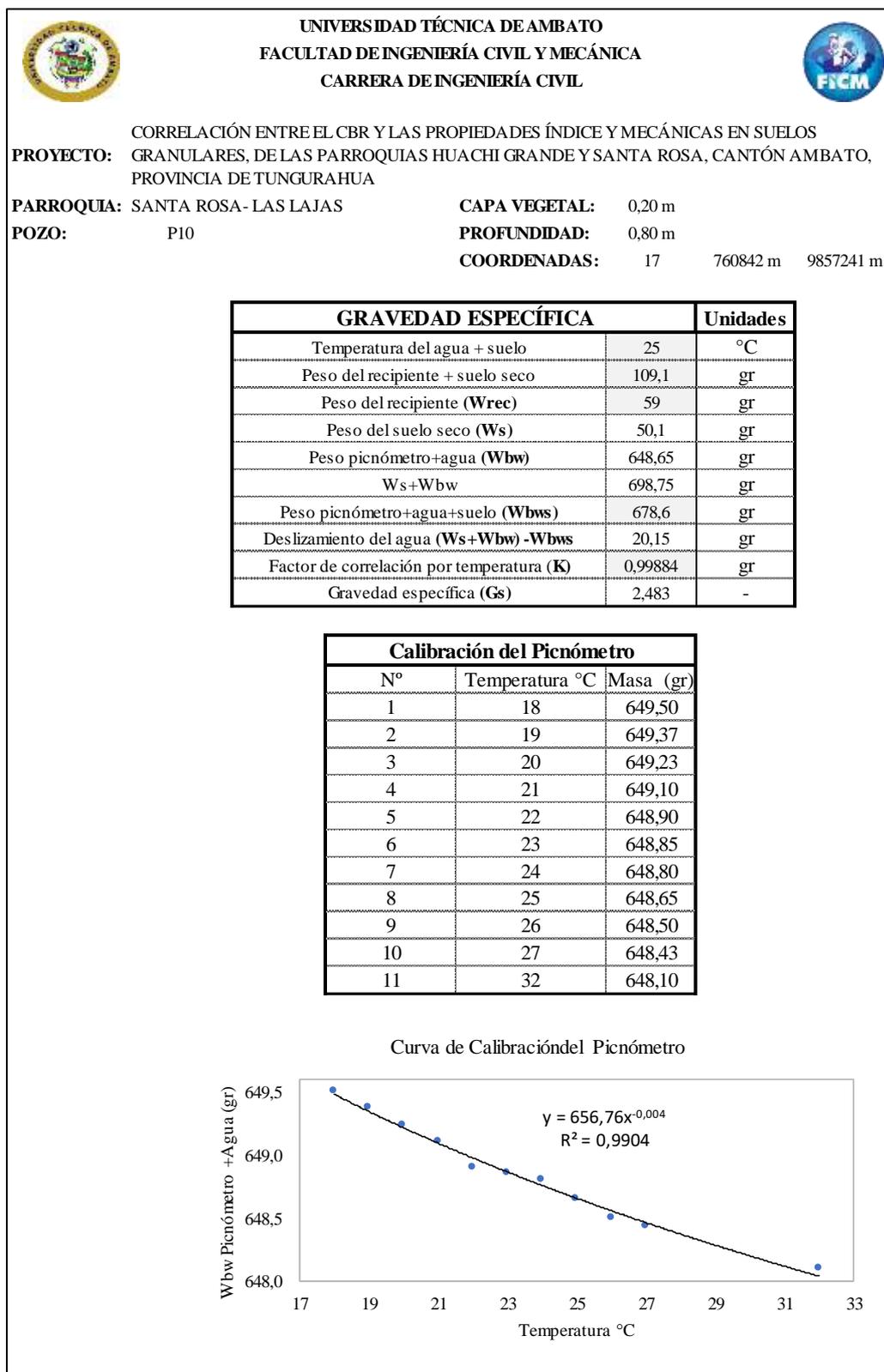
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 105. Gravedad Específica Pozo 9



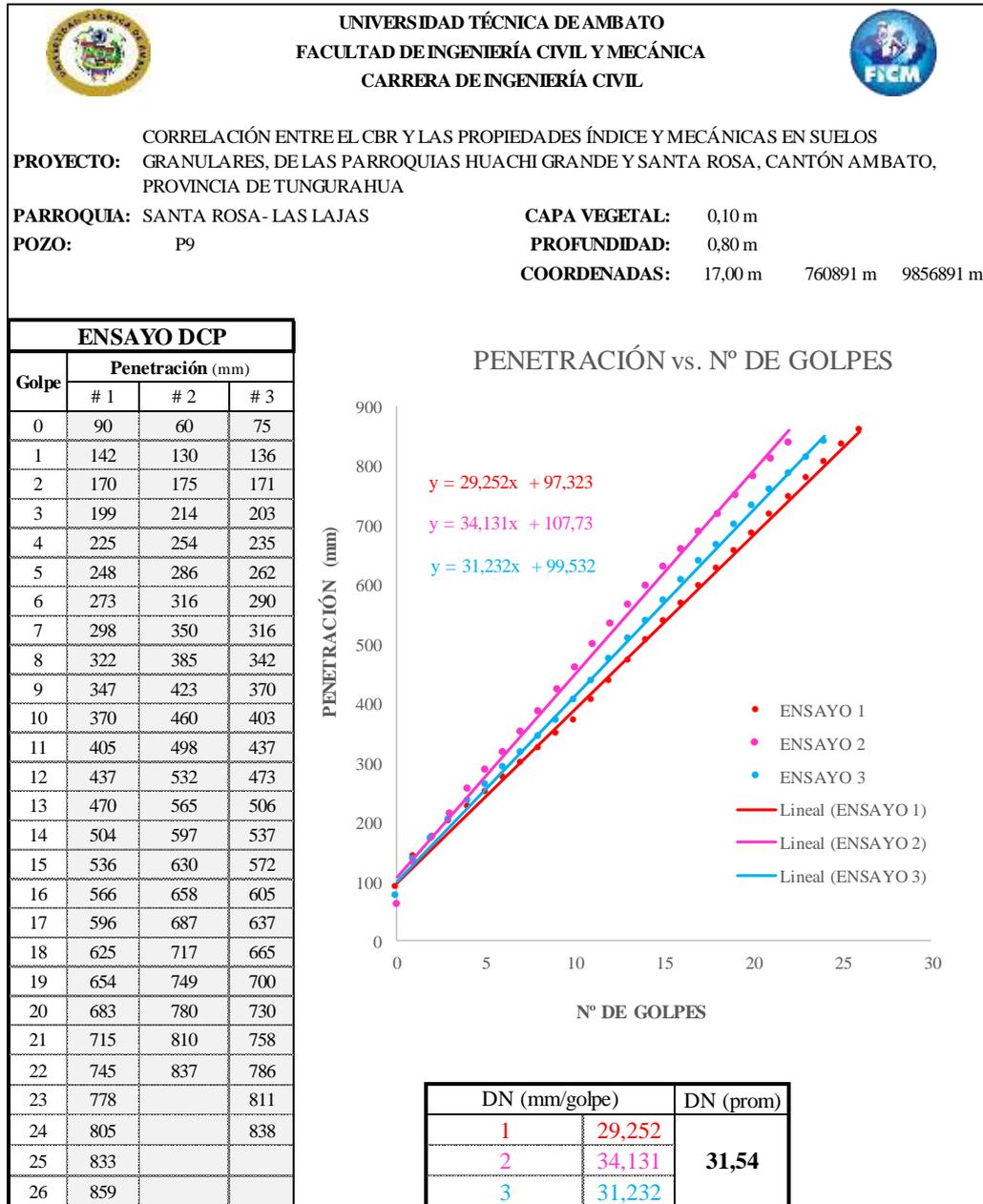
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 106. Gravedad Específica Pozo 10



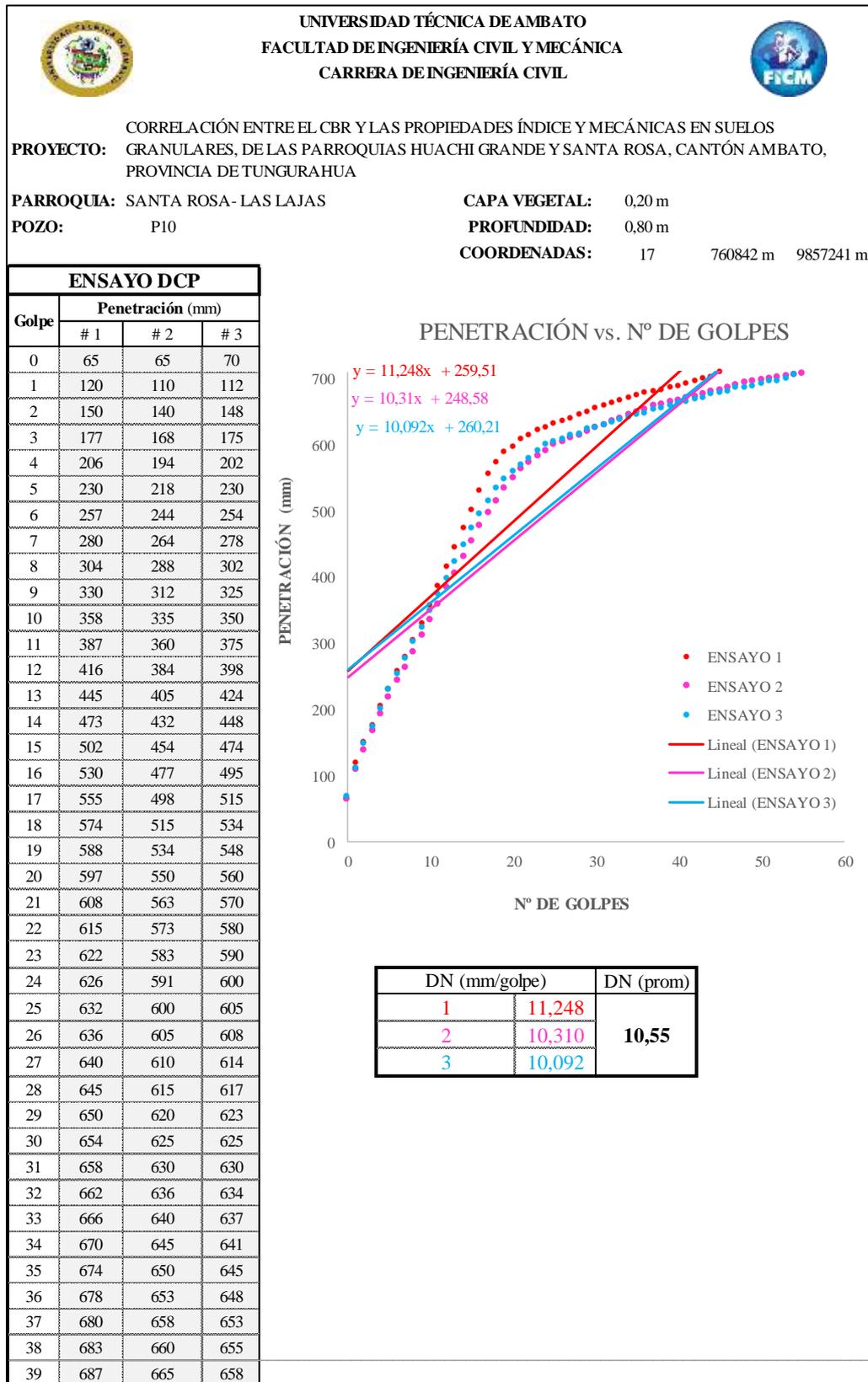
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 107. DCP Pozo 9



Fuente: Hugo Vilema Peña

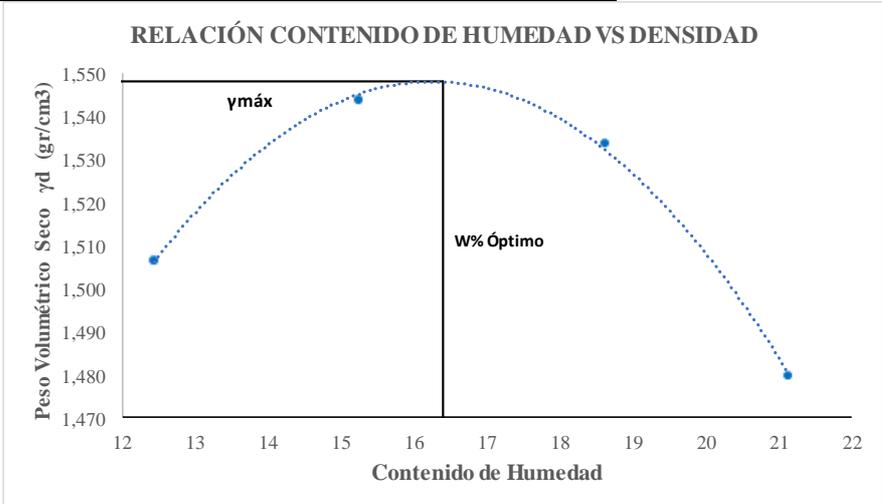
Tabla 108. DCP Pozo 10



40	689	667	662
41	692	670	665
42	695	672	668
43	700	677	671
44	702	680	676
45	710	683	678
46	711	686	681
47	713	690	686
48	715	693	686
49	716	695	688
50	717	697	692
51	719	700	695
52		702	695
53		704	700
54		705	705
55		708	

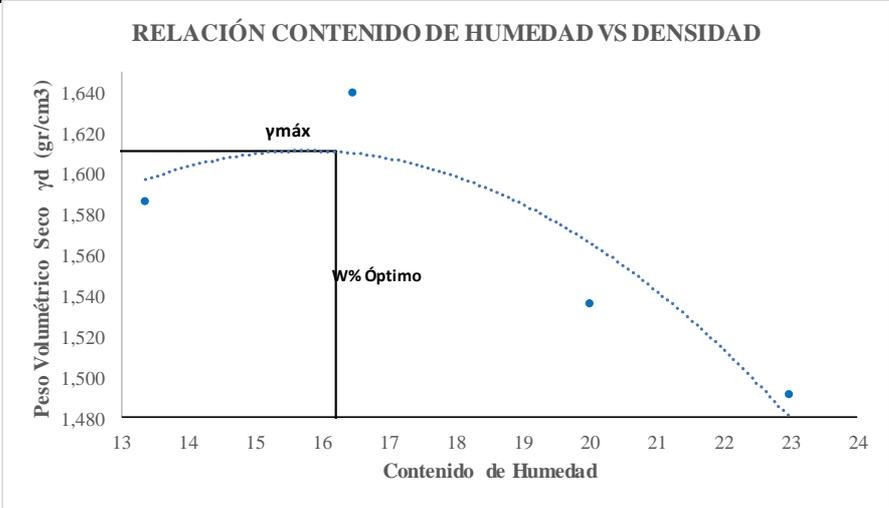
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 109. Proctor Pozo 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
 								
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>								
PARROQUIA:	SANTA ROSA- LAS LAJAS	CAPA VEGETAL:	0,10 m					
POZO:	P9	PROFUNDIDAD:	0,80 m					
		COORDENADAS:	17 760891 m 9856891 m					
ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78 cm <sup>3</sup>			
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h (cm)	15,22			
Peso Inicial	6000		6000		6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	12	15	18	21				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	17978	18176	18270	18207				
P. suelo humedo Wm (gr)	3945	4143	4237	4174				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,694	1,779	1,819	1,792				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	25 HV	26 HV	102	101	103	32	64	106
P. del recipiente (Wrec)	60,00	60,60	31,10	31,30	30,80	26,40	30,70	30,90
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	165,10	173,40	93,30	87,00	96,90	90,80	99,50	97,40
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	153,50	160,90	85,10	79,60	86,40	80,80	86,30	87,00
Peso solidos (Ws)	93,50	100,30	54,00	48,30	55,60	54,40	55,60	56,10
Peso del agua (Ww)	11,60	12,50	8,20	7,40	10,50	10,00	13,20	10,40
Cont. Humedad (w%)	12,41	12,46	15,19	15,32	18,88	18,38	23,74	18,54
Cont. Humedad promedio (w%)	12,43		15,25		18,63		21,14	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,507		1,544		1,534		1,480	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %			16,4					
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )			1,548					
<p style="text-align: center;"><b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b></p>  <p>The graph plots 'Peso Volumétrico Seco <math>\gamma_d</math> (gr/cm<sup>3</sup>)' on the y-axis (ranging from 1,470 to 1,550) against 'Contenido de Humedad' on the x-axis (ranging from 12 to 22). A blue dotted curve shows the relationship, with a peak at approximately 16.4% moisture content and a dry density of 1,548 gr/cm<sup>3</sup>.</p>								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 110. Proctor Pozo 10

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA- LAS LAJAS				<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m			
<b>POZO:</b> P10				<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m			
<b>COORDENADAS:</b> 17 760842 m 9857241 m							
<b>ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR</b>							
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	14033	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2328,78	cm <sup>3</sup>	
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h (cm)	15,22	h (cm)	12,8
Peso Inicial	6000		6000		6000		6000
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>							
Ensayo Número	1	2	3	4			
W% inicial añadida	11	14	17	20			
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18220	18479	18325	18303			
P. suelo húmedo Wm (gr)	4187	4446	4292	4270			
P. unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,798	1,909	1,843	1,834			
<b>2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD</b>							
Identificación del recipiente	96	77	97	28	66	45	05 MS 76
P. del recipiente (Wrec)	31,40	30,90	33,20	23,10	30,90	23,50	32,50 30,70
Rec+suelo húmedo (Wrec+Wm)	97,60	87,70	96,50	86,40	95,80	98,10	114,20 91,10
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	89,80	81,00	87,80	77,20	84,70	86,00	98,40 80,20
Peso sólidos (Ws)	58,40	50,10	54,60	54,10	53,80	62,50	65,90 49,50
Peso del agua (Ww)	7,80	6,70	8,70	9,20	11,10	12,10	15,80 10,90
Cont. Humedad (w%)	13,36	13,37	15,93	17,01	20,63	19,36	23,98 22,02
Cont. Humedad promedio (w%)	13,36		16,47		20,00		23,00
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,586		1,639		1,536		1,491
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>							
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %				<b>16,2</b>			
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )				<b>1,611</b>			
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b>							
							

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 111. Compactación CBR Pozo 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																											
 																															
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																															
PARROQUIA: SANTA ROSA- LAS LAJAS		CAPA VEGETAL: 0,10 m																													
POZO: P9		PROFUNDIDAD: 0,80 m																													
		COORDENADAS: 17 760891 m 9856891 m																													
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																															
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:		10 lb																										
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:		18"																										
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO		16,20																										
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																															
Identificación Molde	1		2		3																										
Número de Golpes	5		5		5																										
Número de Capas	56		27		11																										
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																									
P. Hum. + Molde (gr)	13753	13996	12429	12673	10111	10508																									
Peso Molde (gr)	9564	9564	8339	8339	6398	6398																									
P. Humedo (gr)	4189	4432	4090	4334	3713	4110																									
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2331,76	2298,37	2298,37	2313,69	2313,69																									
% Agua absorbida	5,80%		5,97%		10,69%																										
Espojamiento	0,00 plg		0,00 plg		0,04 plg																										
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,797	1,901	1,780	1,886	1,605	1,776																									
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,547	1,553	1,540	1,547	1,383	1,390																									
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,550		1,544		1,387																										
CONTENIDO DE HUMEDAD																															
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																			
	05 MS	07 MS	05 MS	07 MS	33 HV	34 HV	33 HV	34 HV	35 HV	36 HV	35 HV	36 HV																			
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	83,80	83,20	82,50	83,70	59,40	58,30	58,90	58,70	59,50	58,40	59,00	59,80																			
Rec+S. seco (Ws + Wm)	76,70	76,20	74,20	73,60	52,60	51,40	49,90	49,40	52,40	51,40	48,20	48,20																			
P. recipiente (Wrec)	32,60	32,80	32,60	32,80	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,80	7,90	7,80																			
Peso del agua (Ww)	7,10	7,00	8,30	10,10	6,80	6,90	9,00	9,30	7,10	7,00	10,80	11,60																			
Peso solidos (Ws)	44,10	43,40	41,60	40,80	44,70	43,60	42,00	41,60	44,50	43,60	40,30	40,40																			
Cont. Humedad (w%)	16,10	16,13	19,95	24,75	15,21	15,83	21,43	22,36	15,96	16,06	26,80	28,71																			
Cont. promedio (w%)	16,114		22,353		15,519		21,892		16,005		27,756																				
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,60</td> <td>12,60</td> <td>12,70</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,35</td> <td>15,24</td> <td>15,23</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>9564</td> <td>8339</td> <td>6398</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>185,06</td> <td>182,41</td> <td>182,18</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2331,76</td> <td>2298,37</td> <td>2313,69</td> </tr> </tbody> </table>				Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,60	12,60	12,70	Diametro (cm)	15,35	15,24	15,23	Peso (gr)	9564	8339	6398	Area (cm <sup>2</sup> )	185,06	182,41	182,18	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2298,37	2313,69
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																												
Altura (cm)	12,60	12,60	12,70																												
Diametro (cm)	15,35	15,24	15,23																												
Peso (gr)	9564	8339	6398																												
Area (cm <sup>2</sup> )	185,06	182,41	182,18																												
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2331,76	2298,37	2313,69																												

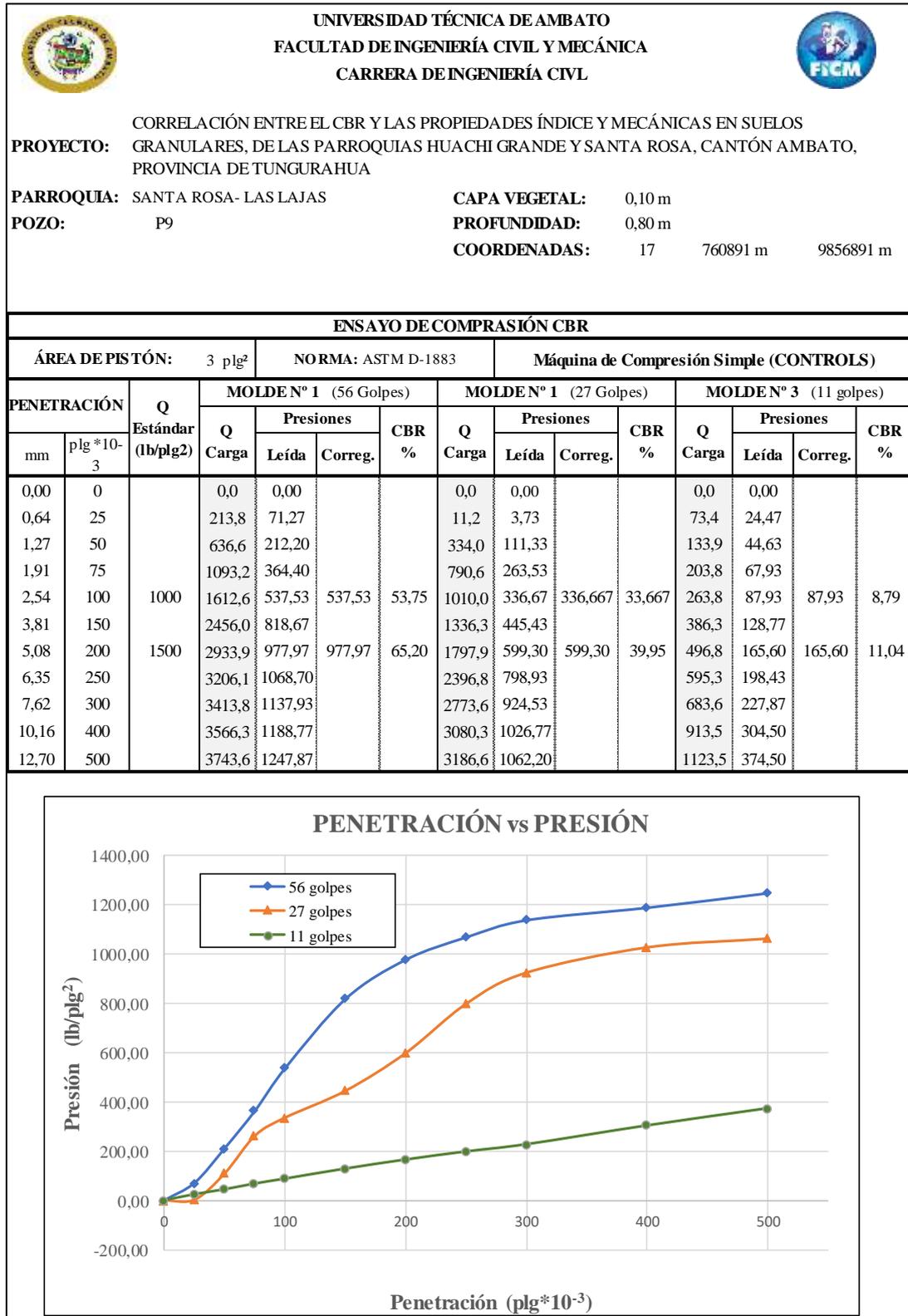
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 112. Compactación CBR Pozo 10

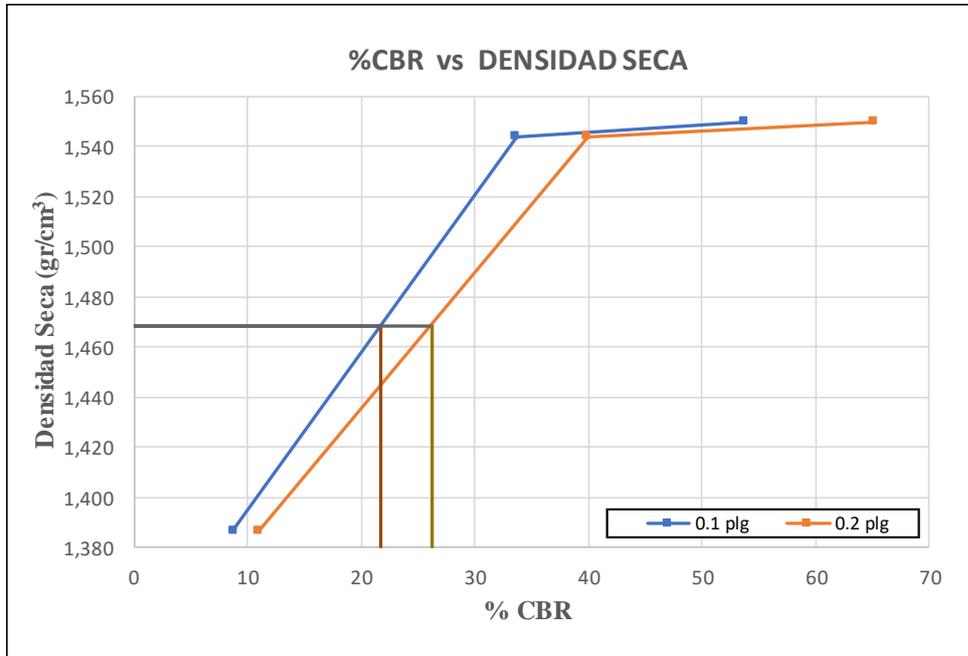
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																												
 																																
<p align="center">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																																
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																															
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- LAS LAJAS	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m																													
<b>POZO:</b>	P10	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m																													
		<b>COORDENADAS:</b>	17	760842 m	9857241 m																											
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																																
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO		<b>PESO DEL MARTILLO:</b>	10 lb																												
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180		<b>ALTURA DE CAIDA:</b>	18"																												
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000		<b>W % ÓPTIMO</b>	16,20																												
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																																
Identificación Molde	1		2		3																											
Número de Golpes	5		5		5																											
Número de Capas	56		27		11																											
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																										
P. Hum. + Molde (gr)	14200	14319	12093	12305	10803	11127																										
Peso Molde (gr)	9630	9630	8386	8386	6965	6965																										
P. Humedo (gr)	4570	4689	3707	3919	3838	4162																										
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2301,39	2301,39	2071,38	2071,38	2295,47	2295,47																										
% Agua absorbida	2,60%		5,72%		8,44%																											
Esponjamiento	0,04 plg		0,03 plg		0,02 plg																											
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,986	2,037	1,790	1,892	1,672	1,813																										
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,711	1,680	1,542	1,521	1,440	1,443																										
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,695		1,531		1,441																											
CONTENIDO DE HUMEDAD																																
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																				
	25 HV	26 HV	07 MS	66	23 HV	24 HV	32	96	21 HV	22 HV	97	76																				
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	113,40	113,00	87,30	82,70	121,30	118,00	79,30	83,40	190,80	173,50	87,70	86,60																				
Rec+S. seco (Ws + Wm)	106,00	105,70	77,80	73,50	113,20	110,10	69,40	72,70	173,20	157,80	76,00	75,70																				
P. recipiente (Wrec)	59,80	60,40	32,70	30,80	62,20	61,40	26,30	31,30	63,50	60,70	33,00	30,60																				
Peso del agua (Ww)	7,40	7,30	9,50	9,20	8,10	7,90	9,90	10,70	17,60	15,70	11,70	10,90																				
Peso solidos (Ws)	46,20	45,30	45,10	42,70	51,00	48,70	43,10	41,40	109,70	97,10	43,00	45,10																				
Cont. Humedad (w%)	16,02	16,11	21,06	21,55	15,88	16,22	22,97	25,85	16,04	16,17	27,21	24,17																				
Cont. promedio (w%)	16,066		21,305		16,052		24,408		16,106		25,689																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,60</td> <td>11,40</td> <td>12,60</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,25</td> <td>15,21</td> <td>15,23</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>9630</td> <td>8386</td> <td>6965</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>182,65</td> <td>181,70</td> <td>182,18</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2301,39</td> <td>2071,38</td> <td>2295,47</td> </tr> </tbody> </table>				Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,60	11,40	12,60	Diametro (cm)	15,25	15,21	15,23	Peso (gr)	9630	8386	6965	Area (cm <sup>2</sup> )	182,65	181,70	182,18	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2301,39	2071,38	2295,47				
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																													
Altura (cm)	12,60	11,40	12,60																													
Diametro (cm)	15,25	15,21	15,23																													
Peso (gr)	9630	8386	6965																													
Area (cm <sup>2</sup> )	182,65	181,70	182,18																													
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2301,39	2071,38	2295,47																													

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 113. Ensayo CBR Pozo 9



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	53,75	33,67	8,79
	0,2 plg	65,20	39,95	11,04
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,550	1,544	1,387

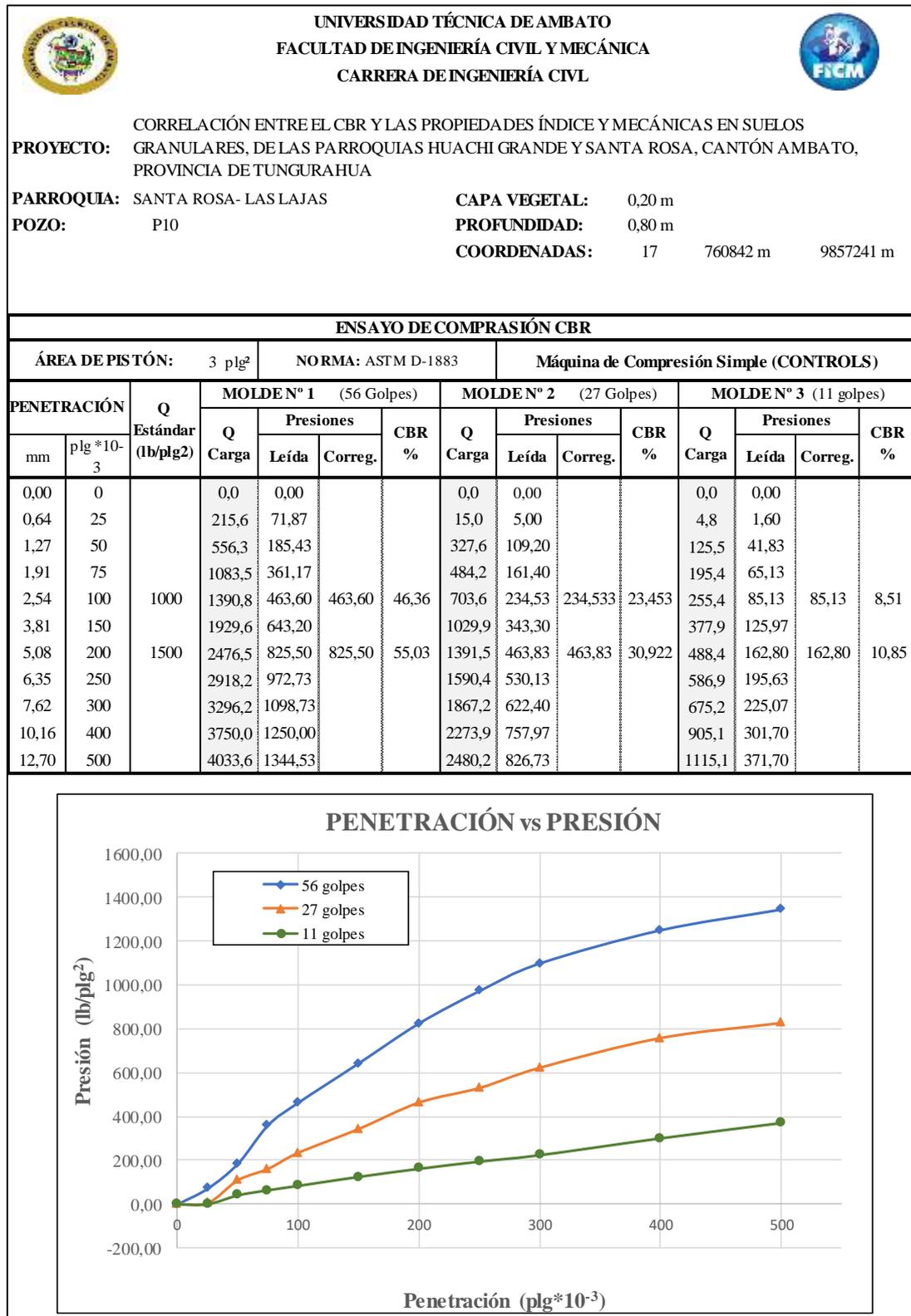


Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,546 gr/cm<sup>3</sup>

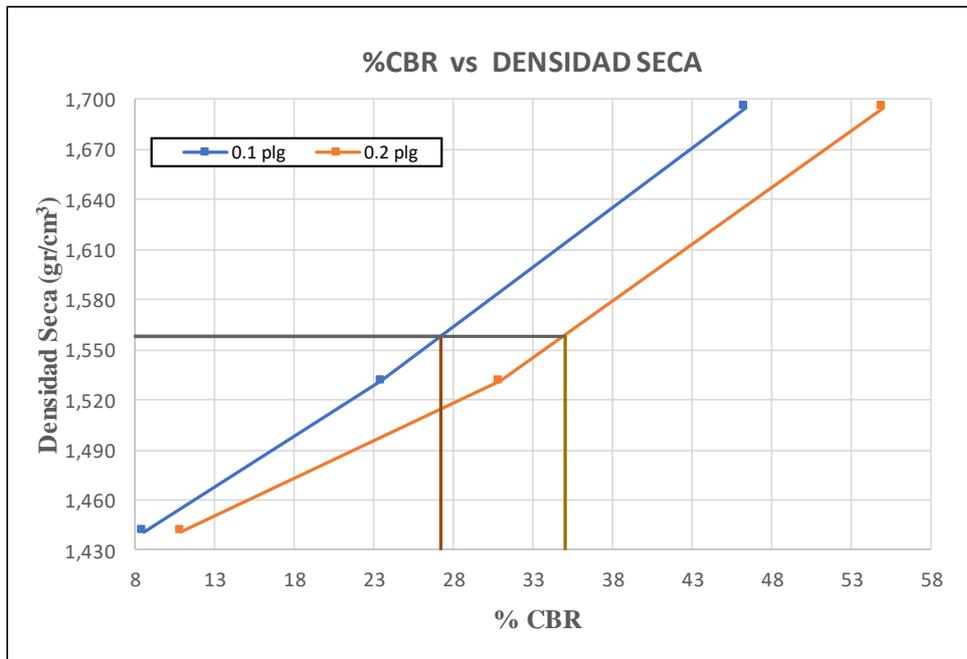
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,469	21,7	26,2	26,2

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 114. Ensayo CBR Pozo 10



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	46,36	23,45	8,51
	0,2 plg	55,03	30,92	10,85
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,695	1,531	1,441



Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,640 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,558	27,2	35,0	35

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Santa Rosa – El Tropezón

Tabla 115. Humedad in situ y Granulometría Pozo 11

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS		
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA- EL TROPEZÓN	<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m	
<b>POZO:</b> P11	<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m	
	<b>COORDENADAS:</b> 17      760236 m      9858396 m	

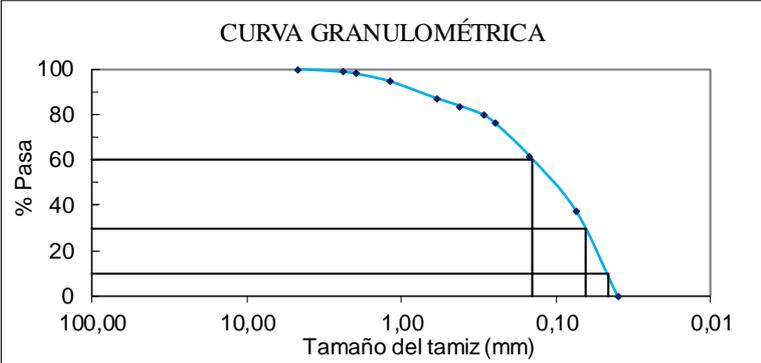
HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	30,20	81,80	77,80	8,40	
2	30,70	81,30	77,20	8,82	8,51
3	30,70	81,60	77,70	8,30	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>Retenido</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% RET.ACUM.	% PASA
		250				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		3,30	3,30	1,32	98,68
# 10	2,00		1,80	5,10	2,04	97,96
# 16	1,19		8,60	13,70	5,48	94,52
# 30	0,595		18,60	32,30	12,92	87,08
# 40	0,420		8,30	40,60	16,24	83,76
# 50	0,297		9,70	50,30	20,12	79,88
# 60	0,250		8,70	59,00	23,60	76,40
# 100	0,149		36,60	95,60	38,24	61,76
# 200	0,074		61,10	156,70	62,68	37,32
FUENTE			93,20	93,30	37,32	

CURVA GRANULOMÉTRICA



COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,046	Cu = D60 / D10	3,11	
D30 (mm)	0,065	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,64	
D60 (mm)	0,143	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,595	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
SUCS	0,00	62,68	37,32	SC
AASHTO	1,32	61,36	37,32	A-4 (1)

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 116. Humedad in situ y Granulometría Pozo 12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PROYECTO:</b>	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
<b>PARROQUIA:</b>	SANTA ROSA- EL TROPEZÓN	<b>CAPA VEGETAL:</b>	0,20 m		
<b>POZO:</b>	P12	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,80 m		
		<b>COORDENADAS:</b>	17	760852 m	9858813 m

HUMEDAD IN SITU					
Muestra	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% W <sub>nat.</sub>	% W <sub>PROM.</sub>
1	30,60	82,30	79,90	4,87	
2	30,70	84,10	81,60	4,91	4,97
3	31,00	82,10	79,60	5,14	

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ	mm	W <sub>INICIAL</sub> (gr)	W <sub>RETENIDO</sub> (gr)	W <sub>RET.ACUM.</sub>	% RET.ACUM	% PASA
		250				
# 4	4,76		0,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,38		0,70	0,70	0,28	99,72
# 10	2,00		0,60	1,30	0,52	99,48
# 16	1,19		3,70	5,00	2,00	98,00
# 30	0,595		11,70	16,70	6,68	93,32
# 40	0,420		7,20	23,90	9,56	90,44
# 50	0,297		11,10	35,00	14,00	86,00
# 60	0,250		7,60	42,60	17,04	82,96
# 100	0,149		39,00	81,60	32,64	67,36
# 200	0,074		73,30	154,90	61,96	38,04
FUENTE			94,80	95,10	38,04	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

COEFICIENTES DEL SUELO				
D10 (mm)	0,046	Cu = D60 / D10	2,72	
D30 (mm)	0,065	Cc = D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)	0,73	
D60 (mm)	0,125	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm	0,297	
Clasificación	GRAVA (% G)	ARENA (% S)	FINO (% F)	SUELO
<b>SUCS</b>	0,00	61,96	38,04	SC
<b>AASHTO</b>	0,28	61,68	38,04	A-4 (1)

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 117. Densidad de Campo Pozo 11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA - EL TROPEZÓN			<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m		
<b>POZO:</b> P11			<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m		
			<b>COORDENADAS:</b> 17 760236 m 9858396 m		
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda (Wm+Rec)		680,00		gr	
Peso de la funda (Rec)		4,80		gr	
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Rec-Rec)		675,20		gr	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6270,00		gr	
Peso final frasco + cono + arena		5230,00		gr	
Peso de arena en el cono		343,00		gr	
Peso arena en la perforación		697,00		gr	
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588		gr/cm <sup>3</sup>	
Volumen de la perforación (Vm)		438,92		cm <sup>3</sup>	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 67	# 77	-	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		81,80	81,60	gr	
Peso seco + recipiente Ws+rec		77,80	77,70	gr	
Peso recipiente Rec		30,20	30,70	gr	
Peso del agua Ww		4,00	3,90	gr	
Peso de los sólidos Ws		47,60	47,00	gr	
Contenido de humedad w%		8,40	8,30	%	
Contenido de humedad promedio W%		8,35		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		15,35	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va =		11,45	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw =		3,90	cm <sup>3</sup>	3,90	gr
Vs =		17,74	cm <sup>3</sup>	47,00	gr
Vm =		33,09	cm <sup>3</sup>	50,90	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)		1,538		gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad seca (γd)		1,420		gr/cm <sup>3</sup>	
Contenido de humedad w%		8,35		%	
Relación de vacíos e= Vv/Vs		0,87		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100		46,40		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100		25,40		%	
Grado de Saturación de aire Ga%		74,60		%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 118. Densidad de Campo Pozo 12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
 					
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS</p> <p><b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p> <p><b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA - EL TROPEZÓN      <b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m</p> <p><b>POZO:</b> P12      <b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m</p> <p><b>COORDENADAS:</b> 17      760852 m      9858813 m</p>					
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO					Unidades
Peso de la masa del suelo + funda	(Wm+Rec)	590,00			gr
Peso de la funda	(Rec)	4,80			gr
Peso de la masa del suelo	(Wm = Wm+Rec-Rec)	585,20			gr
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO					Unidades
Peso inicial frasco + cono + arena		6270,00			gr
Peso final frasco + cono + arena		5450,00			gr
Peso de arena en el cono		343,00			gr
Peso arena en la perforación		477,00			gr
Densidad de la Arena de Ottawa		1,588			gr/cm <sup>3</sup>
Volumen de la perforación	(Vm)	300,38			cm <sup>3</sup>
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					Unidades
Identificación del Recipiente		# 78	# 82	-	
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	82,30	84,10	gr	
Peso seco + recipiente	Ws+rec	79,90	81,60	gr	
Peso recipiente	Rec	30,60	30,70	gr	
Peso del agua	Ww	2,40	2,50	gr	
Peso de los sólidos	Ws	49,30	50,90	gr	
Contenido de humedad	w%	4,87	4,91	%	
Contenido de humedad promedio	W%	4,89		%	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos	Vv =	8,20	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va =	Wa =	5,70	cm <sup>3</sup>	0,00	gr
Vw =	Ww =	2,50	cm <sup>3</sup>	2,50	gr
Vs =	Ws =	19,21	cm <sup>3</sup>	50,90	gr
Vm =	Wm =	27,41	cm <sup>3</sup>	53,40	gr
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					Unidades
Peso Volumétrico del suelo ( $\gamma_m$ ) (densidad húmeda)		1,948			gr/cm <sup>3</sup>
Densidad seca ( $\gamma_d$ )		1,857			gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%		4,89			%
Relación de vacíos $e = Vv/Vs$		0,43			natural
Porosidad $n\% = Vv/Vm*100$		29,92			%
Grado de Saturación de agua $Gw\% = Ww/Vv*100$		30,48			%
Grado de Saturación de aire $Ga\%$		69,52			%

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 119. Límite Líquido y Plástico Pozo 11



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA- EL TROPEZÓN

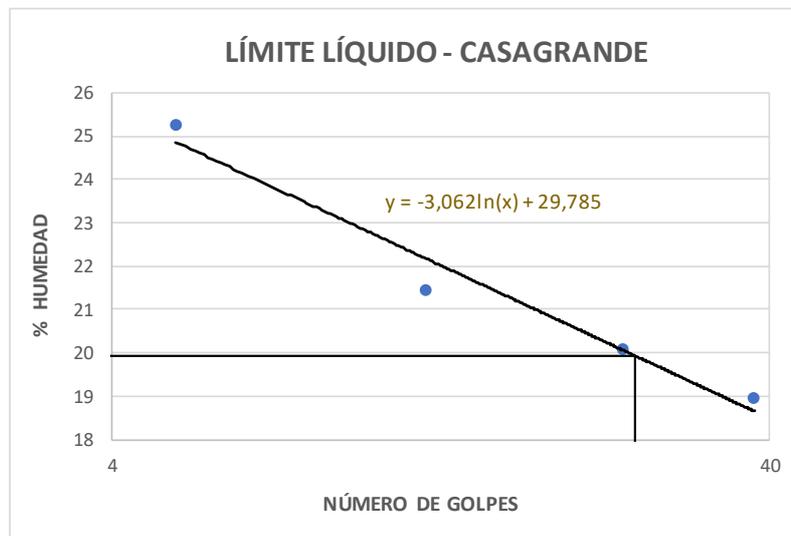
**CAPA VEGETAL:** 0,20 m

**POZO:** P11

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17 760236 m 9858396 m

LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
5	11,20	29,60	26,00	24,32	25,28
	11,40	26,80	23,60	26,23	
12	11,00	26,30	23,60	21,43	21,43
	10,80	26,10	23,40	21,43	
24	11,30	31,30	28,00	19,76	20,08
	11,40	29,10	26,10	20,41	
38	11,70	27,10	24,60	19,38	18,95
	11,00	23,80	21,80	18,52	
LÍMITE LÍQUIDO:				19,93	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 12	10,50	12,30	12,00	20,00
# 8	10,60	12,50	12,20	18,75
# 74	10,70	12,70	12,40	17,65
# 3	10,50	12,50	12,20	17,65
# 31	10,70	12,70	12,40	17,65
PROMEDIO W% (LP)				18,34
IP = LL - LP	1,59			

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 120. Límite Líquido y Plástico Pozo 12



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA - EL TROPEZÓN

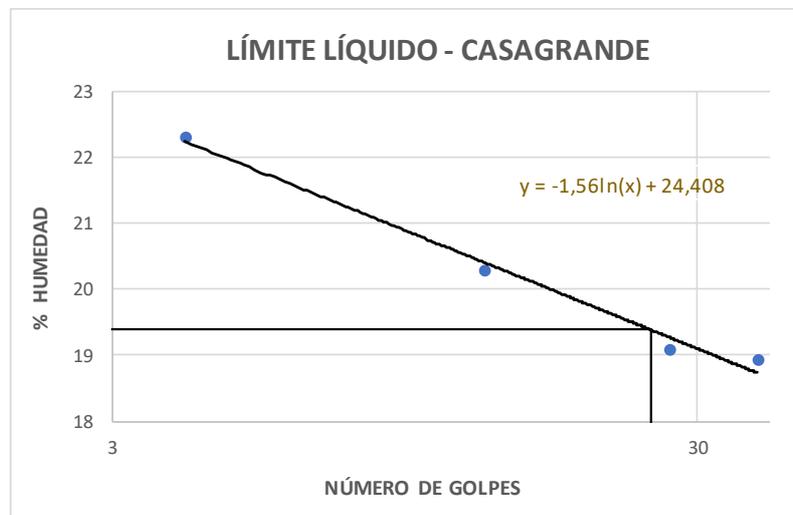
**CAPA VEGETAL:** 0,20 m

**POZO:** P12

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17 760852 m 9858813 m

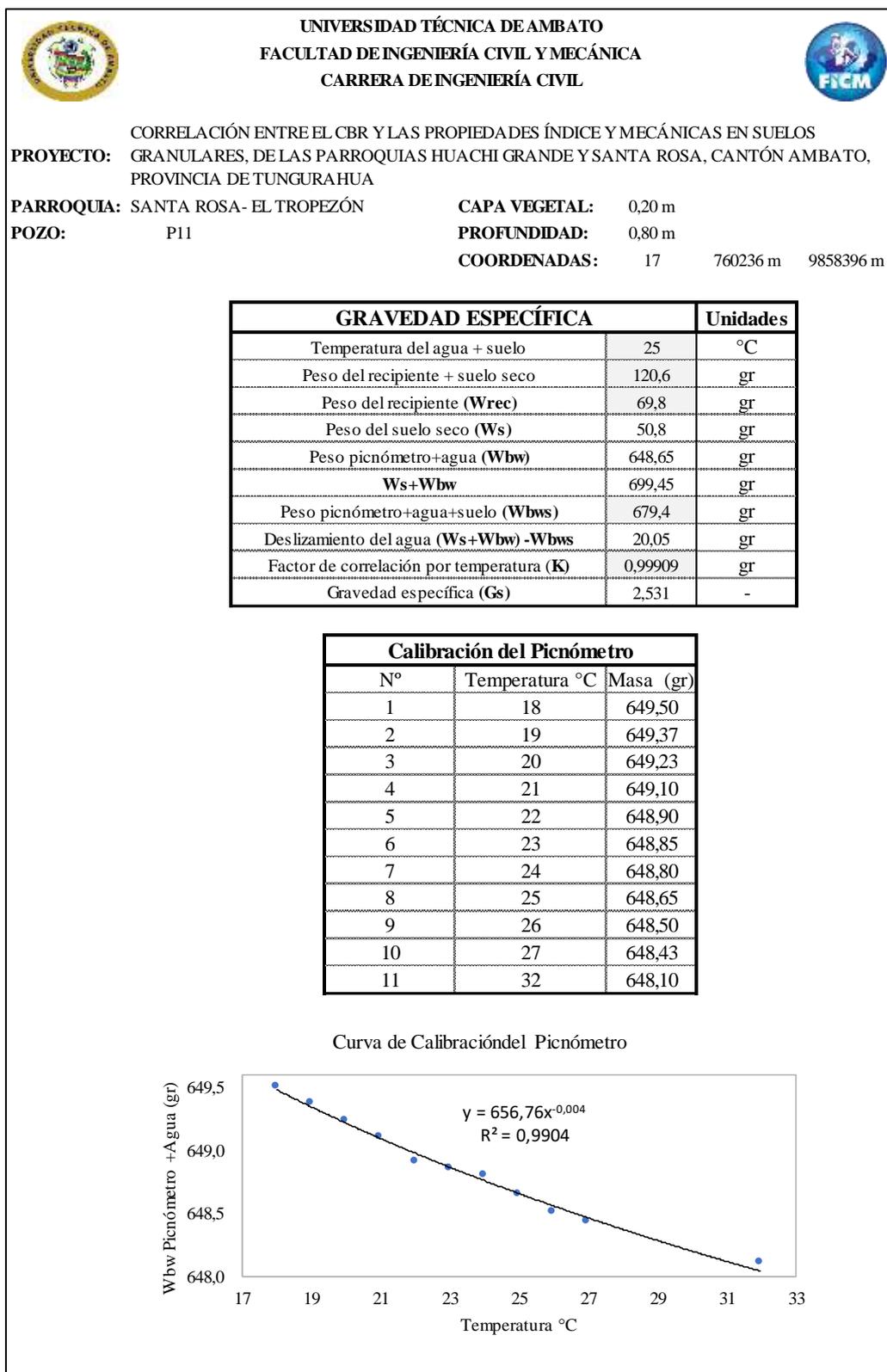
LÍMITE LÍQUIDO					
# GOLPES	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w	% W <sub>PROM</sub>
4	22,20	35,50	33,00	23,15	22,32
	22,70	35,70	33,40	21,50	
13	22,40	36,10	33,80	20,18	20,30
	22,40	33,60	31,70	20,43	
27	22,30	37,60	35,10	19,53	19,09
	21,50	35,50	33,30	18,64	
38	22,20	32,90	31,20	18,89	18,94
	22,50	31,90	30,40	18,99	
LÍMITE LÍQUIDO:				19,39	



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W <sub>REC.</sub> (gr)	W <sub>HÚM.</sub> (gr)	W <sub>SECO</sub> (gr)	% w
# 9	10,70	13,40	13,00	17,39
# 15	10,60	12,70	12,40	16,67
# 13	10,50	12,80	12,50	15,00
# 76	10,60	12,70	12,40	16,67
# 18	10,70	12,70	12,40	17,65
PROMEDIO W% (LP)				16,67
IP = LL - LP	2,71			

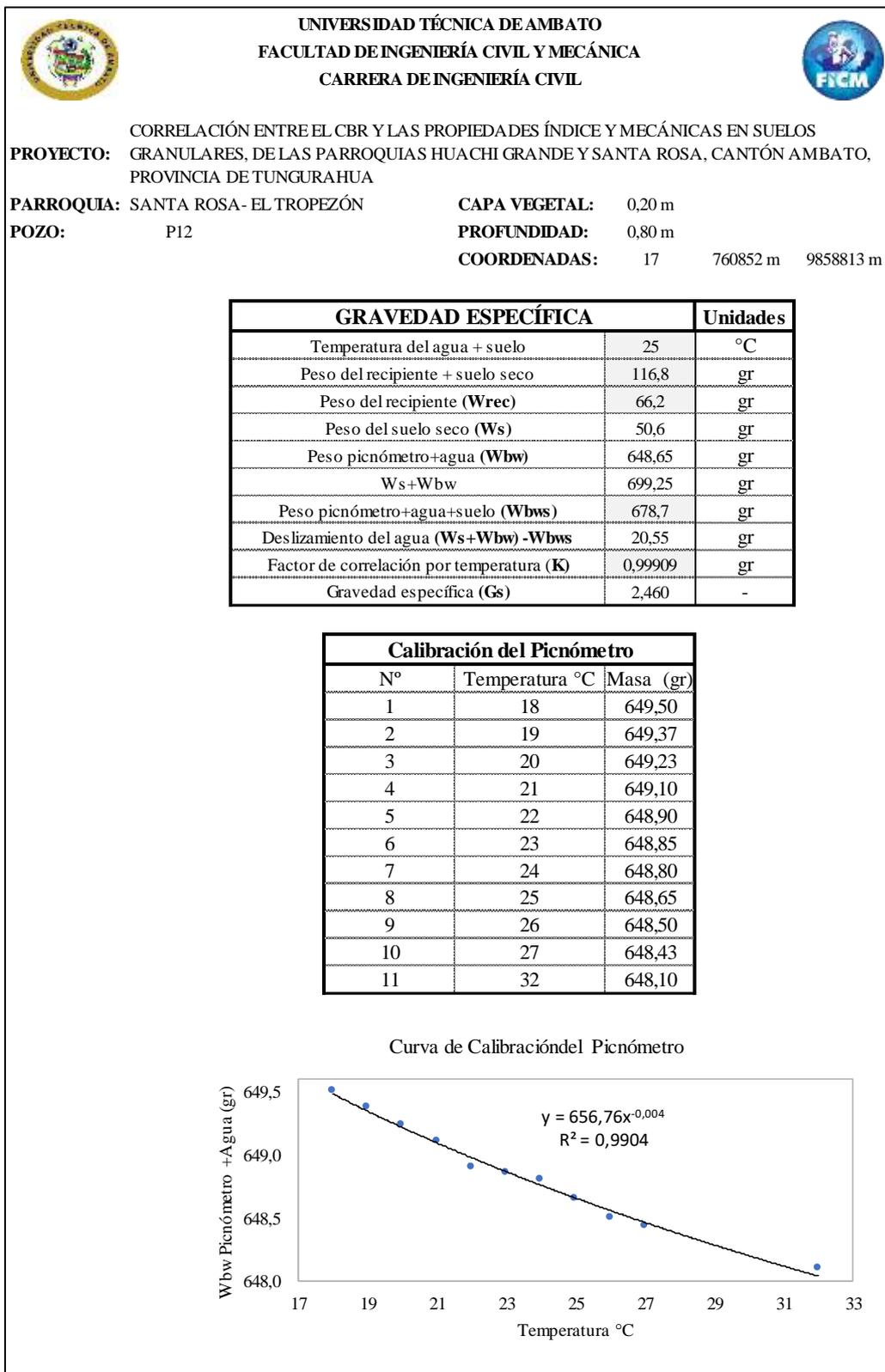
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 121. Gravedad Específica Pozo 11



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 122. Gravedad Específica Pozo 12



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 123. DCP Pozo 11



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA - EL TROPEZÓN

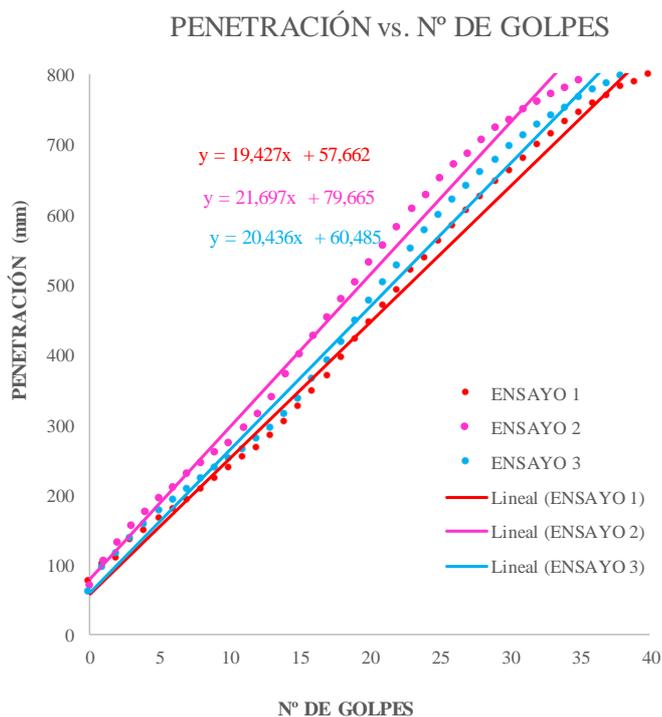
**CAPA VEGETAL:** 0,20 m

**POZO:** P11

**PROFUNDIDAD:** 0,80 m

**COORDENADAS:** 17,00 m 760236 m 9858396 m

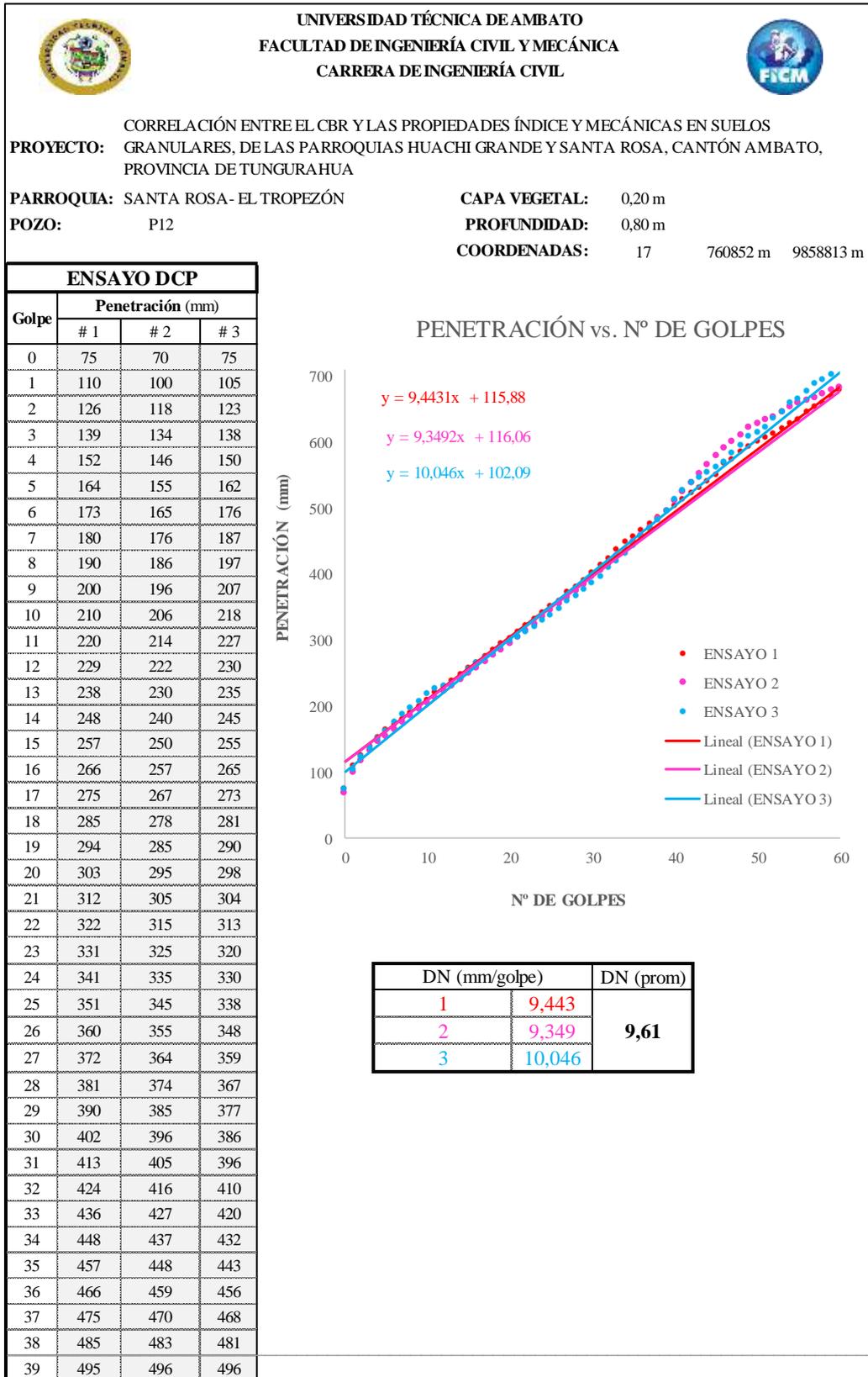
ENSAYO DCP			
Golpe	Penetración (mm)		
	# 1	# 2	# 3
0	75	70	60
1	98	105	95
2	108	130	115
3	135	154	136
4	148	175	156
5	164	194	175
6	178	210	190
7	190	230	207
8	206	245	222
9	221	260	236
10	236	273	250
11	252	295	263
12	265	315	278
13	282	338	294
14	302	370	314
15	324	400	336
16	345	426	364
17	368	451	390
18	395	477	416
19	420	503	446
20	445	530	475
21	468	555	500
22	490	581	525
23	518	606	550
24	535	626	575
25	560	650	598
26	582	670	620
27	603	686	639
28	624	705	658
29	645	723	676
30	661	734	695
31	677	750	710
32	697	760	725
33	713	770	740
34	730	780	751
35	743	790	765
36	756		776
37	768		786
38	780		795
39	788		
40	799		



DN (mm/golpe)	DN (prom)
1	20,52
2	
3	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 124. DCP Pozo 12



40	503	510	512
41	512	525	526
42	523	538	538
43	530	552	545
44	540	566	554
45	550	580	562
46	567	590	570
47	574	600	582
48	584	610	594
49	593	622	608
50	600	628	614
51	606	634	621
52	613	638	635
53	620	646	646
54	628	653	659
55	634	658	665
56	645	663	676
57	653	666	688
58	659	672	693
59	669	678	702
60	678	682	711
61	688	685	723
62	695	689	732
63	704	693	738
64	710	697	741
65	720	703	747
66	730	705	755
67	735	710	764
68	747	714	770
69	755	716	777
70	764	718	783
71	775	721	
72	785	724	
73	797	725	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 125. Proctor Pozo 11



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**PARROQUIA:** SANTA ROSA- EL TROPEZÓN      **CAPA VEGETAL:** 0,20 m  
**POZO:** P11      **PROFUNDIDAD:** 0,80 m  
**COORDENADAS:** 17 760236 m 9858396 m

### ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR

Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15535	gr
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2316,67	cm <sup>3</sup>
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	h(cm)	15,24	h (cm)
Peso Inicial	6000		6000		6000	

### 1. PROCESO DE COMPACTACIÓN

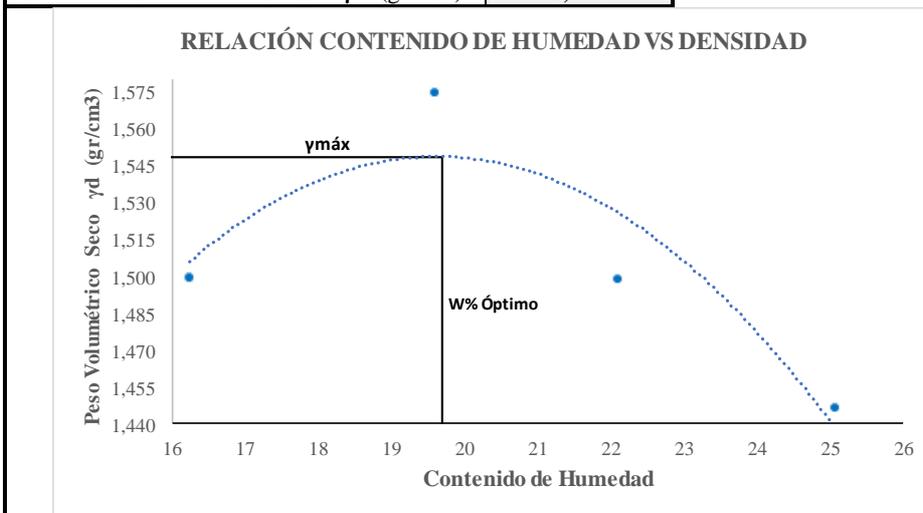
Ensayo Número	1	2	3	4
W% inicial añadida	9	12	15	18
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19572	19897	19774	19726
P. suelo humedo Wm (gr)	4037	4362	4239	4191
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,743	1,883	1,830	1,809

### 2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Identificación del recipiente	21 HV	22 HV	23 HV	24 HV	25 HV	26 HV	27 HV	28 HV
P. del recipiente (Wrec)	63,70	60,80	62,50	61,60	60,00	60,60	103,10	66,50
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	133,40	143,50	135,70	129,40	117,20	113,30	148,20	142,30
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	123,70	131,90	123,70	118,30	106,70	103,90	139,10	127,20
Peso solidos (Ws)	60,00	71,10	61,20	56,70	46,70	43,30	36,00	60,70
Peso del agua (Ww)	9,70	11,60	12,00	11,10	10,50	9,40	9,10	15,10
Cont. Humedad (w%)	16,17	16,32	19,61	19,58	22,48	21,71	25,28	24,88
Cont. Humedad promedio (w%)	16,24		19,59		22,10		25,08	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,499		1,574		1,499		1,446	

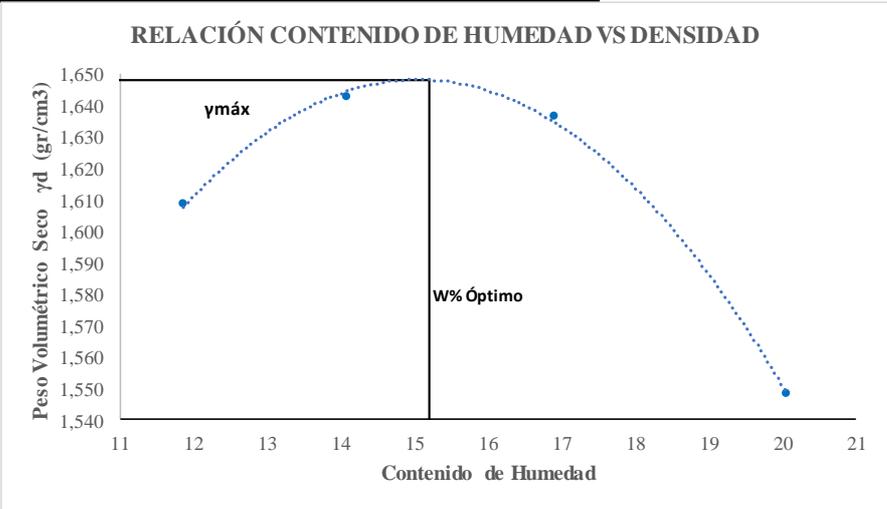
### 3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Cont. Humedad óptimo $\omega$ %	<b>19,7</b>
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1,548</b>



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 126. Proctor Pozo 12

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
<b>PROYECTO:</b> GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
<b>PARROQUIA:</b> SANTA ROSA - EL TROPEZÓN		<b>CAPA VEGETAL:</b> 0,20 m						
<b>POZO:</b> P12		<b>PROFUNDIDAD:</b> 0,80 m						
		<b>COORDENADAS:</b> 17 760852 m 9858813 m						
<b>ESPECIFICACIONES DEL PRÓCTOR</b>								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15535	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Vol. del Molde	2316,67	cm <sup>3</sup>		
Energía de Compactación (lb*ft/f)	55986	Norma:	AASHTO T-180	*(cm)	15,24	h (cm)	12,7	
Peso Inicial	6000		6000		6000		6000	
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Ensayo Número	1	2	3	4				
W% inicial añadida	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19703	19875	19966	19841				
P. suelo humedo Wm (gr)	4168	4340	4431	4306				
P. unitario humedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,799	1,873	1,913	1,859				
<b>2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD</b>								
Identificación del recipiente	27 HV	28 HV	21 HV	22 HV	23 HV	24 HV	25 HV	26 HV
P. del recipiente (Wrec)	103,10	66,50	63,70	60,80	62,50	61,60	60,00	60,60
Rec+suelo humedo (Wrec+Wm)	215,30	189,10	168,90	146,70	143,00	134,60	148,00	143,80
Rec+suelo seco (Ws + Wm)	202,50	177,10	155,80	136,20	131,20	124,20	133,20	130,00
Peso solidos (Ws)	99,40	110,60	92,10	75,40	68,70	62,60	73,20	69,40
Peso del agua (Ww)	12,80	12,00	13,10	10,50	11,80	10,40	14,80	13,80
Cont. Humedad (w%)	12,88	10,85	14,22	13,93	17,18	16,61	20,22	19,88
Cont. Humedad promedio (w%)	11,86		14,07		16,89		20,05	
P. Volumétrico Seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,608		1,642		1,636		1,548	
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>								
Cont. Humedad óptimo $\omega$ %				<b>15,2</b>				
Peso Volumétrico Seco máximo $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )				<b>1,648</b>				
<b>RELACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD</b>								
								

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 127. Compactación CBR Pozo 11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
 												
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>												
PARROQUIA: SANTA ROSA - EL TROPEZÓN		CAPA VEGETAL: 0,20 m										
POZO: P11		PROFUNDIDAD: 0,80 m										
		COORDENADAS: 17 760236 m 9858396 m										
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		W% ÓPTIMO	19,70								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
Identificación Molde	1		2		3							
Número de Golpes	5		5		5							
Número de Capas	56		27		11							
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo						
P. Hum. + Molde (gr)	12710	12821	12173	12446	12064	12460						
Peso Molde (gr)	8339	8339	8292	8292	8339	8339						
P. Humedo (gr)	4371	4482	3881	4154	3725	4121						
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2283,33	2283,33	2304,54	2304,54	2283,33	2283,33						
% Agua absorbida	2,54%		7,03%		10,63%							
Esponjamiento	0,00 plg		0,01 plg		0,01 plg							
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,914	1,963	1,684	1,803	1,631	1,805						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,601	1,577	1,410	1,404	1,366	1,377						
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,589		1,407		1,371							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
	32	76	32	76	25 HV	26 HV	25 HV	26 HV	32	76	32	76
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	79,10	84,40	76,90	81,70	111,00	111,10	111,00	111,00	77,00	81,00	76,80	81,80
Rec+S. seco (Ws + Wm)	70,50	75,60	66,80	71,90	102,70	102,90	100,00	99,60	68,80	72,80	65,10	69,50
P. recipiente (Wrec)	26,50	30,80	26,50	30,80	60,00	60,70	60,00	60,70	26,50	30,80	26,50	30,80
Peso del agua (Ww)	8,60	8,80	10,10	9,80	8,30	8,20	11,00	11,40	8,20	8,20	11,70	12,30
Peso solidos (Ws)	44,00	44,80	40,30	41,10	42,70	42,20	40,00	38,90	42,30	42,00	38,60	38,70
Cont. Humedad (w%)	19,55	19,64	25,06	23,84	19,44	19,43	27,50	29,31	19,39	19,52	30,31	31,78
Cont. promedio (w%)	19,594		24,453		19,435		28,403		19,455		31,047	
Datos				MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3						
Altura (cm)				12,70	12,70	12,70						
Diametro (cm)				15,13	15,20	15,13						
Peso (gr)				8339	8292	8339						
Area (cm <sup>2</sup> )				179,79	181,46	179,79						
Volumen (cm <sup>3</sup> )				2283,33	2304,54	2283,33						

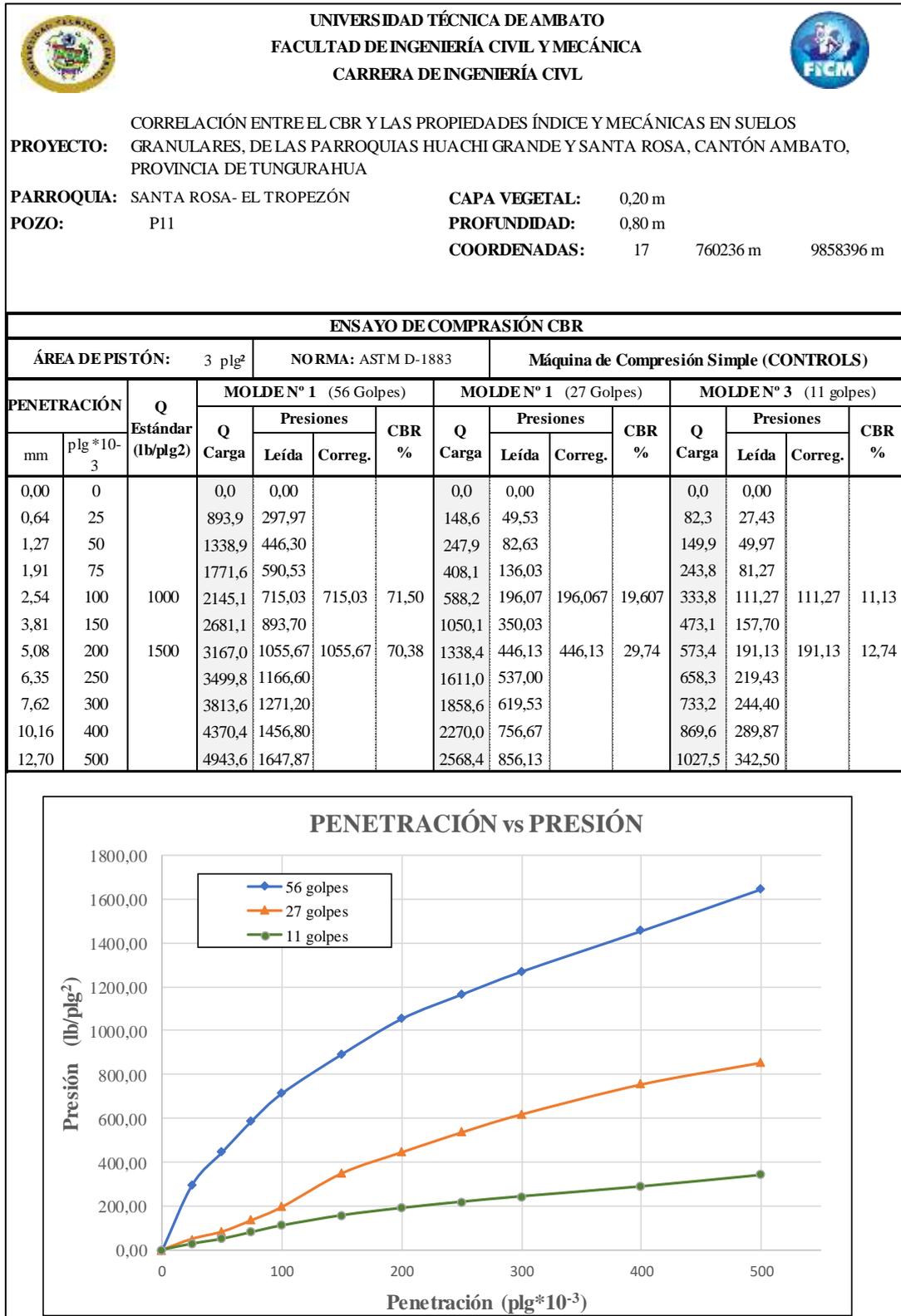
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 128. Compactación CBR Pozo 12

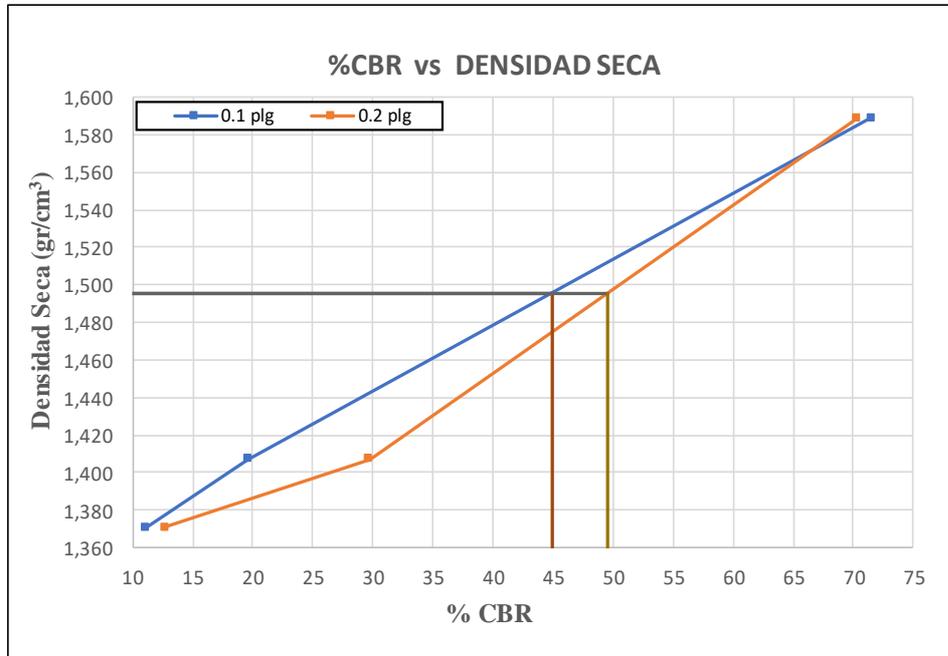
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																
 																																				
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>																																				
PARROQUIA: SANTA ROSA- EL TROPEZÓN		CAPA VEGETAL: 0,20 m																																		
POZO: P12		PROFUNDIDAD: 0,80 m																																		
		COORDENADAS: 17 760852 m 9858813 m																																		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO																																				
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb																																
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"																																
PESO MUESTRA (gr):	6000		W % ÓPTIMO	15,50																																
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.																																				
Identificación Molde	1		2		3																															
Número de Golpes	5		5		5																															
Número de Capas	56		27		11																															
Condiciones de la Muestra	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo	Antes del Remojo	Después del Remojo																														
P. Hum. + Molde (gr)	12792	12887	13320	13484	12513	12767																														
Peso Molde (gr)	8292	8292	9283	9283	8726	8726																														
P. Humedo (gr)	4500	4595	4037	4201	3787	4041																														
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2304,54	2298,37	2298,37	2331,76	2331,76																														
% Agua absorbida	2,11%		4,06%		6,71%																															
Esponjamiento	0,00 plg		0,02 plg		0,03 plg																															
Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,953	1,994	1,756	1,828	1,624	1,733																														
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,694	1,657	1,525	1,529	1,408	1,436																														
Den. Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,675		1,527		1,422																															
CONTENIDO DE HUMEDAD																																				
Identificación del recipiente	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo																								
	20	27	20	27	12	82	12	82	97	82 MS	97	82 MS																								
Rec+S. humedo (Wrec+Wm)	84,80	75,40	75,30	75,80	76,20	82,30	75,80	81,50	84,80	81,50	83,40	83,70																								
Rec+S. seco (Ws + Wm)	76,90	68,70	67,10	66,90	69,50	75,50	68,00	72,80	78,00	74,70	74,60	74,80																								
P. recipiente (Wrec)	24,70	25,20	24,70	25,20	25,30	30,90	25,30	30,90	33,20	30,70	33,20	30,70																								
Peso del agua (Ww)	7,90	6,70	8,20	8,90	6,70	6,80	7,80	8,70	6,80	6,80	8,80	8,90																								
Peso solidos (Ws)	52,20	43,50	42,40	41,70	44,20	44,60	42,70	41,90	44,80	44,00	41,40	44,10																								
Cont. Humedad (w%)	15,13	15,40	19,34	21,34	15,16	15,25	18,27	20,76	15,18	15,45	21,26	20,18																								
Cont. promedio (w%)	15,268		20,341		15,203		19,515		15,317		20,719																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>MOLDE 1</th> <th>MOLDE 2</th> <th>MOLDE 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura (cm)</td> <td>12,70</td> <td>12,60</td> <td>12,60</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>15,20</td> <td>15,24</td> <td>15,35</td> </tr> <tr> <td>Peso (gr)</td> <td>8292</td> <td>9283</td> <td>8726</td> </tr> <tr> <td>Area (cm<sup>2</sup>)</td> <td>181,46</td> <td>182,41</td> <td>185,06</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm<sup>3</sup>)</td> <td>2304,54</td> <td>2298,37</td> <td>2331,76</td> </tr> </tbody> </table>													Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3	Altura (cm)	12,70	12,60	12,60	Diametro (cm)	15,20	15,24	15,35	Peso (gr)	8292	9283	8726	Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	182,41	185,06	Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2298,37	2331,76
Datos	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3																																	
Altura (cm)	12,70	12,60	12,60																																	
Diametro (cm)	15,20	15,24	15,35																																	
Peso (gr)	8292	9283	8726																																	
Area (cm <sup>2</sup> )	181,46	182,41	185,06																																	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2304,54	2298,37	2331,76																																	

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 129. Ensayo CBR Pozo 11



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	71,50	19,61	11,13
	0,2 plg	70,38	29,74	12,74
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,589	1,407	1,371

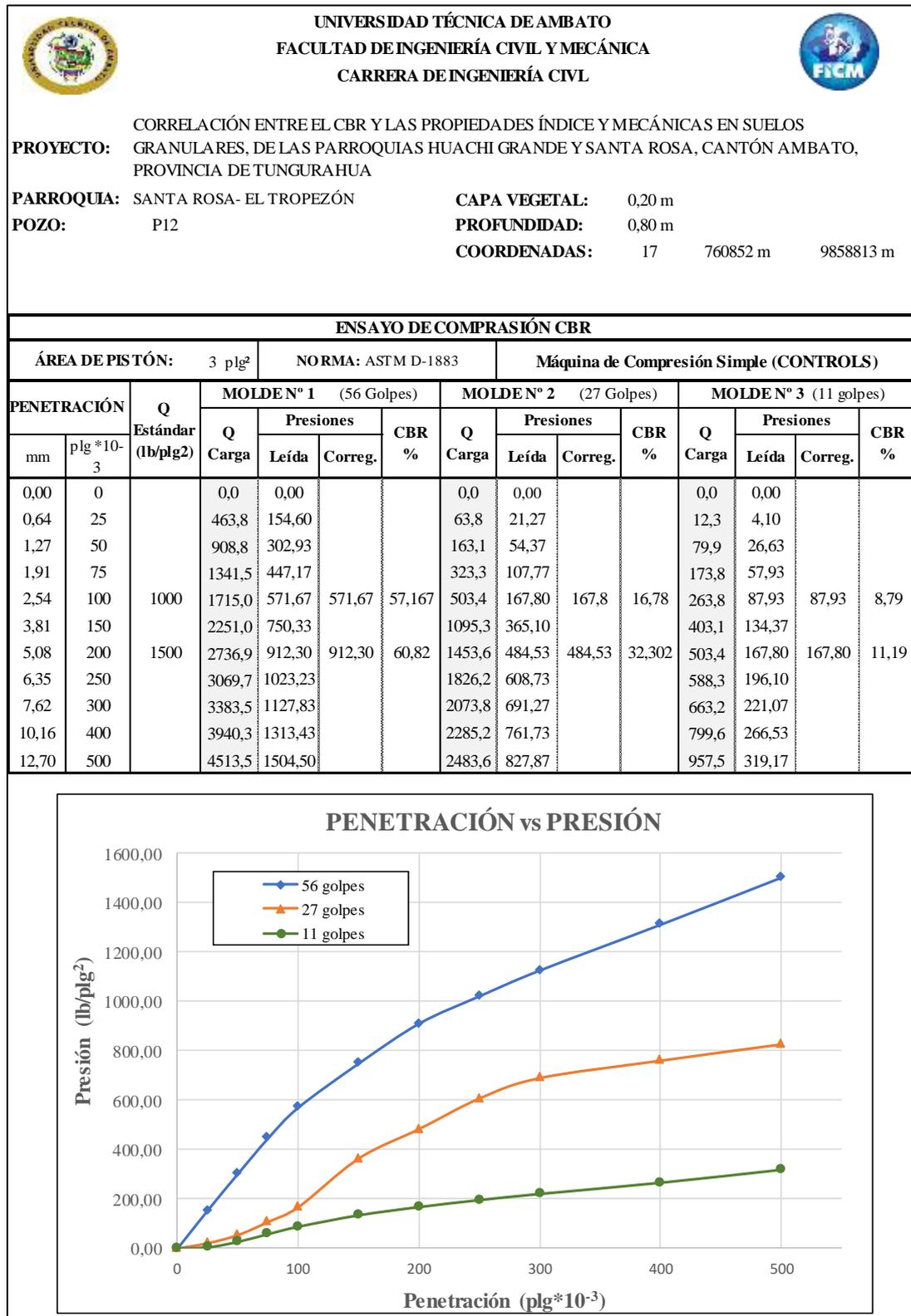


Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,574 gr/cm<sup>3</sup>

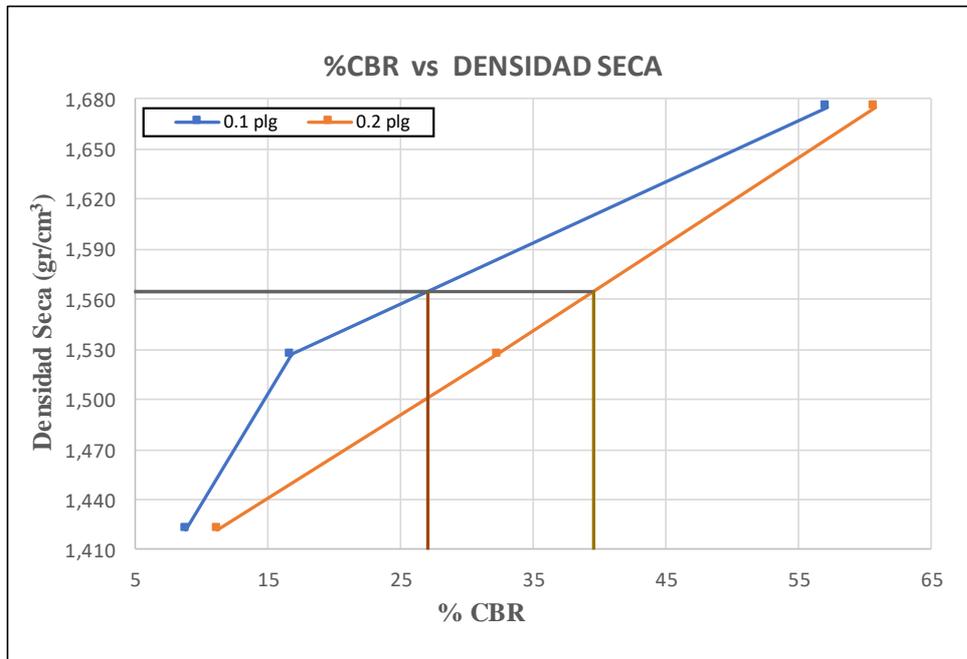
Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,495	45,0	49,5	49,5

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 130. Ensayo CBR Pozo 12



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1 plg	57,17	16,78	8,79
	0,2 plg	60,82	32,30	11,19
Densidad Seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,675	1,527	1,422



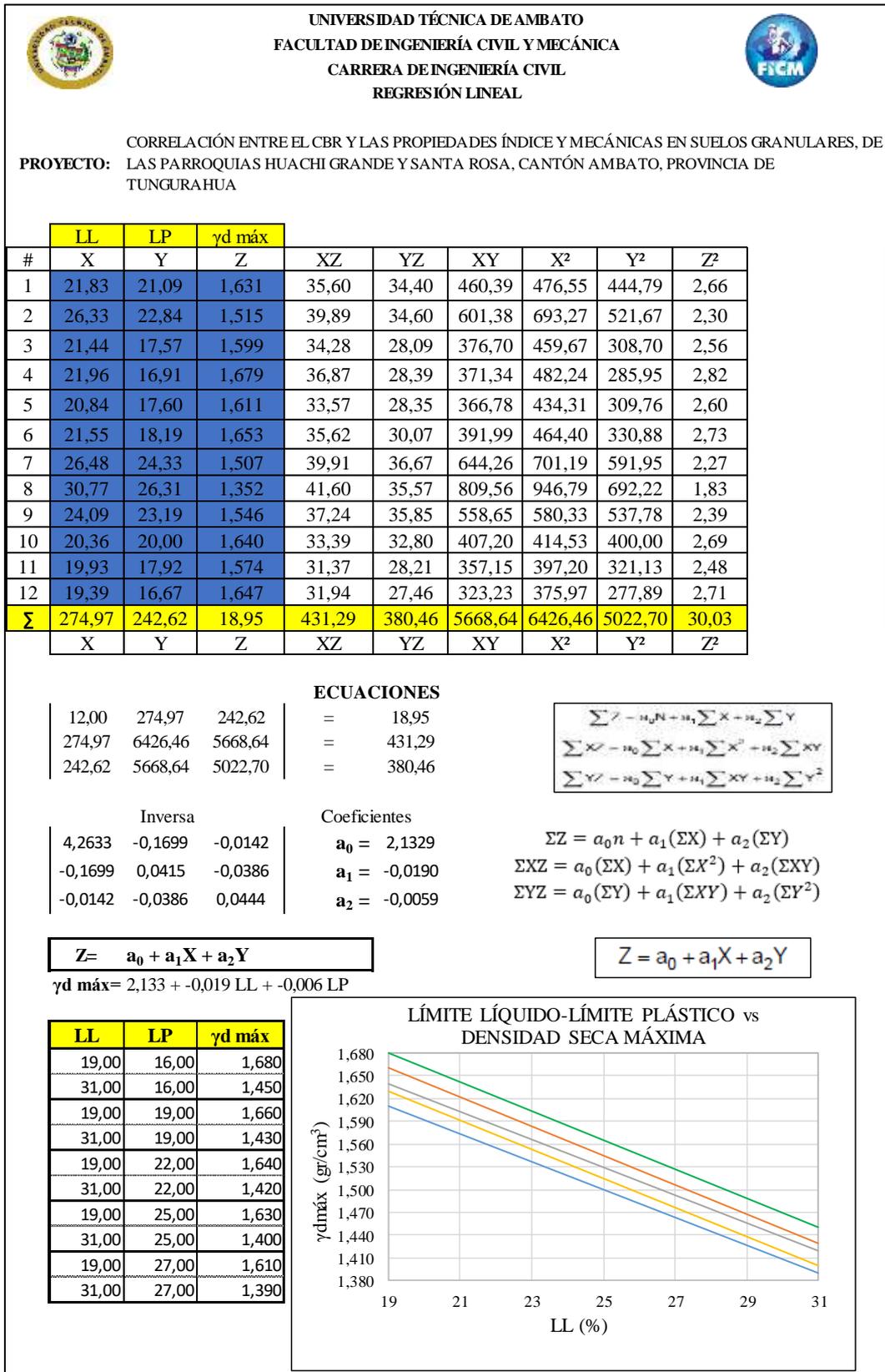
Densidad Seca Máx ( $\gamma_d$ ) = 1,647 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca máx	% CBR-0,1plg	% CBR-0,2plg	% CBR Mayor
95% $\gamma_d$ = 1,565	27,0	39,5	39,5

Fuente: Hugo Vilema Peña

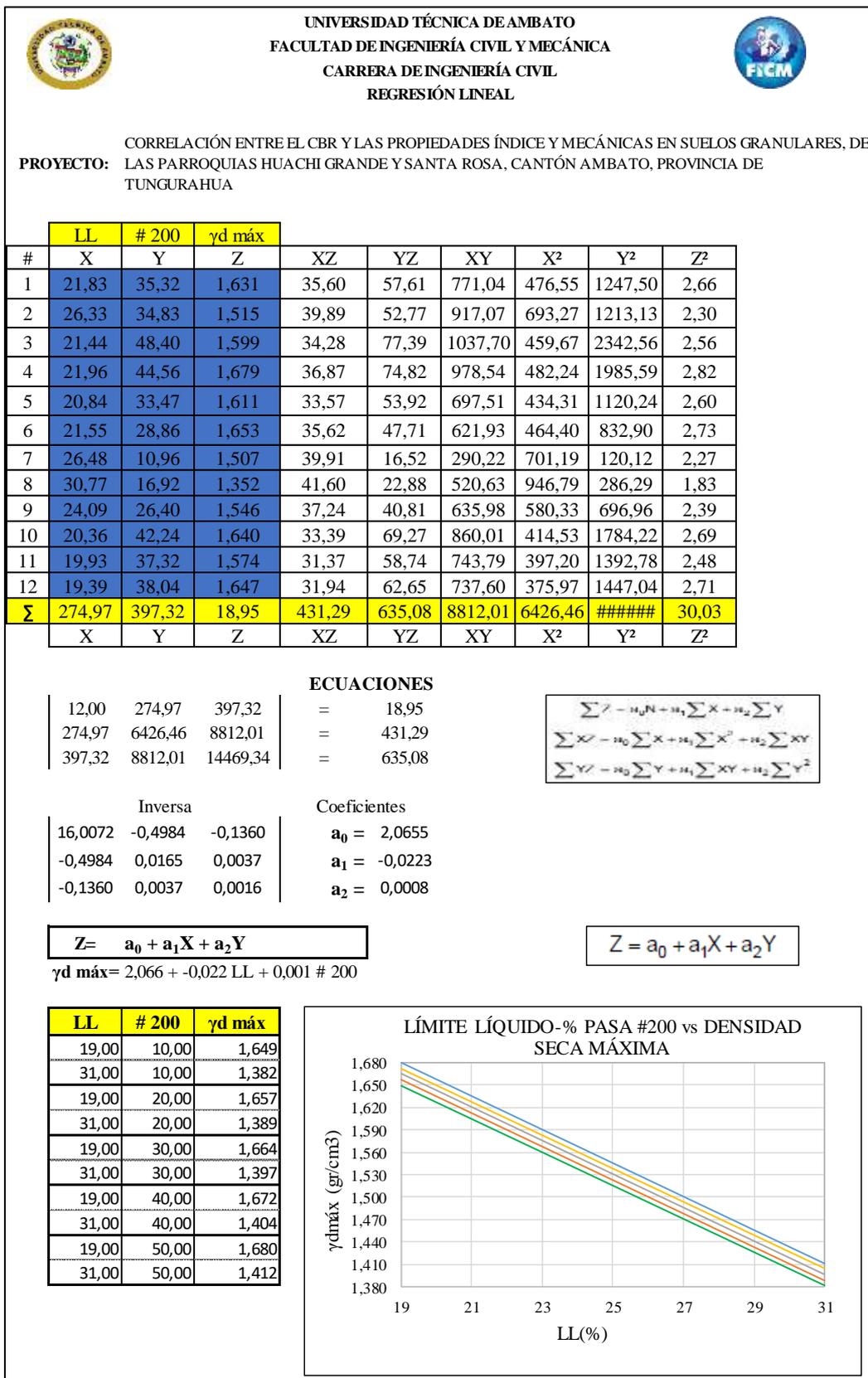
Anexo C (Correlaciones)

Tabla 131. Correlación Múltiple # 22



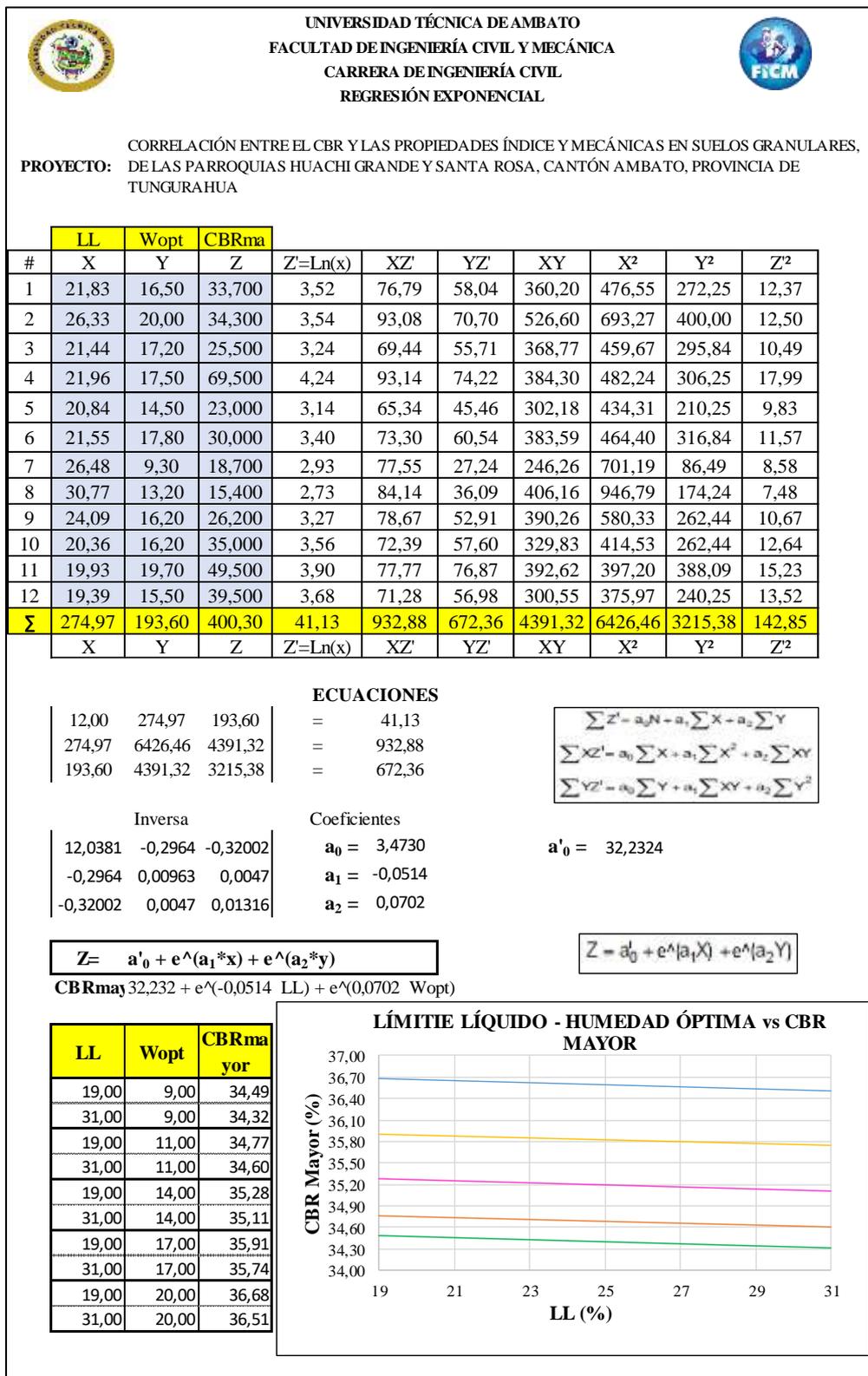
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 132. Correlación Múltiple # 23



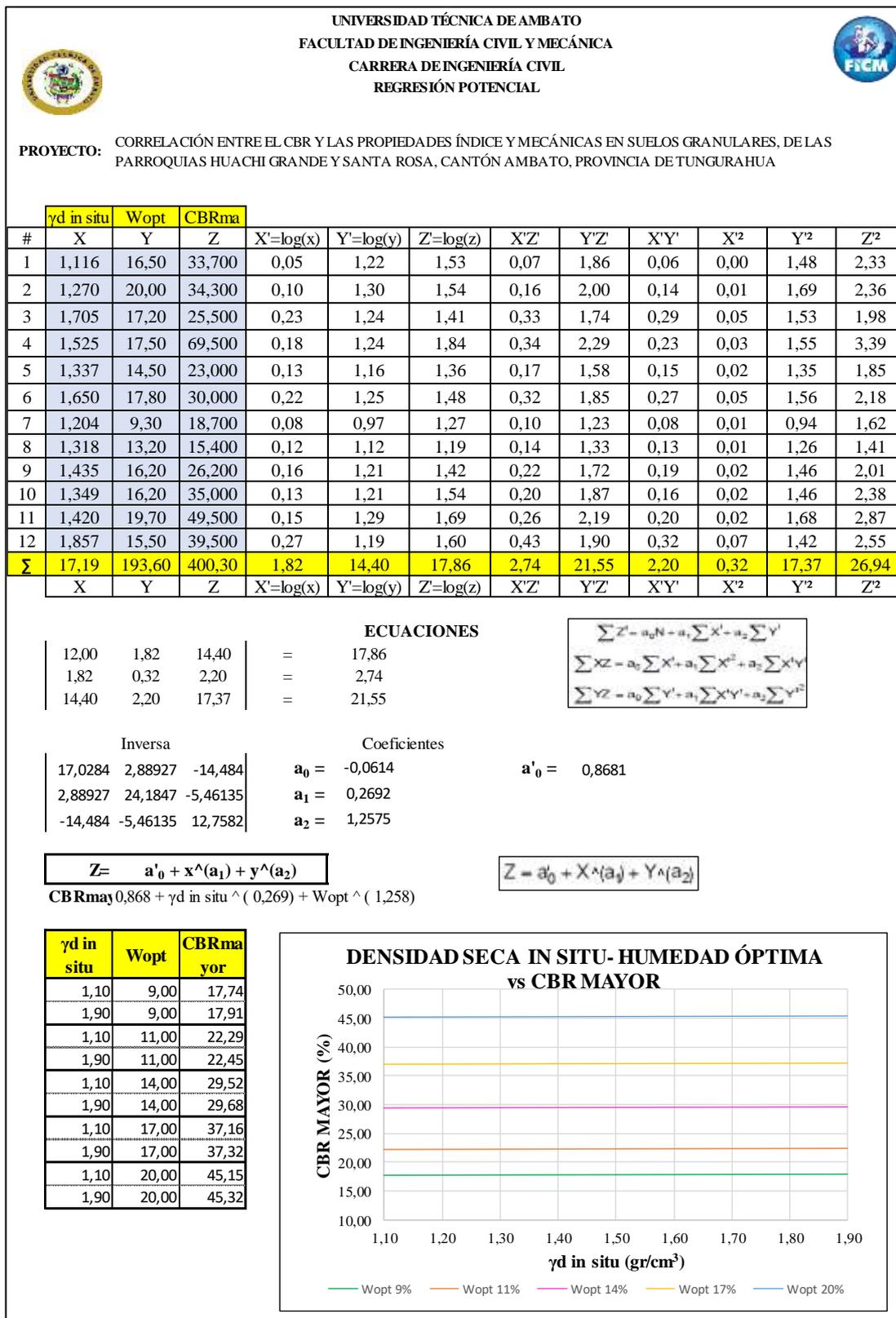
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 133. Correlación Múltiple # 24



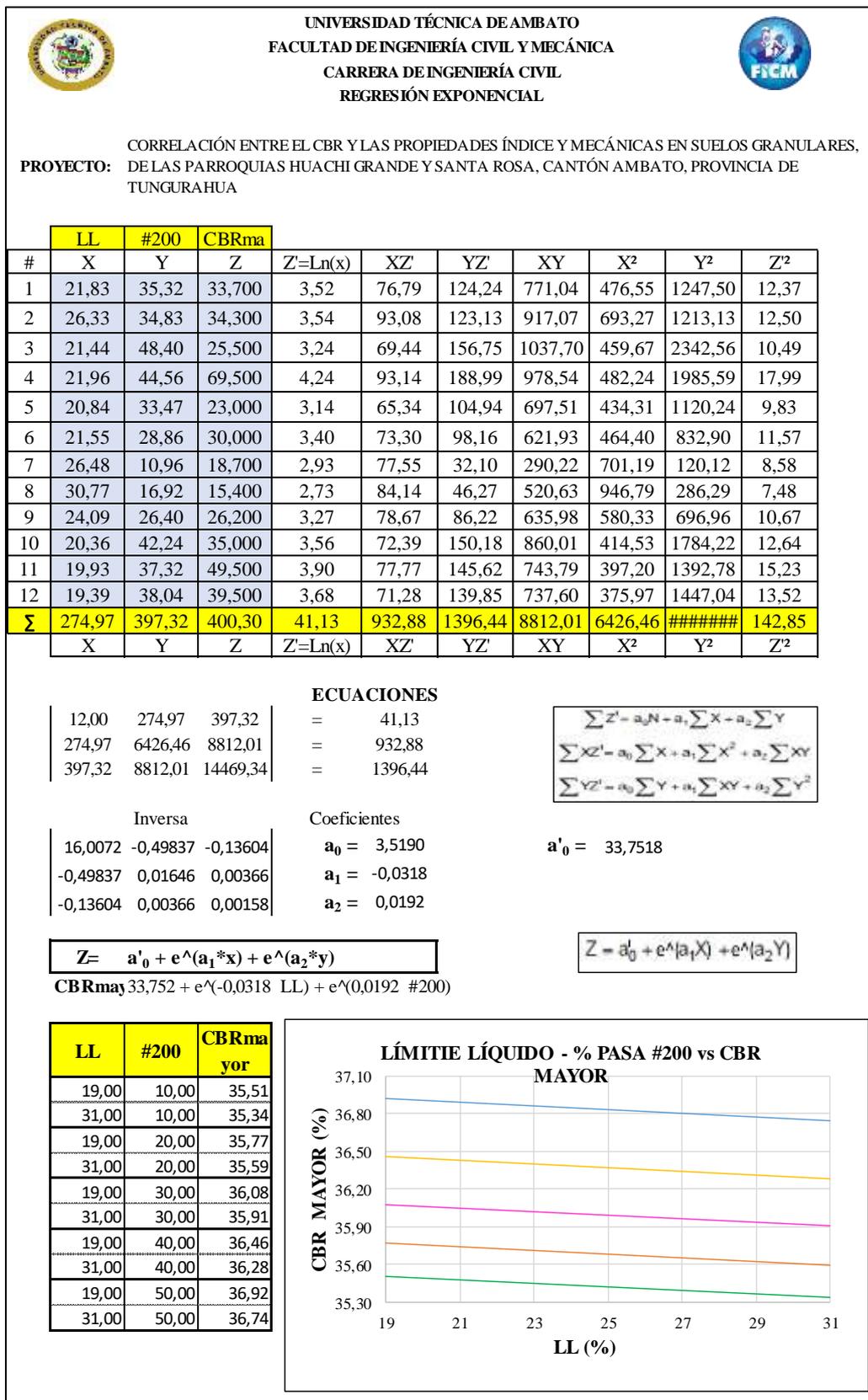
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 134. Correlación Múltiple # 25



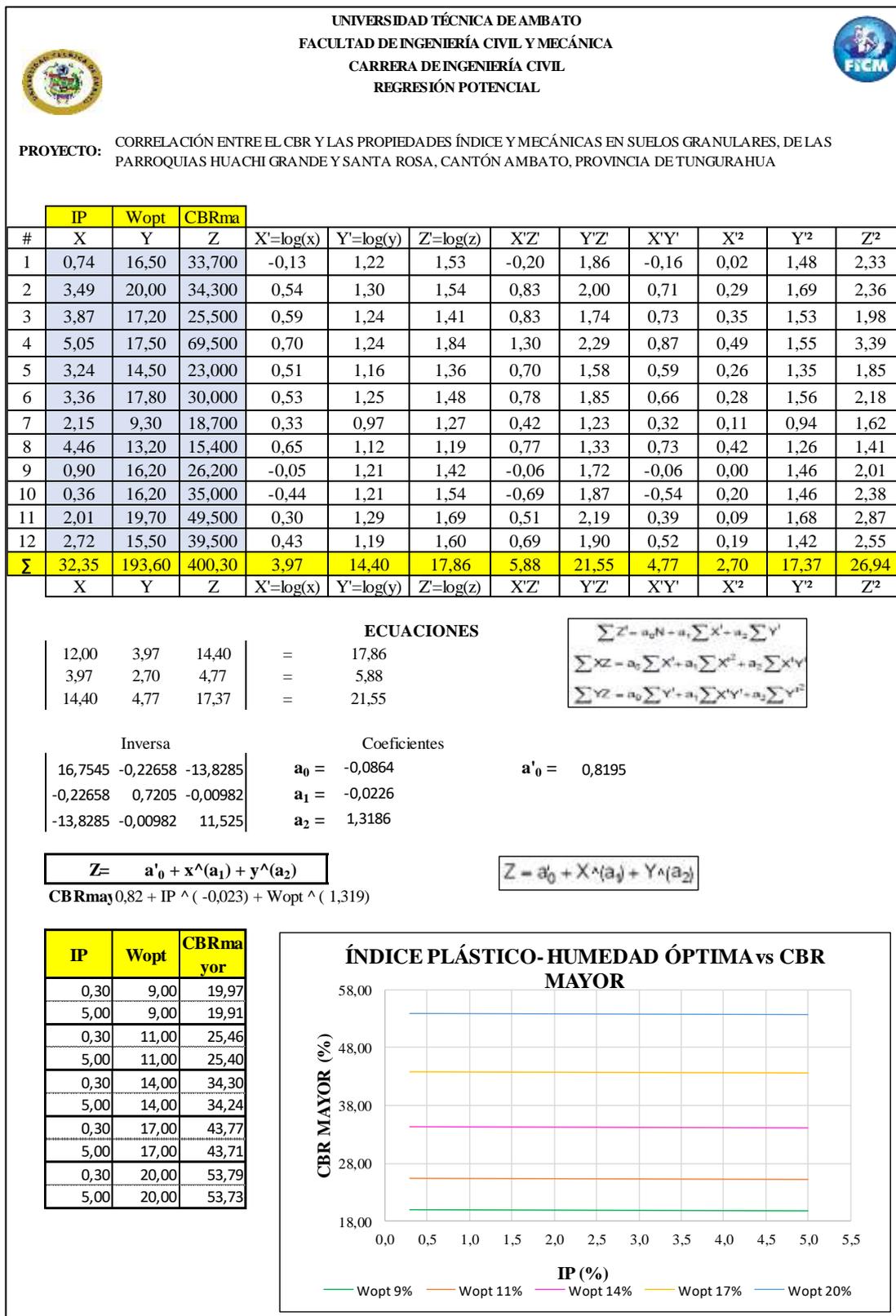
Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 135. Correlación Múltiple # 26



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 136. Correlación Múltiple # 27



Fuente: Hugo Vilema Peña

**Anexo D (Conteo de Tráfico)**

Figura 85. Conteo de tráfico Vía Santa Rosa – El Quinche



Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 137. Vehículos en el sentido Santa Rosa – El Quinche

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL
			2DA	2DB	3A	Σpesados	
6H00-6H15	8	2	3	0	0	3	13
6H15-6H30	8	1	3	0	0	3	12
6H30-6H45	8	1	2	0	0	2	11
6H45-7H00	5	1	0	0	0	0	6
7H00-7H15	11	2	1	0	0	1	14
7H15-7H30	13	1	2	0	0	2	16
7H30-7H45	13	1	2	0	0	2	16
7H45-8H00	10	2	1	0	0	1	13
8H00-8H15	14	2	3	0	0	3	19
8H15-8H30	11	1	0	0	1	1	13
8H30-8H45	11	1	2	0	0	2	14
8H45-9H00	20	1	1	0	0	1	22
9H00-9H15	6	1	0	0	0	0	7
9H15-9H30	14	1	1	0	0	1	16
9H30-9H45	17	1	0	0	0	0	18
9H45-10H00	39	1	3	1	0	4	44
10H00-10H15	10	1	1	0	0	1	12
10H15-10H30	12	1	0	0	0	0	13
10H30-10H45	11	1	4	0	0	4	16
10H45-11H00	10	1	4	0	0	4	15
11H00-11H15	5	1	1	0	0	1	7
11H15-11H30	17	0	1	0	0	1	18
11H30-11H45	8	1	0	0	0	0	9
11H45-12H00	9	0	6	1	0	7	16
12H00-12H15	14	1	2	0	0	2	17
12H15-12H30	21	2	1	2	0	3	26
12H30-12H45	18	0	2	0	0	2	20
12H45-13H00	17	3	2	1	0	3	23
13H00-13H15	18	1	0	1	0	1	20
13H15-13H30	21	3	5	3	0	8	32
13H30-13H45	10	2	0	0	0	0	12
13H45-14H00	7	1	2	2	0	4	12
14H00-14H15	9	0	0	1	0	1	10
14H15-14H30	22	2	1	0	0	1	25
14H30-14H45	12	1	3	0	0	3	16
14H45-15H00	12	0	1	1	0	2	14
15H00-15H15	17	1	4	0	0	4	22
15H15-15H30	10	1	2	0	0	2	13
15H30-15H45	14	0	0	1	0	1	15
15H45-16H00	14	1	2	0	0	2	17
16H00-16H15	12	1	2	0	0	2	15
16H15-16H30	16	1	2	0	0	2	19
16H30-16H45	14	1	0	1	0	1	16
16H45-17H00	11	0	2	0	0	2	13
17H00-17H15	13	1	0	1	0	1	15
17H15-17H30	16	1	2	0	0	2	19
17H30-17H45	16	1	4	0	0	4	21
17H45-18H00	16	1	2	1	0	3	20

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 138. Vehículos en el sentido El Quinche – Santa Rosa

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL
			2DA	2DB	3A	Σpesados	
6H00-6H15	14	0	0	0	0	0	14
6H15-6H30	21	2	3	0	0	3	26
6H30-6H45	14	1	2	0	0	2	17
6H45-7H00	3	1	3	0	0	3	7
7H00-7H15	14	1	0	0	0	0	15
7H15-7H30	14	2	1	0	0	1	17
7H30-7H45	16	1	4	0	0	4	21
7H45-8H00	16	1	0	0	0	0	17
8H00-8H15	19	1	0	0	0	0	20
8H15-8H30	23	1	0	1	0	1	25
8H30-8H45	15	2	2	1	0	3	20
8H45-9H00	14	1	2	0	0	2	17
9H00-9H15	19	1	1	0	0	1	21
9H15-9H30	11	1	1	0	0	1	13
9H30-9H45	18	2	0	0	0	0	20
9H45-10H00	11	2	1	0	0	1	14
10H00-10H15	12	1	0	0	0	0	13
10H15-10H30	12	3	0	1	0	1	16
10H30-10H45	9	1	1	0	0	1	11
10H45-11H00	10	1	1	0	0	1	12
11H00-11H15	1	0	1	0	0	1	2
11H15-11H30	10	0	1	0	0	1	11
11H30-11H45	11	0	3	1	0	4	15
11H45-12H00	12	1	2	0	0	2	15
12H00-12H15	18	1	1	0	0	1	20
12H15-12H30	14	1	3	1	0	4	19
12H30-12H45	13	2	2	0	0	2	17
12H45-13H00	13	1	1	0	0	1	15
13H00-13H15	5	0	0	0	0	0	5
13H15-13H30	13	3	1	1	0	2	18
13H30-13H45	6	2	1	1	0	2	10
13H45-14H00	12	0	0	0	0	0	12
14H00-14H15	12	1	0	0	0	0	13
14H15-14H30	15	4	3	0	1	4	23
14H30-14H45	12	0	1	1	0	2	14
14H45-15H00	16	1	0	1	0	1	18
15H00-15H15	15	1	2	0	0	2	18
15H15-15H30	12	1	1	0	0	1	14
15H30-15H45	11	0	0	1	0	1	12
15H45-16H00	19	1	1	0	0	1	21
16H00-16H15	12	2	0	0	0	0	14
16H15-16H30	16	2	0	0	0	0	18
16H30-16H45	17	0	0	0	0	0	17
16H45-17H00	17	1	0	0	0	0	18
17H00-17H15	17	0	0	0	0	0	17
17H15-17H30	15	1	0	0	0	0	16
17H30-17H45	17	1	0	0	0	0	18
17H45-18H00	18	1	0	0	0	0	19

Fuente: Hugo Vilema Peña

Tabla 139. Vehículos en la vía Santa Rosa – Quinche (ambos sentidos)

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	3A	∑Pesados		
6H00-6H15	22	2	3	0	0	3	27	
6H15-6H30	29	3	6	0	0	6	38	
6H30-6H45	22	2	4	0	0	4	28	
6H45-7H00	8	2	3	0	0	3	13	106
7H00-7H15	25	3	1	0	0	1	29	108
7H15-7H30	27	3	3	0	0	3	33	103
7H30-7H45	29	2	6	0	0	6	37	112
7H45-8H00	26	3	1	0	0	1	30	129
8H00-8H15	33	3	3	0	0	3	39	139
8H15-8H30	34	2	0	1	1	2	38	144
8H30-8H45	26	3	4	1	0	5	34	141
8H45-9H00	34	2	3	0	0	3	39	150
9H00-9H15	25	2	1	0	0	1	28	139
9H15-9H30	25	2	2	0	0	2	29	130
9H30-9H45	35	3	0	0	0	0	38	134
9H45-10H00	50	3	4	1	0	5	58	153
10H00-10H15	22	2	1	0	0	1	25	150
10H15-10H30	24	4	0	1	0	1	29	150
10H30-10H45	20	2	5	0	0	5	27	139
10H45-11H00	20	2	5	0	0	5	27	108
11H00-11H15	6	1	2	0	0	2	9	92
11H15-11H30	27	0	2	0	0	2	29	92
11H30-11H45	19	1	3	1	0	4	24	89
11H45-12H00	21	1	8	1	0	9	31	93
12H00-12H15	32	2	3	0	0	3	37	121
12H15-12H30	35	3	4	3	0	7	45	137
12H30-12H45	31	2	4	0	0	4	37	150
12H45-13H00	30	4	3	1	0	4	38	157
13H00-13H15	23	1	0	1	0	1	25	145
13H15-13H30	34	6	6	4	0	10	50	150
13H30-13H45	16	4	1	1	0	2	22	135
13H45-14H00	19	1	2	2	0	4	24	121
14H00-14H15	21	1	0	1	0	1	23	119
14H15-14H30	37	6	4	0	1	5	48	117
14H30-14H45	24	1	4	1	0	5	30	125
14H45-15H00	28	1	1	2	0	3	32	133
15H00-15H15	32	2	6	0	0	6	40	150
15H15-15H30	22	2	3	0	0	3	27	129
15H30-15H45	25	0	0	2	0	2	27	126
15H45-16H00	33	2	3	0	0	3	38	132
16H00-16H15	24	3	2	0	0	2	29	121
16H15-16H30	32	3	2	0	0	2	37	131
16H30-16H45	31	1	0	1	0	1	33	137
16H45-17H00	28	1	2	0	0	2	31	130
17H00-17H15	30	1	0	1	0	1	32	133
17H15-17H30	31	2	2	0	0	2	35	131
17H30-17H45	33	2	4	0	0	4	39	137
17H45-18H00	34	2	2	1	0	3	39	145
∑parcial	1294	106				157	1557	
Composición	83,11%	6,81%				10,08%	100%	

Fuente: Hugo Vilema Peña

## Anexo E (Diseño de Pavimento)

### Diseño 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
		
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS		
<b>PROYECTO:</b>	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
<b>TRAMO</b>	HUACHI GRANDE - SANTA ROSA	
<b>SECCIÓN:</b>	km 1+000 a km 2+000	
MATERIALES		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	1537915
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,00
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pf]	2,20
Período de diseño	(años)	20
ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,11	12,5 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0,62	10,8 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,30	-6,3 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	2,43	23,3 cm
DISEÑO DEL PAVIMENTO		
	Propuesta	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,27	7,5 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,71	15,0 cm
Total	2,56	32,5 cm

AASHTO  
min 7,5 cm  
min 15 cm

## Diseño 2



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**TRAMO:** HUACHI GRANDE - SANTA ROSA

**SECCIÓN:** km 1+000 a km 2+000

<b>MATERIALES</b>		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
<b>TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	1537915
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,80
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pt]	2,20
Período de diseño	(años)	20
<b>ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO</b>		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
<b>CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES</b>		
	<b>Teórico</b>	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,11	12,5 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0,62	10,8 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,34	-7,1 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	<b>2,390</b>	23,3 cm
<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	<b>Propuesta</b>	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,27	7,5 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,71	15,0 cm
Total	<b>2,56</b>	32,5 cm

AASHTO  
 min 7,5 cm  
 min 15 cm

### Diseño 3



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**TRAMO:** HUACHI GRANDE - SANTA ROSA

**SECCIÓN:** km 1+000 a km 2+000

<b>MATERIALES</b>		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
<b>TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	7689575
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,00
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pt]	2,20
Período de diseño	(años)	20
<b>ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO</b>		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
<b>CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES</b>		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,74	16,2 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0,77	13,5 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,38	-8,0 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	3,130	29,7 cm
<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	Propuesta	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,69	10,0 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,95	20,0 cm
Total	3,22	40,0 cm

AASHTO  
 min 10 cm  
 min 15 cm

## Diseño 4



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



**PROYECTO:** CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS HUACHI GRANDE Y SANTA ROSA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

**TRAMO:** HUACHI GRANDE - SANTA ROSA

**SECCIÓN:** km 1+000 a km 2+000

<b>MATERIALES</b>		
Módulo de Elasticidad del Asfalto	(ksi)	430,00
Módulo de Elasticidad de la Base Granular	(ksi)	29,00
Módulo de Elasticidad de la Subbase	(ksi)	14,50
<b>TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>		
Cantidad de Ejes Equivalentes	[W18]	7689575
Factor de Confiabilidad	[R]	85%
Desviación Estándar Normal	[Zr]	-1,037
Desviación Estándar Global	[So]	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante	[Mr] (ksi)	20,80
Servicialidad Inicial	[Pi]	4,20
Servicialidad Final	[Pt]	2,20
Período de diseño	(años)	20
<b>ESTRUCTURACIÓN DEL RESUERZO</b>		
Coeficientes Estructurales por capa		
A. Concreto Asfáltico Convencional	(a <sub>1</sub> )	0,430
B. Base Granular	(a <sub>2</sub> )	0,132
C. Subbase	(a <sub>3</sub> )	0,110
Coeficientes de Drenaje de cada capa		
D. Base Granular	(m <sub>2</sub> )	1,100
E. Subbase	(m <sub>3</sub> )	1,100
<b>CÁLCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES</b>		
	Teórico	
	SN	Espesor
Número Estructural de la Carpeta Asfáltica (SN <sub>CA</sub> )	2,74	16,2 cm
Número Estructural de la Base Granular (SN <sub>BG</sub> )	0,77	13,5 cm
Número Estructural de la Subbase (SN <sub>SB</sub> )	-0,42	-8,8 cm
Número Estructural Requerido Total (SN <sub>REQ</sub> )	3,090	29,7 cm
<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		
	Propuesta	
	SN	espesor
Espesor de la Carpeta Asfáltica	1,69	10,0 cm
Espesor de la Base Granular	0,57	10,0 cm
Espesor de la Subbase	0,95	20,0 cm
Total	3,22	40,0 cm

AASHTO  
 min 10 cm  
 min 15 cm