

“Las ideas conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad
exclusiva de los autores”

Artículo 1º del acuerdo N 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable
Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA URBANA ORIENTADA
A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE
PASTO

LUIS FERNANDO ESCOBAR ARGOTY
LUIS FERNANDO SOLARTE MARCILLO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
San Juan de Pasto
2008

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA URBANA ORIENTADA
A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE
PASTO

LUIS FERNANDO ESCOBAR ARGOTY
LUIS FERNANDO SOLARTE MARCILLO

Proyecto presentado para optar al título de
Ingeniero Civil

Director
I. C. Ms.C. Ph.D. HUGO CORAL MONCAYO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
San Juan de Pasto
2008

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, febrero de 2008

DEDICATORIA

A mis padres *Luis Anibal y Rosa Aura*, quienes me apoyaron en los momentos más difíciles y con sus consejos y regaños hicieron de mí la persona que soy. Este logro es el fruto de su gran esfuerzo y espero no sea el más grande que consiga en la vida, ya que voy a luchar por que se sientan orgullosos de la persona que han formado.

A mi hermana *Ximena*, que gracias a su ejemplo de dedicación me inspira a conseguir más logros y me señala que el camino continúa.

A mi abuela *Luz Angélica*, con su sabiduría, su aprecio y su incondicional apoyo, me recuerda en los momentos difíciles que no hay obstáculos imposibles de resolver, si no, que existen personas incapaces de enfrentarlos. Espero que este trabajo sea un estímulo a su gran esfuerzo.

A mis familiares y amigos, gracias a sus consejos y espero que mis triunfos sean también los suyos.

LUIS FERNANDO ESCOBAR

A la memoria de mi madre.

LUIS FERNANDO SOLARTE MARCILLO

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al Ing. Hugo Coral Moncayo por su incondicional apoyo, colaborándonos en cada momento con su orientación. Gracias por permitir la libertad del planteamiento y del enfoque del trabajo, demostrando así su gran calidad como docente y como persona.

Gracias a Planeación Municipal y a las Curadurías Primera y Segunda, quienes prestaron su colaboración y facilitaron el desarrollo de este trabajo.

Al Centro de Investigación en Ingeniería Sismológica, gracias a la colaboración prestada en cuanto a suministros, equipos, material bibliográfico y espacio de trabajo.

Finalmente a la Universidad de Nariño, por la oportunidad que brindan a todas las personas de formarse para tener mejores oportunidades en la vida.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	51
1. TEMA	53
1.1 TITULO	53
1.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	53
1.3 ALCANCE Y DELIMITACIÓN	53
1.4 MODALIDAD	54
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	55
2.1 ANTECEDENTES	55
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	55
2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	56
2.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	56
3. JUSTIFICACIÓN	57
4. OBJETIVOS	59
4.1 OBJETIVO GENERAL	59
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	59
5. BASES TEÓRICAS	61
5.1 PRIMER ESTRATO	61
5.2 ESTRATO PREDOMINANTE	61
5.3 TRIANGULACIÓN DE DELAUNAY Y DIAGRAMAS DE VORONOI APLICADOS A MAPAS GEOTÉCNICOS	62
5.4 OBTENCIÓN DE PARAMETROS DINÁMICOS	65

5.4.1	Obtención de la velocidad de ondas de corte (v_s).	68
5.4.2	Obtención del módulo de corte dinámico máximo (G_{max}).	72
5.5	OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO	73
5.5.1	Interacción suelo estructura.	73
5.5.2	Métodos de obtención del coeficiente de balasto.	75
5.5.2.1	Método de Terzaghi.	78
5.5.2.2	Método de Vèsic.	80
5.5.2.3	Método de Wölfer.	80
5.5.2.4	Determinación directa del módulo de reacción del suelo a partir del ensayo de placa.	81
5.5.2.5	Obtención del coeficiente de balasto para el presente trabajo de grado.	87
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	89
6.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	89
6.2	MECÁNICA OPERATIVA	89
6.3	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA	90
6.3.1	Obtención de los estudios de suelos de la zona urbana de la ciudad de Pasto.	
6.3.2	Adquisición de información Planimétrica, Geológica y Topográfica de la ciudad de San Juan de Pasto.	90
6.4	DISEÑO Y CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	91
6.5	PROCESAMIENTO DE RESULTADOS	91
6.5.1	Zonificación geotécnica preliminar.	91
6.5.2	Elaboración de mapas de zonificación geotécnica para San Juan de Pasto actualizados al año 2007.	91
7.	GELOGÍA	93
7.1	ESTRATIGRAFIA	93

7.1.1	Vulcanitas	93
7.1.2	Depositos glaciares y fluvio-glaciares (Qsgf)	98
7.1.3	Depositos coluviales y aluviales (Qcal)	98
7.1.4	DEPOSITOS LACUSTRES (Ql)	98
7.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	98
7.2.1	Sistemas de fallas romeral	99
7.2.2	Falla pasto	99
7.3	GEOQUIMICA Y GEOLOGIA ECONOMICA	99
8.	BASE DE DATOS	101
8.1	ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS	101
8.1.1.1	Parámetros a inventariar.	101
8.1.2	Otros parámetros.	106
8.1.3	Selección del tipo de base de datos.	106
8.1.4	Diseño de la base de datos.	106
8.2	DESARROLLO DEL PROGRAMA GeoZonifica PARA LA BASE DE DATOS	110
8.2.1	Formulario principal.	110
8.2.2	Formulario frmEstudio.	
8.2.3	Listas de Barrios y Firmas consultoras.	121
8.2.4	Formulario frmExploración.	123
9.	HERRAMIENTAS PARA ELABORACION DE MAPAS TEMÁTICOS Y SU ANÁLISIS NUMÉRICO	129
9.1	PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS DEL PROGRAMA GeoZonifica PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS GEOTÉCNICOS	129
9.1.1	Procedimiento Autocad.AdicionarPunto	129

9.1.2	Función ColorMaxEstrato.	
9.1.3	Función AddEstrato (Color, Espesor).	130
9.1.4	Procedimiento para obtener el primer estrato.	131
9.1.5	Procedimiento para obtener el estrato predominante.	131
9.2	DESCRIPCIÓN DE LOS FORMULARIOS DEL PROGRAMA GeoZonifica, PARA ANÁLISIS NUMÉRICO.	134
9.3	DESCRIPCIÓN DE LOS FORMULARIOS DEL PROGRAMA GeoZonifica, PARA PRESENTACIÓN DE MAPAS	138
9.3.1	Formulario frmAutoCad. Mediante este formulario se accede a todas las herramientas que permiten realizar los mapas geotécnicos.	138
9.4	Grado de error Y exactitud en los mapas geotécnicos	158
10.	RESULTADOS DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	161
10.1	GRÁFICOS	161
10.1.1	Primer Estrato - General	161
10.1.2	Primer Estrato – Arcillas	163
10.1.3	Primer Estrato – Arenas	167
10.1.4	Primer Estrato – Gravas	170
10.1.5	Primer Estrato – Limos	171
10.1.6	Primer Estrato – Rellenos	175
10.1.8	Estrato Predominante – General	178
10.1.9	Estrato Predominante – Arcillas	180
10.1.10	Estrato Predominante – Arenas	184
10.1.11	Estrato Predominante – Gravas	188
10.1.12	Estrato Predominante – Limos	190
10.1.13	Estrato Predominante – Rellenos	194

10.2	MAPAS GEOTÉCNICOS	198
10.2.1	Mapa de zonificación del nivel freático	223
10.2.2	Mapa de zonificación del primer estrato	223
10.2.3	Mapa de zonificación del estrato predominante	
10.2.4	Mapa de zonificación de la velocidad de ondas de corte	225
10.3	MODELOS DE ISOLINEAS	228
10.3.1	Diagrama de iso - velocidades de ondas de corte.	228
10.3.2	Diagramas de iso - humedad	228
11.	CONCLUSIONES	233
12.	RECOMENDACIONES	237
13.	BIBLIOGRAFÍA	239

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Correlaciones de V_s a partir del ensayo de penetración estándar	66
Tabla 2. Correlaciones de G_{max} a partir del ensayo de penetración estándar	67
Tabla 3. Valores del módulo de deformación E_o y coeficiente de balasto K_s .	77
Tabla 4. $k(30,30)$ en arenas	78
Tabla 5. $k(30,30)$ en arcillas	78
Tabla 6. Valores típicos del módulo elástico o de Young, (E).	86
Tabla 7. Valores orientativos para el proyecto de cimentaciones sobre suelos granulares gruesos	87
Tabla 8. Detalle de la tabla Barrio	107
Tabla 9. Detalle de la tabla Firma	108
Tabla 10. Detalle de la tabla Estudio	108
Tabla 11. Detalle de la tabla Exploración	108
Tabla 12. Detalle de la tabla Capa	109
Tabla 13. Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, U.S.C.	126
Tabla 14. Colores asociados a los tipos de Suelo.	129
Tabla 15. Convenciones para el nivel freático	142
Tabla 16. Convenciones para velocidad de ondas de corte.	146
Tabla 17. Tabla resumen de los valores más frecuentes del primer estrato	177
Tabla 18. Tabla resumen de los valores más frecuentes obtenidos del análisis de los gráficos del estrato predominante	196
Tabla 19. Relación entre número de pisos y número de edificios	198

Tabla 20. Relación profundidad número de exploraciones.	198
Tabla 21. Relación de profundidad del nivel freático vs. Número de exploraciones	223
Tabla 22. Número de exploraciones según el tipo de suelo, para el primer estrato.	224
Tabla 23. Número de exploraciones según el tipo de suelo, para el estrato predominante.	224
Tabla 24. Velocidad de ondas de corte V_s y Coeficiente de Sitio S .	225
Tabla 25. Número de exploraciones para cada rango de velocidad de ondas de corte.	226

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Velocidad de ondas de corte para todo tipo de suelo	68
Figura 2. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Limos	69
Figura 3. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo CL-ML	69
Figura 4. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Arcillas	70
Figura 5. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Arenas	70
Figura 6. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Gravas	71
Figura 7. CASO A: Cuando “E” sea constante con la profundidad.	82
Figura 8. CASO B: Cuando “E” aumenta linealmente con la profundidad.	83
Figura 9. CASO C: Suponiendo que “E” varia con la raíz cuadrada de la profundidad.	84
Figura 10. Mapa Geológico de San Juan de Pasto	95
Figura 11. Formulario de recopilación de datos, actualización geotécnica 1999.	103
Figura 12. Formulario de recopilación de datos, actualización geotécnica 1999.	104
Figura 13. Formularios de recopilación de datos 2007	105
Figura 14. Estructura y relaciones de la base de datos.	107
Figura 15. Formulario frmPrincipal	110
Figura 16. Menú archivo	111
Figura 17. Agregar nuevos registros o fusionar bases de datos	112
Figura 18. Menú listas	113
Figura 19. Menú estudio	113
Figura 20. Formulario frmImpresion	114

Figura 21. Menú Exploración	115
Figura 22. Menú Herramientas configurar	116
Figura 23. Dialogo Configurar datos de impresión	117
Figura 24. Formulario cambiar colores de tipo de suelo	117
Figura 25. Menú Herramientas - Estimar parámetros	118
Figura 26. Formulario frmEstudio	119
Figura 27. Formulario frmListas	122
Figura 28. Formulario frmExploración	123
Figura 29. Profundidad de un estrato	125
Figura 30. Sistema de clasificación AASHTO.	127
Figura 31. Código en Visual Basic .NET de las funciones AddEstrato y ColorMaxEstrato.	130
Figura 32. Diagrama de flujo para obtener el primer estrato	132
Figura 33. Diagrama de flujo para obtener el estrato predominante	133
Figura 34. Menú Herramientas – Gráficos	134
Figura 35. Ejemplo de análisis de frecuencias del parámetro resistencia	135
Figura 36. Ejemplo de análisis de frecuencias de parámetros	136
Figura 37. Ejemplo de análisis comparativo de parámetros	137
Figura 38. Menú Herramientas – Gráficos	138
Figura 39. Formulario frmAutoCad	138
Figura 40. Herramienta para quitar objetos de los mapas	139
Figura 41. Cuadro de dialogo para zonificar el nivel freático	140
Figura 42. Exploraciones con nivel freático.	143
Figura 43. Exploraciones que representan el primer estrato.	144
Figura 44. Exploraciones que representan el estrato predominante.	145

Figura 45. Exploraciones que representan la velocidad de ondas de corte.	147
Figura 46. Contornos para el nivel freático.	148
Figura 47. Diagramas de Voronoi sin combinar las celdas semejantes (nivel freático).	150
Figura 48. Diagramas de Voronoi con las celdas semejantes combinadas (nivel freático)	151
Figura 49. Diagramas de Voronoi con las celdas semejantes coloreadas.	152
Figura 50. Información de estudios que se seleccionaron en los mapas de AutoCad.	153
Figura 51. Dialogo para análisis gráfico de los mapas geotécnicos.	154
Figura 52. Dialogo para configurar el tipo de análisis y la escala de colores de los modelos de análisis.	155
Figura 53. Diagramas de variación de humedad para limos del estrato predominante.	156
Figura 54. Diagramas de isolineas para el nivel freático.	157
Figura 55. Sección de un mapa geotécnico con baja densidad de puntos.	159
Figura 56. Sección de un mapa geotécnico con alta densidad de puntos.	159
Figura 57. General - Límite líquido Vs Frecuencia	161
Figura 58. General - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	161
Figura 59. General - Peso unitario seco Vs Frecuencia	162
Figura 60. General - Humedad natural Vs Frecuencia	162
Figura 61. General - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	162
Figura 62. General - Gravedad especifica Vs Frecuencia	162
Figura 63. General - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	162
Figura 64. General - Penetración estándar Vs Frecuencia	163
Figura 65. Primer estrato –Gráfico de plasticidad de las Arcillas – Límite líquido Vs Índice de plasticidad	163

Figura 66. Primer estrato - Arcillas - Límite líquido Vs Frecuencia	163
Figura 67. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	164
Figura 68. Primer estrato - Arcillas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	164
Figura 69. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Frecuencia	164
Figura 70. Primer estrato - Arcillas - Gravedad específica Vs Frecuencia	164
Figura 71. Primer estrato - Arcillas - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	165
Figura 72. Primer estrato - Arcillas - Penetración estándar Vs Frecuencia	165
Figura 73. Primer estrato - Arcillas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	165
Figura 74. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	165
Figura 75. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Límite líquido	166
Figura 76. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Humedad natural	166
Figura 77. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo	166
Figura 78. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Límite líquido Vs Frecuencia	167
Figura 79. Primer estrato - Arenas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	167
Figura 80. Primer estrato - Arenas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	167
Figura 81. Primer estrato - Arenas - Humedad natural Vs Frecuencia	167
Figura 82. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	167
Figura 83. Primer estrato - Arenas - Gravedad específica Vs Frecuencia	168
Figura 84. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	168
Figura 85. Primer estrato - Arenas - Penetración estándar Vs Frecuencia	168
Figura 86. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar	168

Figura 87. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo	169
Figura 88. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Humedad natural Vs Límite líquido	169
Figura 89. Primer estrato - Arenas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	169
Figura 90. Primer estrato - Arenas Pasante tamiz No. 40- Índice de plasticidad Vs Humedad natural	169
Figura 91. Primer estrato - Gravas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	170
Figura 92. Primer estrato - Gravas - Humedad natural Vs Frecuencia	170
Figura 93. Primer estrato - Gravas - Penetración estándar Vs Frecuencia	170
Figura 94. Primer estrato – Gravas Peso unitario húmedo Vs Humedad natural	171
Figura 95. Primer estrato Gráfico de plasticidad - Limos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad	171
Figura 96. Primer estrato - Limos - Límite líquido Vs Frecuencia	171
Figura 97. Primer estrato - Limos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	172
Figura 98. Primer estrato - Limos - Peso unitario seco Vs Frecuencia	172
Figura 99. Primer estrato - Limos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	172
Figura 100. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Frecuencia	172
Figura 101. Primer estrato - Limos - Gravedad específica Vs Frecuencia	173
Figura 102. Primer estrato - Limos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	173
Figura 103. Primer estrato - Limos - Penetración estándar Vs Frecuencia	173
Figura 104. Primer estrato - Limos - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar	173
Figura 105. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Resistencia sin drenar	174

Figura 106. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	174
Figura 107. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Límite líquido	174
Figura 108. Primer estrato – Rellenos Gráfico de plasticidad – Límite líquido Vs Índice de plasticidad	175
Figura 109. Primer estrato - Rellenos - Límite líquido Vs Frecuencia	175
Figura 110. Primer estrato - Rellenos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	175
Figura 111. Primer estrato - Rellenos - Peso unitario seco Vs Frecuencia	175
Figura 112. Primer estrato - Rellenos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	176
Figura 113. Primer estrato - Rellenos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	176
Figura 114. Primer estrato - Rellenos - Penetración estándar Vs Frecuencia	176
Figura 115. Estrato predominante - General - Límite líquido Vs Frecuencia	178
Figura 116. Estrato predominante - General - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	178
Figura 117. Estrato predominante - General - Peso unitario seco Vs Frecuencia	178
Figura 118. Estrato predominante - General - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	178
Figura 119. Estrato predominante - General - Humedad natural Vs Frecuencia	179
Figura 120. Estrato predominante - General - Gravedad específica Vs Frecuencia	179
Figura 121. Estrato predominante - General - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	179
Figura 122. Estrato predominante - General - Penetración estándar Vs Frecuencia	179
Figura 123. Estrato predominante - General - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia	180
Figura 124. Estrato predominante – Arcillas Gráfico de plasticidad – Límite líquido Vs Índice de plasticidad	180

Figura 125. Estrato predominante - Arcillas - Límite Líquido Vs Frecuencia	180
Figura 126. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	181
Figura 127. Estrato predominante - Arcillas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	181
Figura 128. Estrato predominante - Arcillas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	181
Figura 129. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Frecuencia	181
Figura 130. Estrato predominante - Arcillas - Gravedad específica Vs Frecuencia	182
Figura 131. Estrato predominante - Arcillas - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	182
Figura 132. Estrato predominante - Arcillas - Penetración estándar Vs Frecuencia	182
Figura 133. Estrato predominante - Arcillas - Velocidad de ondas de corte	182
Figura 134. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	183
Figura 135. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Humedad natural	183
Figura 136. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo	183
Figura 137. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Límite líquido	183
Figura 138. Estrato predominante - Arcillas - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar	184
Figura 139. Estrato predominante – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Límite líquido Vs Frecuencia	184
Figura 140. Estrato predominante - Arenas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	184
Figura 141. Estrato predominante - Arenas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	185
Figura 142. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Frecuencia	185

Figura 143. Estrato predominante – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	185
Figura 144. Estrato predominante - Arenas - Gravedad específica Vs Frecuencia	185
Figura 145. Estrato predominante - Arenas Pasante tamiz No. 40- Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	186
Figura 146. Estrato predominante - Arenas - Penetración estándar Vs Frecuencia	186
Figura 147. Estrato predominante - Arenas - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia	186
Figura 148. Estrato predominante - Arenas - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar	186
Figura 149. Estrato predominante - Arenas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo	187
Figura 150. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Límite líquido	187
Figura 151. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	187
Figura 152. Estrato predominante – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Humedad natural	187
Figura 153. Estrato predominante - Arenas – Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar	188
Figura 154. Estrato predominante - Gravas - Peso unitario seco Vs Frecuencia	188
Figura 155. Estrato predominante - Gravas - Humedad natural Vs Frecuencia	188
Figura 156. Estrato predominante - Gravas - Penetración estándar Vs Frecuencia	189
Figura 157. Estrato predominante - Gravas - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia	189
Figura 158. Estrato predominante - Gravas - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar	189

Figura 159. Estrato predominante - Limos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad	190
Figura 160. Estrato predominante - Limos - Límite líquido Vs Frecuencia	190
Figura 161. Estrato predominante - Limos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	190
Figura 162. Estrato predominante - Limos - Peso unitario seco Vs Frecuencia	190
Figura 163. Estrato predominante - Limos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	191
Figura 164. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Frecuencia	191
Figura 165. Estrato predominante - Limos - Gravedad específica Vs Frecuencia	191
Figura 166. Estrato predominante - Limos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	191
Figura 167. Estrato predominante - Limos - Penetración estándar Vs Frecuencia	192
Figura 168. Estrato predominante - Limos - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia	192
Figura 169. Estrato predominante - Limos - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar	192
Figura 170. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Resistencia sin drenar	192
Figura 171. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario seco	193
Figura 172. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo	193
Figura 173. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Límite líquido	193
Figura 174. Estrato predominante - Limos - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar	193
Figura 175. Estrato predominante - Rellenos - Límite líquido Vs Frecuencia	194

Figura 176. Estrato predominante - Rellenos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia	194
Figura 177. Estrato predominante - Rellenos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia	194
Figura 178. Estrato predominante - Rellenos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia	194
Figura 179. Estrato predominante - Rellenos - Penetración estándar Vs Frecuencia	195
Figura 180. Estrato predominante - Rellenos - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia	195
Figura 181. Estrato predominante - Rellenos - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar	195
Figura 182. Estrato predominante - Rellenos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad	195
Figura 183. Puntos del nivel freático	199
Figura 184. Diagramas de Voronoi del nivel freático	201
Figura 185. Mapa de zonificación de nivel freático	203
Figura 186. Puntos del primer estrato	205
Figura 187. Diagramas de Voronoi combinados del primer Estrato	207
Figura 188. Mapa de zonificación del primer Estrato	209
Figura 189. Puntos del estrato predominante	211
Figura 190. Diagramas de Voronoi combinados del estrato predominante	213
Figura 191. Mapa de zonificación del estrato predominante	215
Figura 192. Puntos de la velocidad de ondas de corte	217
Figura 193. Diagramas de Voronoi de velocidad de ondas de corte	219
Figura 194. Mapa zonificación de la velocidad de ondas de corte	221
Figura 195. Distribución de velocidad de ondas de corte (General).	229

ANEXOS

Anexo A. Mapa de áreas de actuación urbana de la ciudad de San Juan de Pasto. Ajuste al acuerdo 007 de junio del 2000, **POT** (Actualización consultada en mayo de 2007).

Anexo B. Mapa de zonificación del nivel freático.

Anexo C. Mapa de zonificación del primer estrato.

Anexo D. Mapa de zonificación del estrato predominante.

Anexo E. Mapa de zonificación de la velocidad de ondas de corte.

Anexo F. Mapa geológico de la ciudad de San Juan de Pasto.

Anexo G. Formulario de recopilación de datos de la actual zonificación geotécnica.

Anexo H. CD que contiene el instalador del programa **GeoZonifica**, la base de datos y los mapas de zonificación geotécnica.

Anexo I. *DVD* que contiene el instalador del programa **GeoZonifica**, los videotutoriales del programa **GeoZonifica**, la base de datos y los mapas de zonificación geotécnica.

GLOSARIO

AASHTO: Sistema de clasificación de suelos AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials).

ALGORITMO: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

ALUVIÓN: material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente. Dicho material puede ser arena, grava, arcilla o limo. Se acumula en los canales de las corrientes, en las planicies inundables y en los deltas.

ALUVIONES: acumulación de sedimentos acarreados por las aguas corrientes, fragmentos arrancados de las rocas por las agua corrientes. la acción mecánica y química del agua modifica sus formas y hasta su estructura química.

APIQUE: el estudio del suelo se realiza mediante una excavación manual de dimensiones 0.8 y 1.2 metros, con una profundidad que generalmente oscila entre 2 y 6 metros; esta profundidad varia de acuerdo al tipo de obra a construirse y de la solidez del suelo. De esta excavación se extraen muestras de suelo para analizarse en el laboratorio y pueden realizarse ensayos in situ.

ARCILLAS VS LIMOS: en estado seco o húmedo, tiene más cohesión la arcilla. La arcilla seca es dura mientras el limo es friable o pulverizable. Húmedos, la arcilla es plástica y el limo poco plástico. Al tacto, la arcilla es más suave.

BASE DE DATOS: Conjunto de datos organizado de tal modo que permita obtener con rapidez la información que contiene. Para el caso del presente trabajo, está compuesta únicamente por tablas de datos.

BASE DE DATOS PLANA: base de datos diseñada para almacenar datos en múltiples tablas y utilizando un solo archivo.

CAMPO: Espacio en la base de datos creado para almacenar valores numéricos, cadenas de texto u objetos lógicos.

c: Cohesión (k/cm^2).

COMPUTADOR: Máquina electrónica, analógica o digital, dotada de una memoria de gran capacidad y de métodos de tratamiento de la información, capaz de resolver problemas matemáticos y lógicos mediante la utilización automática de programas informáticos.

DATO(S): Información dispuesta de manera adecuada para su tratamiento por un computador.

Dc: Diámetro de cantos (cm).

Dmax: Capacidad de amortiguamiento histerético (%).

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA: Reconocer, registrar, inquirir o averiguar mediante apiques o sondeos; las características físico-mecánicas de la estratificación del suelo, de un lugar específico.

, F_i : Ángulo de fricción interna (grados).

FORMULARIO: En informática es una ventana o espacio en la pantalla, desde la cual se pueden realizar las diferentes opciones que tiene un programa y observar resultados de los procesos que se ejecuten. Estas ventanas normalmente contienen botones, cajas de texto, etiquetas, imágenes y otros controles que facilitan el trabajo.

FUNCIÓN: Subrutina que procesa uno o varios valores y proporciona un resultado.

FRECUENCIA: Número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo (ciclos/segundo).

Gmax: Módulo dinámico de corte máximo.

Gs: Gravedad específica.

ID: En bases de datos, es un identificador de un registro en un conjunto de registros. Éste, normalmente jamás se repite en un mismo conjunto.

IP: Índice de plasticidad (%).

Ks, $K(30,30)$: Coeficiente de balasto para una Zapata cuadrada de un pie de lado (kg/cm^3).

LL: Límite líquido (%).

MODELOS DIGITALES: Modelos o dibujos tridimensionales que se representan mediante el computador.

MODELO ISOMETRICO: Dibujo en que se representa mediante líneas curvas las características o valores que tienen igual magnitud de un modelo tridimensional.

MUESTRA INALTERADA: calificación de valor relativo, para un espécimen de suelo tomado con herramientas apropiadas, retirado del terreno con los cuidados debidos, transportado, conservado y llevado al aparato de ensayo, de manera que pueda considerarse que las propiedades del suelo natural, que se desean conocer en la muestra, no se han modificado de manera significativa.

MUESTRA ALTERADA: espécimen con su estructura disturbada.

MUESTREO: Acción de escoger muestras de suelo representativo de la calidad o condiciones medias de un apique, perforación o sondeo.

Nspt, N: Penetración estándar (golpes/pie).

PARÁMETROS: Características y propiedades específicas del suelo.

PARAMETRO DINÁMICO: Parámetro que pertenece o es relativo a las fuerzas cuando producen movimiento.

PERFORACIÓN: la extracción de las muestras de suelo se realizan mediante la utilización del tubos de muestreo generalmente son de dos a cinco pulgadas, de tubo pared delgada de tres pulgadas en acero inoxidable o un tubo Shelby de tres pulgadas.

PERIODO: Tiempo que tarda un fenómeno periódico en recorrer todas sus fases, como el que emplea un péndulo en su movimiento de vaivén (segundos).

PUH: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un suelo que contiene humedad natural en ton/m^3 .

PUS: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un suelo seco (que no contiene humedad) en ton/m^3 .

PT4: Porcentaje en peso de las partículas de suelo que pasan por el tamiz N° 4 (%).

PT40: Porcentaje en peso de las partículas de suelo que pasan por el tamiz N° 40 (%).

PT200: Porcentaje en peso de las partículas de suelo que pasan por el tamiz N° 200 (%).

qu: Resistencia sin drenar (k/cm^2).

REGISTRO: En bases de datos es un espacio compuesto por varios campos.

SISMO: Terremoto o sacudida de tierra producida por causas internas.

SONDEO: el estudio del suelo se realiza con un penetrómetro. El equipo permite el realizar sondeos del suelo de manera rápida. La facilidad de manejo y su fácil transportación permite dar resultado en sitio sin necesidad de realizar estudios de laboratorio. Este sondeo genera resultados sobre la capacidad de carga del terreno a construir.

SUELOS ORGÁNICOS: el primer producto de estos materiales es la turba, materia orgánica en descomposición. Por su porosidad, tiene alto contenido de humedad, baja resistencia, alta compresibilidad e inestabilidad química (oxidable). Deben evitarse como material de fundación y como piso para rellenos.

SUBROUTINA: secuencia invariable de instrucciones que forma parte de un programa y se puede utilizar repetidamente.

TABLA DE DATOS: es una subdivisión de la base de datos y está compuesta por registros.

USC: Sistema de Clasificación Unificada de suelos.

Vs: Velocidad de ondas de corte (m/s).

w: Humedad natural (%).

RESUMEN

El trabajo de grado “**ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA URBANA ORIENTADA A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO**” fue realizado con el objetivo de disponer una herramienta útil, capaz de mantener una zonificación geotécnica actualizada en el momento que así se lo requiera, principalmente durante el proceso de microzonificación sísmica de la ciudad de San Juan de Pasto.

Para lograr este propósito se diseñó y desarrolló una base de datos en Microsoft Access, que se puede actualizar en la medida que se realicen o se encuentren nuevos estudios de suelos. Esta base de datos, contiene la información y los parámetros más comunes y recurrentes en los estudios de suelos que se realizan en la región; para orientar éste trabajo a una futura microzonificación sísmica, se tuvo en cuenta además, parámetros dinámicos como: velocidad de ondas de corte, módulo dinámico de corte máximo y coeficiente de balasto; para cada uno de éstos se incluye en la base de datos dos campos, el primero para datos que se estimen en un futuro por medio de ensayos y el segundo para datos que se estimaron en la presente tesis a partir de correlaciones empíricas, las cuales son función del ensayo dinámico de penetración estándar y del tipo de suelo.

Para optimizar esta herramienta se desarrolló un software en Visual Basic .NET, el cual facilita el proceso numérico, la edición, la actualización, la consulta e impresión de datos almacenados; también realiza un análisis bidimensional y un análisis frecuencial para cada uno de los parámetros que contiene la base de datos; así mismo, facilita la elaboración de mapas geotécnicos en AutoCad, por medio de geometría computacional a través de pequeñas subrutinas desarrolladas y algoritmos gráficos más complicados como la triangulación de Delaunay y los diagramas de Voronoi. Estos algoritmos son utilizados en este trabajo para establecer qué tipo de suelo es más probable encontrar en los lugares en donde no existen exploraciones geotécnicas; la triangulación de Delaunay, también es utilizada para elaborar modelos digitales de pendientes y modelos isométricos similares a las curvas de nivel en topografía, éstos modelos se elaboran con las coordenadas de las exploraciones y cualquiera de los parámetros almacenados en la base de datos, lo cual, es útil para observar y analizar la variación y la relación del parámetro analizado entre exploraciones geotécnicas circundantes y consecuentes en un modelo espacial tridimensional. De esta manera, el programa es capaz de realizar de una forma relativamente sencilla los mapas geotécnicos de nivel freático, primer estrato y estrato predominante; y para cada uno de estos mapas, el programa realiza los análisis numéricos y gráficos mencionados.

PALABRAS CLAVE: zonificación geotécnica, microzonificación sísmica, Pasto, base de datos, mapas, Delaunay, Voronoi, velocidad de ondas de corte, balasto.

ABSTRACT

The work of degree, "**UPDATE OF THE URBAN GEOTECHNICAL ZONING ORIENTATED TO THE SEISMIC MICROZONING OF SAN JUAN DE PASTO**" was developed with the objective of having a useful tool, capable of maintaining an updated geotechnical zoning at the moment that is required, primarily during the process of seismic micro-zoning of San Juan de Pasto.

Originally, a Microsoft Access database was designed and developed. It can be upgraded to the extent in which new studies of soils are done or found. This database contains the information and the most common and recurrent parameters of soil studies being conducted in the region. with the purpose of guide this work to a future seismic micro-zoning, was taken into account to its design dynamic parameters such as speed of wave cutting, dynamic module of maximum cut and coefficient of subgrade reaction; for each of them, two fields are included: the first one for information that will be estimated in the future through essays and the second one for empirical information that were estimated in the present thesis by means of empirical correlations proposed by different authors, which are a function of the essay of standard penetration and of the type of soil

In order to optimize this tool Visual Basic software was developed in Visual Basic .Net, which facilitates the numerical process, edition, updating, consultation and printing of data stored, but also performs a two-dimensional analysis and frequency analysis for each of the parameters that contains the database, likewise it facilitates the development of geotechnical maps in AutoCad, using computational geometry through small developed subroutines and graphic algorithms more complicated as the triangulation of Delaunay and diagrams of Voronoi. These algorithms are used in this work to establish what kind of soil is more likely to be found in places where there are no geotechnical explorations; Delaunay triangulation, is also used to produce digital models of slopes and isometric models similar to the contour in topography, these models are developed with the coordinates of the explorations and any of the parameters stored in the database, which is useful for observing and analyzing the variation and the relationship between the analyzed parameter in surrounding geotechnical explorations and consistent in a model three-dimensional space. Thus, the program is capable of performing in a relatively simple way the geotechnical maps of the groundwater level, the first stratum and predominant stratum, and for each of these maps, the program does the numerical analysis and charts mentioned.

KEYWORDS: geotechnical zoning, seismic micro-zoning, Pasto, database, maps, Delaunay, Voronoi, speed of wave cutting, subgrade reaction.

INTRODUCCIÓN

La representación de las características geotécnicas del terreno de una zona urbana se hace cada día más importante, acorde al desarrollo que se va presentando en las regiones y según los requerimientos de expansión urbana para una ciudad, así como la necesidad de tener conocimientos previos de los problemas que el terreno puede suscitar hacia las nuevas obras civiles; teniendo en cuenta que se hace esto dentro de las obligadas limitaciones en equipos, tiempo y costos.¹

Las zonas en donde está situada la ciudad de San Juan de Pasto y las posibles zonas de expansión (zonas aledañas) presentan características topográficas, geológicas y geotécnicas muy diferentes; circunstancia que hace que las construcciones actuales y futuras estén expuestas a problemas de inestabilidad, lo cual genera un riesgo que puede poner en peligro vidas y bienes.²

Por esto, el propósito del presente trabajo es sintetizar en mapas de la ciudad San Juan de Pasto, los datos geotécnicos para observar mejor el comportamiento de las diferentes variables por zonificar. Además, este estudio proporciona una visión de cómo se ha practicado la Geotecnia en la ciudad e igualmente los criterios y los parámetros de evaluación más usados.

La variedad de los suelos donde se desarrolla una ciudad, puede ser un problema en un momento determinado para el progreso y expansión de la misma, ya que puede estancar su desarrollo, es por eso, que el contenido de este trabajo es un aporte hacia la microzonificación sísmica de la ciudad de Pasto, participando de esta forma, en la selección de las zonas de expansión de la ciudad, teniendo en cuenta el punto de vista de riesgo sísmico, para que así no se afecte el bienestar económico y humano. De esta manera, se contribuye a una ciudad con mejor organización, ya que se crea un elemento de soporte para el plan de ordenamiento territorial.

¹ CORAL MONCAYO, Hugo. Zonificación Geotécnica Urbana Preliminar para Pasto. Bogotá, 1993. p. 1.

² Ibid., p. 1.

En la actualidad, los avances tecnológicos permiten la elaboración de herramientas capaces de facilitar los diferentes trabajos, **Visual Basic .NET** por ejemplo, es un instrumento poderoso de desarrollo de software, que permite entre muchas cosas, interactuar con diversos programas. En el presente estudio se elaboró un programa que fusiona: la capacidad de almacenamiento de datos de **Microsoft Access**, la versatilidad de presentación de mapas de **AutoCAD** y las funciones de análisis numérico de **Microsoft Excel**; en el desarrollo de este programa se crearon e implementaron funciones y procedimientos que ayudan a elaborar mapas geotécnicos y a realizar análisis numéricos y gráficos de los datos inventariados, aprovechando los programas anteriormente mencionados.

1. TEMA

1.1 TITULO

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA URBANA ORIENTADA A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

1.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Línea Software y manejo de Información:

- Programación
- Bases de Datos

1.3 ALCANCE Y DELIMITACIÓN

Los estudios que se tomaron en el presente trabajo, fueron realizados por profesionales de la construcción y empresas consultoras por medio de apiques, sondeos con recuperación de muestras y sondeos sin recuperación de muestras; con profundidades que oscilan entre 1 y 31.5 metros. Estos estudios se encuentran en las curadurías y en planeación municipal.

De esta manera, se recolectó la mayoría del conocimiento geotécnico de la ciudad, para obtener un instrumento útil para la microzonificación sísmica y de esta manera, contribuir con el plan de desarrollo urbano que pueda servir como referencia a muchos profesionales de la construcción, así mismo, la zonificación geotécnica sirve para tener un criterio básico de análisis y obtener mayor seguridad en el momento de realizar estudios geotécnicos puntuales, teniendo en cuenta que estos últimos siempre serán útiles y estrictamente necesarios.

La información que se obtuvo en el presente trabajo de grado también puede ser utilizada por profesionales de la construcción o por investigadores para corroborar datos de estudios efectuados por medio de otros métodos indirectos, como por ejemplo, métodos geofísicos.

Algo muy importante dentro del desarrollo en particular de este trabajo de grado es la contribución para realizar mapas de amenazas naturales y la microzonificación sísmica para esta ciudad, teniendo en cuenta que para esta última, se estimaron

parámetros dinámicos a partir de las pruebas estáticas de los suelos y que se desarrollo un software que será de gran utilidad para estos propósitos.

1.4 MODALIDAD

Trabajo de Investigación.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

Previo a este trabajo se realizaron dos tesis orientadas al mejor uso del suelo desde el punto de vista de obras civiles:

El trabajo de Zonificación Geotécnica Urbana Preliminar para Pasto realizado en 1993 por el Ing. Hugo Coral Moncayo. El cual proporcionó una orientación para el desarrollo del presente trabajo.

También, se cuenta con la actualización de la zonificación geotécnica realizada en el año de 1999, que utiliza 317 estudios con 817 apiques y 242 sondeos, con profundidades que están entre 1 y 13 metros; trabajo en el que se presentó el mapa de zonificación geotécnica y el trabajo escrito, pero sin la base de datos que se utilizó para desarrollar esta labor. A pesar de esto, este estudio fue una guía que se aprovechó para el desarrollo de este proyecto, orientándonos hacia los resultados y metas esperadas; además, nos sirve para comparar los resultados que se dieron en ese momento con los resultados que se obtuvieron en este trabajo de grado.

De esta manera, el presente trabajo se basa en los estudios geotécnicos realizados desde el año de 1988 hasta hoy en día, sin embargo, para este estudio se mira la necesidad de crear la respectiva base de datos para su análisis, la cual lleva a obtener a cabalidad los propósitos de este proyecto.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actual situación de la ciudad de San Juan de Pasto, no se tiene la certeza del conocimiento real del suelo en una zona determinada, lo cual, lleva a no poder realizar una microzonificación sísmica, afectando a la población urbana de la ciudad, que muchas veces se puede traducir en pérdidas económicas y en el peor de los casos, en pérdidas humanas, debido a errores que se cometen por falta de este conocimiento.

También, dentro de la adjudicación de zonas en un plan de ordenamiento territorial, puede asignarse equivocadamente el tipo de uso en una zona determinada como consecuencia del desconocimiento en la estratificación real del suelo, y puede provocar un estancamiento en el crecimiento de la ciudad o una incorrecta selección de zonas de posible desarrollo para la ciudad.

A pesar de que existen en la ciudad entidades encargadas de exigir estudios de suelos para todas las obras civiles como las curadurías y la oficina de planeación municipal, no se cuenta con una información centralizada y organizada en mapas de zonificación geotécnica a partir de una base de datos adecuada.

Estos problemas se pueden evitar con la base de datos desarrollada en este proyecto, la cual contiene la información geotécnica necesaria para realizar los mapas de zonificación geotécnica y sísmica. Esta base de datos además, se puede actualizar constantemente de una manera fácil y cuenta con diferentes opciones para realizar consultas que nos informen los parámetros comunes en una zona determinada.

2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La metodología usada actualmente para archivar los estudios geotécnicos es la más adecuada y con la base de datos y/o los mapas de zonificación se identifican fácilmente las propiedades mecánicas de los suelos de las distintas zonas geotécnicamente homogéneas de la Ciudad de San Juan de Pasto?

2.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Se ha hecho una zonificación geotécnica para la ciudad de San Juan de Pasto que pueda contribuir a una futura actualización de dicha zonificación?
- ¿Existe una base de datos en la que a partir de su contenido se pueda realizar consultas acerca de la geotecnia en determinadas zonas de la ciudad de San Juan de Pasto?
- ¿Existen mapas geotécnicos que orienten acerca de la geotecnia en determinadas zonas de la ciudad de San Juan de Pasto?
- ¿Se cuenta en la actualidad con una zonificación geotécnica que pueda contribuir a una microzonificación sísmica para la ciudad, que podría beneficiar al plan de ordenamiento territorial?

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo urbano de las ciudades en general es notorio porque el avance tecnológico en diversas áreas crece vertiginosamente, en muchos aspectos se involucra la Ingeniería Civil en todas sus ramas, y para todas ellas siempre está presente el elemento *suelo*, ya sea para cualquier tipo de construcción: vías, puentes, edificios, obras hidráulicas, etc.. En este sentido, no se puede dejar a un lado el fundamento de dicha construcción, por esto, es necesario conocer las características del suelo sobre el cual se cimenta una construcción.

La estabilidad de una edificación depende de una correcta planeación, tanto en su diseño arquitectónico como estructural, pero también, es preciso prestar la importancia que merece al soporte de la edificación que es el suelo. Por lo tanto, contar con un apropiado estudio geotécnico para la construcción y las recomendaciones de cada caso en particular, es fundamental, ya que un edificio correctamente cimentado tiene éxito en los usos para los cuales fue diseñado, garantizando así su vida útil.

En los últimos 30 años, la ingeniería civil regional ha sido consciente en la necesidad de los estudios geotécnicos para todo tipo de construcción, no solamente en el valle sino también en la ladera, además porque el desarrollo urbano de la ciudad tiende hacia zonas de ladera que requieren estudios geotécnicos más detallados para evitar problemas futuros.

Además, la ciudad de San Juan de Pasto ha incrementado notablemente su desarrollo en el área de la construcción, se ha construido muchas edificaciones para vivienda, oficinas, centros comerciales, inclusive puentes como el viaducto de la Panamericana Sur junto al estadio Libertad, puentes peatonales como el de la VIPRI, entre otros, que han sido precisos en la evolución de la ciudad en los últimos años para adaptarse a las nuevas condiciones de desarrollo, en los cuales fue necesario realizar detallados estudios de suelos con recomendaciones particulares para cada caso; por lo tanto, se cuenta con un material extenso para desarrollar este proyecto.

El título H de la norma sismo resistente NSR-98, reglamenta lo referente al estudio geotécnico, sin embargo, para el caso de la ciudad de San Juan de Pasto a causa de su heterogeneidad en los suelos de cimentación, requiere de una zonificación geotécnica tendiente a dictar normas complementarias para mejorar lo exigido por el código.

De acuerdo a las normas sismo resistentes NSR-98, la ciudad de San Juan de Pasto, está ubicada en una zona catalogada como de alta amenaza sísmica, por consiguiente, con este trabajo se busca contribuir a la microzonificación sísmica

para la ciudad, ya que al conocer la estratigrafía y los diversos tipos de suelos en las diferentes zonas, se tendrá un parámetro importante que se puede aprovechar muy bien para esta finalidad.

Precedentemente no se contaba con una zonificación geotécnica para la ciudad de San Juan de Pasto que se pueda actualizar con facilidad, por lo tanto, se elaboró una base de datos que contiene información pertinente. Sirve como herramienta para futuras actualizaciones geotécnicas y puede ser utilizada para consultas por las personas que necesiten esta información.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a una mejor planificación y desarrollo urbano de la ciudad de San Juan de Pasto, actualizando la zonificación geotécnica existente mediante el desarrollo de una base de datos, que se la pueda actualizar y consultar de una manera fácil y rápida, aportando de esta manera a la microzonificación sísmica de la ciudad de San Juan de Pasto.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear una base de datos en la cual se facilite la introducción y consulta de datos de los estudios de suelos recopilados.
- Clasificar por zonas en donde se presenten características físico-mecánicas del subsuelo homogéneas, sus variaciones y limitaciones.
- Elaborar mapas a una escala de 1:10.000 actualizados que contengan: Zonificación del primer estrato, estrato predominante y Nivel Freático; para así permitir a los profesionales de la construcción localizar mejor las construcciones desde el punto de vista geotécnico.
- Establecer funciones a la base de datos, que le permitan localizar los estudios consultados en un mapa de una manera fácil y rápida.
- Elaborar ayudas para que instruyan a los usuarios a manipular la base de datos sin ningún problema.

5. BASES TEÓRICAS

La presente investigación está fundamentada en bases teóricas que se mencionan en el desarrollo de este capítulo.

“Para iniciar la argumentación de este tema, hay que aclarar que la zonificación Geotécnica, consiste en clasificar en mapas, las zonas o áreas que presenten características físico-mecánicas relativamente homogéneas del subsuelo de una región. O en otras palabras, es organizar las propiedades homogéneas de los suelos, mediante su localización en mapas de una zona urbana”³.

Ahora bien, desde el punto de vista geotécnico, para caracterizar los efectos de sitio, es necesario determinar con precisión adecuada, cuáles son los tipos de materiales, la profundidad del basamento rocoso y las características físico-mecánicas del suelo, tanto estáticas como dinámicas.

5.1 PRIMER ESTRATO

“En la ciudad de Pasto, predominan construcciones tipo vivienda de uno y dos pisos y edificaciones medianas, por lo tanto, es necesario zonificar el primer estrato, debido a que en éste se cimienta la mayoría de estas edificaciones”⁴.

“Aunque en los estudios inventariados existen exploraciones de gran profundidad, en el proceso de esta investigación se considera **Primer Estrato**: aquel material que subyace a la capa orgánica superficial y supera al menos un metro de espesor”⁵. El procedimiento para escoger el primer estrato de las exploraciones, es el que se indica en el numeral 9.1.4.

5.2 ESTRATO PREDOMINANTE

Los mapas del estrato predominante son de gran utilidad para las investigaciones que conlleven a la microzonificación sísmica, por lo cual, es indispensable obtenerlo y analizarlo en esta investigación.

³ CORAL MONCAYO, Hugo. Zonificación Geotécnica Urbana Preliminar para Pasto. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1993. p. 126.

⁴ *Ibíd.*, p. 126.

⁵ *Ibíd.*, p.119.

En esta investigación se considera como estrato predominante aquel de mayor espesor, que subyace a la capa vegetal, teniendo en cuenta que este estrato puede estar intercalado por uno o más estratos⁶. Esto se realizó siguiendo el procedimiento del numeral 9.1.5.

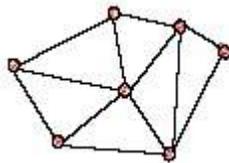
5.3 TRIANGULACIÓN DE DELAUNAY Y DIAGRAMAS DE VORONOI APLICADOS A MAPAS GEOTÉCNICOS

Para establecer qué tipo de suelo, es más probable encontrar en los lugares donde no hay exploraciones, se debe determinar la zona que debe cubrir cada exploración, de tal forma, que cualquier punto dentro de esta zona, esté más cerca a esa exploración que a otra exploración circundante. Esto se consigue realizando los diagramas de Voronoi con las exploraciones geotécnicas ubicadas en el mapa, dichos diagramas se realizan de la siguiente manera:

Se tiene un conjunto de puntos que representan exploraciones del subsuelo y en particular para cada exploración (según el tipo de mapa) una característica específica del suelo. Para la explicación se asumirá que cada punto representa un tipo de suelo (arena, arcilla, limo, etc.).



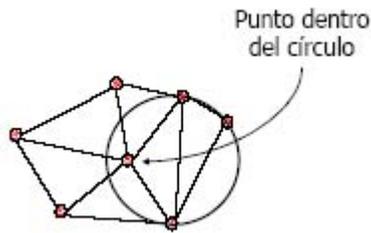
Luego se aplicó el algoritmo de Delaunay, que consiste en trazar triángulos entre los puntos con ciertas restricciones.



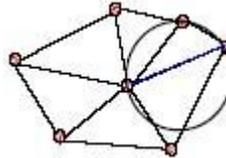
Esta es una forma de triangulación, que para el propósito de esta investigación no es aceptada. En consecuencia, se debe conseguir una triangulación, de tal manera, que cualquier circunferencia trazada entre los 3 vértices de cada triángulo

⁶ CORAL MONCAYO, Op. cit., p. 173.

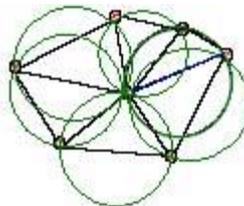
no tenga ningún otro punto dentro. Se percibe más claro en la imagen de la siguiente figura, que demuestra que la triangulación anterior no es válida:



Este problema se soluciona probando diversas triangulaciones hasta que cualquier circunferencia trazada por 3 vértices no contenga ningún otro punto dentro. En el ejemplo anterior se tiene que cambiar una arista para obtener una triangulación válida, así:



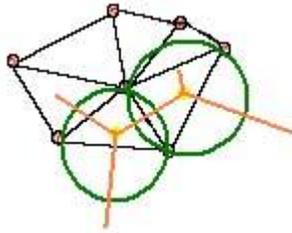
Ahora bien, al trazar la circunferencia, se puede apreciar que no hay ningún otro vértice en su interior. Si se hace lo mismo con el resto de triángulos se observa que los círculos no poseen otros vértices dentro. En este momento se consigue la Triangulación de Delaunay.



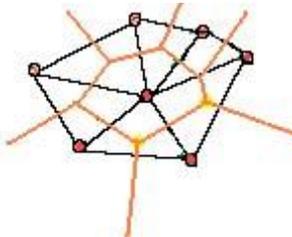
Teniendo en cuenta, que el número de puntos que se estudian en este trabajo es elevado, lo que hace complejo realizar este proceso de manera manual, se acude a realizarlo con ayuda de las computadoras, utilizando geometría computacional.

Para calcular las regiones de Voronoi, es necesario apoyarse en la Triangulación de Delaunay. En primera instancia, se obtiene el punto central de cada circunferencia, trazando líneas perpendiculares en el punto medio de cada arista de los triángulos (mediatriz) y encontrando su intersección. O, en segunda instancia, se unen los centros de las circunferencias trazadas por los vértices de cada par de triángulos que tienen una arista en común, con una línea recta. Para no complicar el dibujo en la siguiente figura, se explica con dos círculos, en donde

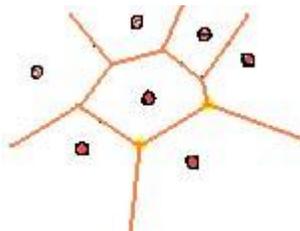
los puntos amarillos son los centros de las circunferencias y las líneas naranjas son perpendiculares a las aristas de los triángulos:



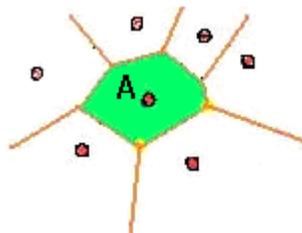
Si se sigue aplicando el mismo método y se eliminan del dibujo los círculos, se obtiene lo siguiente:



Si además, se elimina la Triangulación de Delaunay, se obtiene la imagen definitiva donde se definen las zonas más cercanas a cada exploración o dicho de otra manera, se delimita las zonas en donde es más probable encontrar el tipo de suelo que representa cada exploración:



Por ejemplo, la zona coloreada de verde es la Región de Voronoi del punto A. Es decir, que todo punto que está en la zona pintada de verde, está más cerca de A que de cualquier otro punto señalado en el dibujo. Aplicado en nuestro caso, el tipo de suelo más probable para esta región es el que representa el punto A.



Resumiendo, en geometría computacional las regiones de Voronoi son las zonas del plano más cercanas a cada punto en un conjunto dado de puntos. Lo anterior, en un nivel práctico en ingeniería tiene diversas aplicaciones. Por ejemplo, en hidrología es útil para obtener zonas de cobertura de cada estación, también se utiliza en planes de prevención de riesgos y se puede encontrar una infinidad de aplicaciones prácticas como es el caso de la presente investigación.

Para llevar a cabo este trabajo, se realizó un programa en **Visual Basic .NET**, implementando un algoritmo incremental para no tener que recalcular en cada iteración, todos los posibles círculos. Esto, con el fin de no tener dificultades al trabajar con miles de puntos. El programa que se realizó puede trabajar sin problemas con 5.000 puntos y más, si se cuenta con una buena computadora.

Para facilitar la presentación de estos mapas se utilizó un objeto denominado **winCtrlLibAcad*** diseñado para “enlazar” **Visual Basic** con **AutoCad**, logrando que los mapas se construyan y se presenten directamente en **AutoCad**. Es preciso anotar que el objeto **winCtrlLibAcad*** tiene acceso limitado y su distribución se realiza por el autor con una licencia, Por esto, su manejo será exclusivo para acceder a la información de esta investigación.

5.4 OBTENCIÓN DE PARAMETROS DINÁMICOS

Los sismos son una consecuencia proveniente del movimiento de suelo en el que se ha construido una obra civil; ya sea un edificio, un puente, una carretera, etc.

Dicho movimiento se puede amplificar debido a las propiedades dinámicas del suelo, como son: la rigidez del suelo, el módulo dinámico de corte máximo (Gmax), la velocidad de ondas de corte (Vs) y el amortiguamiento; estas propiedades son claves para el estudio de la respuesta de sitio, por lo tanto es necesario determinarlas.

Un parámetro necesario en la evaluación de la respuesta sísmica de suelos es la velocidad de las ondas de corte (u ondas S), cuyo valor se obtiene utilizando uno de los siguientes ensayos geofísicos:

- Reflexión sísmica
- Refracción sísmica
- Down Hole (Up_Hole)
- Cross Hole
- Cono sísmico de penetración

*Control desarrollado por Luis Fernando Escobar en el año 2004, programado en Visual Basic 6.0 y optimizado para usarse en Visual Basic .NET. durante el desarrollo de este proyecto.

- Testificación geofísica
- Análisis espectral de ondas superficiales

Debido a que en la región no se dispone de equipos que permitan obtener dicho parámetro y a los altos costos, se recurre a correlaciones empíricas propuestas por diversos autores, las cuales están en función del tipo de suelo y de la penetración estándar que son utilizadas en muchas zonificaciones sísmicas preliminares aunque presentan cierto grado de incertidumbre.

Se realizó una revisión bibliográfica referente a la obtención de los parámetros dinámicos, como la velocidad de ondas de corte y módulo de corte dinámico máximo de los suelos, por medio de correlaciones empíricas que se fundamentan en la prueba dinámica de penetración estándar, teniendo en cuenta que los materiales predominantes en la zona, son: limos, arenas, arcillas, gravas, orgánicos y mezclas de estos. El resultado de esta revisión se resume en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Correlaciones de V_s a partir del ensayo de penetración estándar

Ec. No.	CORRELACION	SUELO	REFERENCIA	UNIDADES
1	$V_s = 62 * N^{0.6}$	Todos	Kanai, et al., 1966	m/seg
2	$V_s = 104 * \sqrt{N}$	Arenas	Shibata, 1970	m/seg
3	$V_s = 280 * N^{0.31}$	Suelos aluviales	Ohba i Toriuma, 1970	Pies/seg
4	$V_s = 286 * N^{0.36}$	Arenas	Ohta, et al., 1972	Pies/seg
5	$V_s = 267 * N^{0.39}$	Todos	Ohshaki i Iwasaki, 1973	Pies/seg
6	$V_s = 302 * N^{0.329}$	Todos	Imai i Yoshimura, 1975	Pies/seg
7	$V_s = 295 * N^{0.341}$	Todos	Imai, Fumoto i yolota, 1975	Pies/seg
8	$V_s = 85,35 * N^{0.348}$	Todos	Ohta i Goto, 1978	m/seg
9	$V_s = 97 * N^{0.314}$	Todos	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
10	$V_s = 107 * N^{0.274}$	Arcillas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
11	$V_s = 87,8 * N^{0.292}$	Arenas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
12	$V_s = 75,4 * N^{0.351}$	Gravas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
13	$V_s = 128 * N^{0.257}$	Arcillas coluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
14	$V_s = 110 * N^{0.285}$	Arenas diluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
15	$V_s = 136 * N^{0.246}$	Gravas coluviales	Imai i Tonouchi, 1982	m/seg
16	$V_s = 100 * N^{\frac{1}{3}}$	Arcillas	JRA, 1980	m/seg
17	$V_s = 80 * N^{\frac{1}{3}}$	Arenas	JRA, 1980	m/seg

18	$V_S = 200 * \sqrt{N}$	Todos	Seed i Idriss, 1981	Pies/seg
19	$V_S = 476 + 13,9 * N$	Todos	Barrow i Stokoe, 1983	Pies/seg
20	$V_S = 330 * N^{0,29}$	Arenas	Sykora i Stokoe, 1983	Pies/seg
21	$V_S = 65,58 * N^{0,502}$	Todos	Lin, 1984	m/seg
22	$V_S = 116,1 * (N + 0,3185)^{0,202}$	Orgánicos	Jinan, 1987	m/seg
23	$V_S = 57,4 * N^{0,49}$	Arenas	Lee, 1990	m/seg
24	$V_S = 114,43 * N^{0,31}$	Arcillas	Lee, 1990	m/seg
25	$V_S = 105,64 * N^{0,32}$	Limos	Lee, 1990	m/seg
26	$V_S = 157,13 * 4,74 * N$	SM	Lee, 1992	m/seg
27	$V_S = 104,7 * N^{0,296}$	SM	Lee, 1992	m/seg
28	$V_S = 93,11 * (N + 1)^{0,329}$	SM	Lee, 1992	m/seg
29	$V_S = 176,75 + 6,23 * N$	CL	Lee, 1992	m/seg
30	$V_S = 154,17 * N^{0,207}$	CL	Lee, 1992	m/seg
31	$V_S = 138,36 * (N + 1)^{0,242}$	CL	Lee, 1992	m/seg
32	$V_S = 152,51 + 6,94 * N$	ML	Lee, 1992	m/seg
33	$V_S = 126,18 * N^{0,268}$	ML	Lee, 1992	m/seg
34	$V_S = 103,99 * (N + 1)^{0,334}$	ML	Lee, 1992	m/seg
35	$V_S = 171,13 + 6,33 * N$	CL/ML	Lee, 1992	m/seg
36	$V_S = 146,59 * N^{0,222}$	CL/ML	Lee, 1992	m/seg
37	$V_S = 129,42 * (N + 1)^{0,262}$	CL/ML	Lee, 1992	m/seg

Fuente: CID RAMOS, 1996. Pág. 71.

Tabla 2. Correlaciones de G_{max} a partir del ensayo de penetración estándar

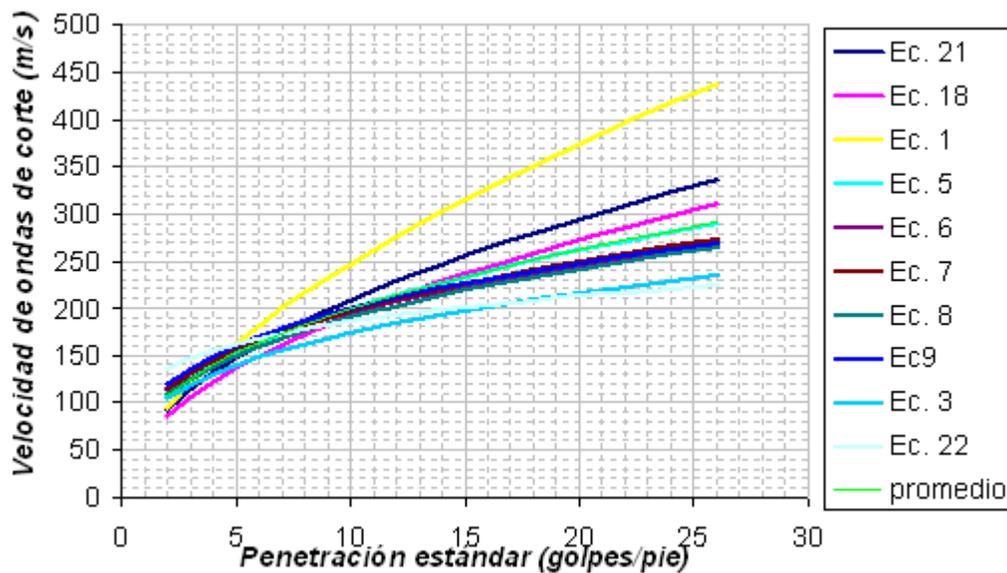
Ec. No.	CORRELACION	SUELO	REFERENCIA	UNIDADES
38	$G_{max} = 144 * N^{0,68}$	Todos	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
39	$G_{max} = 125 * N^{0,611}$	Arenas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
40	$G_{max} = 177 * N^{0,631}$	Arenas diluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
41	$G_{max} = 176 * N^{0,607}$	Arcillas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
42	$G_{max} = 251 * N^{0,555}$	Arcillas diluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
43	$G_{max} = 82,5 * N^{0,767}$	Gravas aluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
44	$G_{max} = 318 * N^{0,526}$	Gravas diluviales	Imai i Tonouchi, 1982	kg/cm2
45	$G_{max} = 12000 * N^{0,8}$	Arena arcillosa	Ohsaki i Iwasaki, 1973	Kpa
46	$G_{max} = 65 * N$	Arena arcillosa	Seed et al., 1983	T/pies2

Fuente: CID RAMOS, 1996. Pág. 72.

5.4.1 Obtención de la velocidad de ondas de corte (Vs). se obtuvo escogiendo de la tabla 1, las ecuaciones que cumplieran con las características del suelo existente, prefiriendo aquellas que para su obtención, los autores tuvieron en cuenta características del suelo más específicas, por ejemplo, existen correlaciones para las arenas en general y para las arenas limosas (SM), las velocidades se calculan primero para las arenas SM con la correlación para este tipo de arenas específicas y luego se calculan las velocidades para otras arenas con la ecuación general de arenas. Encontrando varias ecuaciones para un mismo tipo de suelo, de estas, se escogió la que representa el estado más crítico, siendo la que da como resultado valores de velocidades de onda de corte bajas, debido a que causan una menor frecuencia o mayor periodo de vibración en una edificación, por lo tanto son más destructivas que las velocidades de ondas de corte de valor alto. El proceso de selección de las correlaciones a utilizarse, se realizó revisando los siguientes gráficos.

Desde la figura 1 hasta la 6, los gráficos están referenciados a las ecuaciones de las tablas 1 y 2.

Figura 1. Velocidad de ondas de corte para todo tipo de suelo



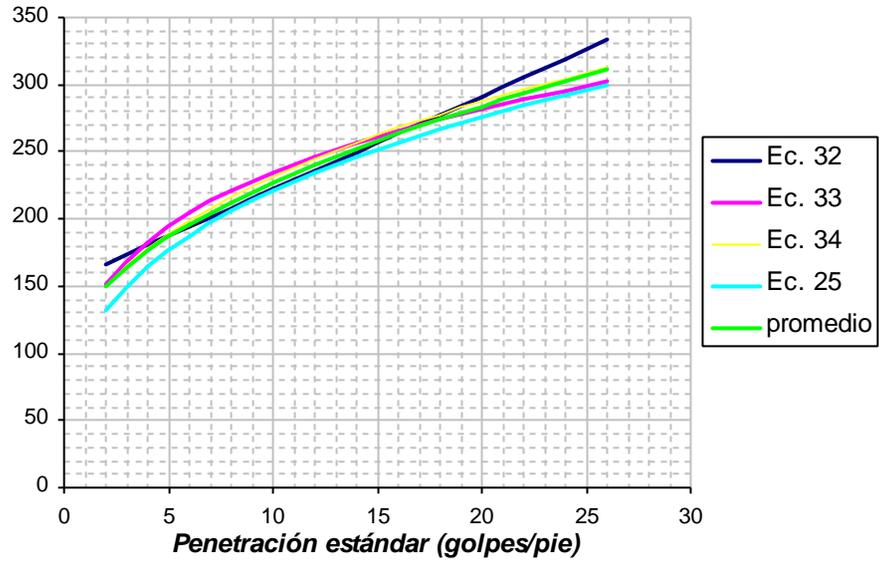
Ecuación promedio:
Ecuación crítica:

$$V_s = 81.986N^{0.3873}$$

$$V_s = 280 * N^{0.31}$$

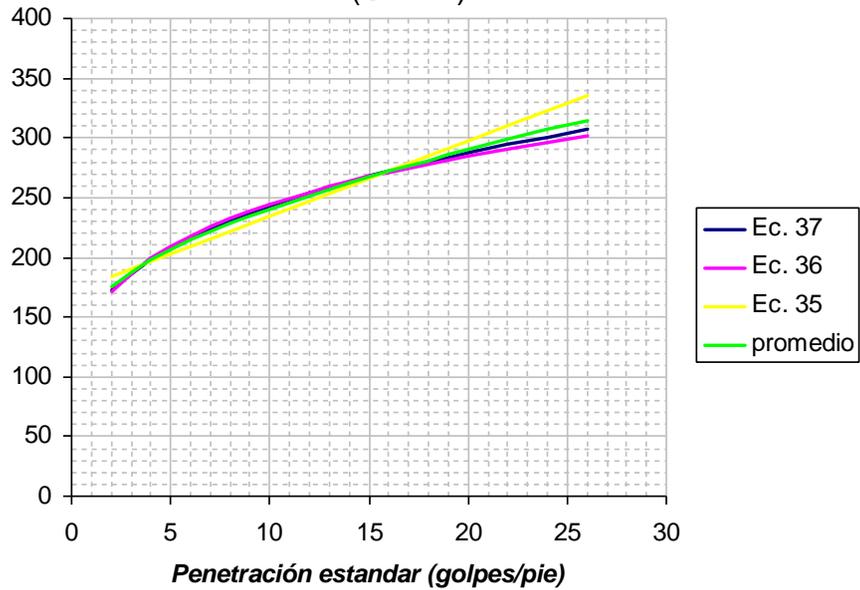
Ecuación 47
Ecuación 3 de la tabla 1

Figura 2. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Limos



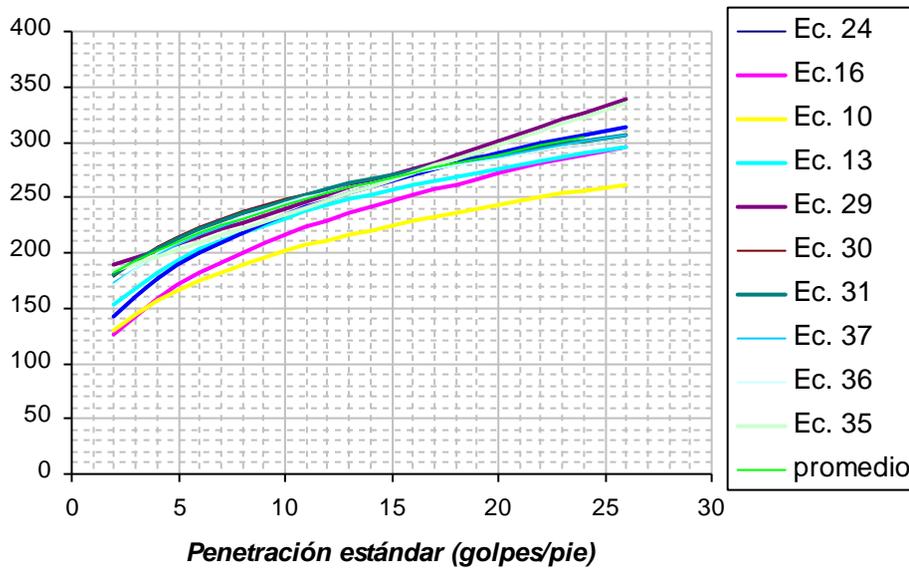
Ecuación promedio: $V_s = 118,62N^{0,2897}$ *Ecuación 48*
Ecuación crítica: $V_s = 105,64 * N^{0,32}$ *Ecuación 25 de la tabla 1*

Figura 3. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Arcillo Limoso (CL-ML)



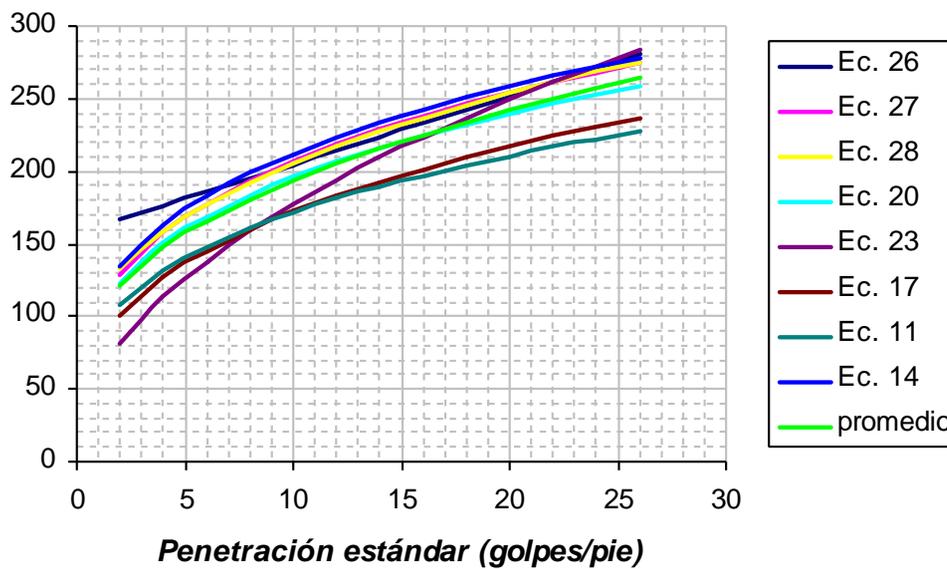
Ecuación promedio: $V_s = 143,93N^{0,232}$ *Ecuación 49*
Ecuación crítica: $V_s = 171,13 + 6,33 * N$ *Ecuación 35 de la tabla 1*

Figura 4. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Arcillas



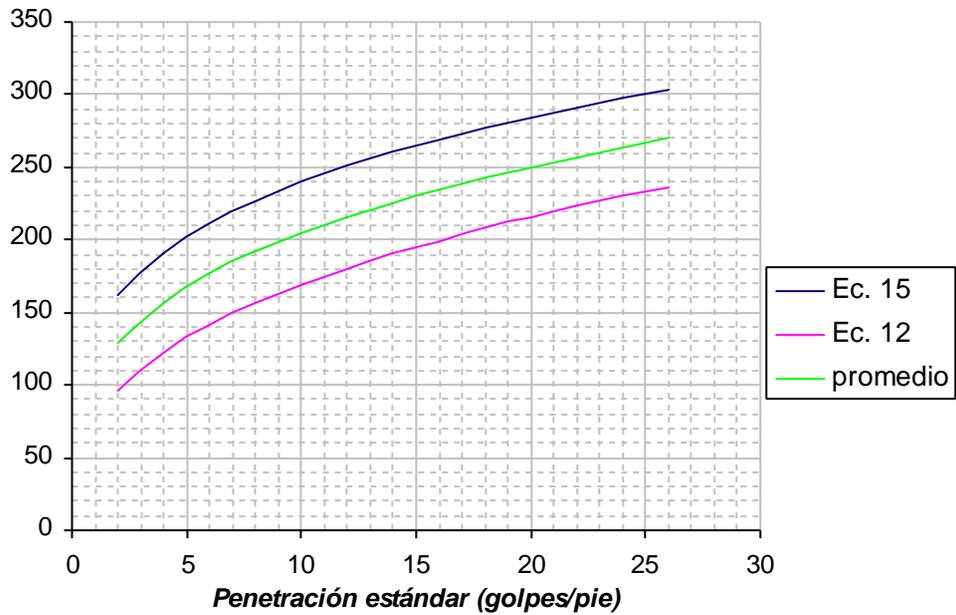
Ecuación promedio: $V_s = 126,82N^{0,2646}$ *Ecuación 50*
Ecuación crítica: $V_s = 107 * N^{0,274}$ *Ecuación 10 de la tabla 1*

Figura 5. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Arenas



Ecuación promedio: $V_s = 96,744 * N^{0,3048}$ *Ecuación 51*
Ecuación crítica: $V_s = 87,8 * N^{0,292}$ *Ecuación 11 de la tabla 1*

Figura 6. Velocidad de ondas de corte para el tipo de suelo Gravas



Ecuación promedio: $V_s = 105,2 * N^{0,2888}$ *Ecuación 52*
Ecuación crítica: $V_s = 75,4 * N^{0,351}$ *Ecuación 12 de la tabla 1*

Las ecuaciones escogidas son las siguientes:

- Vs para todo tipo de suelo

$$V_s = 0,3048006 * 280 * N^{0,31} \quad \text{Ecuación 3 de la tabla 1}$$

- Mezclas de limos y arcillas CL-ML y ML-CL

$$V_s = 129,42 * (N + 1)^{0,262} \quad \text{Ecuación 37 de la tabla 1}$$

- Para los limos

- Para ML

$$V_s = 126,18 * N^{0,268} \quad \text{Ecuación 33 de la tabla 1}$$

- Para todos los limos

independientemente usando las correlaciones de la tabla 2, prefiriendo las correlaciones del autor Imai i Tonouchi, 1982.

5.5 OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO

5.5.1 Interacción suelo estructura. La interacción suelo estructura se ha clasificado en tres grandes grupos: modelos simplificados, modelos del medio elástico semi-infinito (MES) y modelos basados en el método de los elementos finitos (MEF)⁷.

Modelos simplificados: los modelos de Winkler, Pasternak y Kerr, parten de hipótesis simplificadas (discontinuidad del suelo, para luego llegar a un conjunto de ecuaciones diferenciales que relacionan las presiones en la superficie con el asentamiento del sistema). Esto conduce en algunos casos a obtener resultados muy diferentes de los reales⁸.

Según la teoría de Winkler⁹, se supone que el cimiento flota sobre un líquido cuya densidad es el coeficiente de balasto. Con la desventaja de que los suelos presentan un cierto ángulo interno de rozamiento.

El principal inconveniente de esta teoría es que no solo depende de las propiedades del suelo, sino que también depende de la geometría, tamaño y rigidez del cimiento y tipo de distribución de carga, sin embargo este modelo presenta las siguientes ventajas desde el punto de vista numérico¹⁰.

El tiempo requerido para generar las ecuaciones del suelo, representadas por matrices de rigidez viga suelo o placa suelo, es menor que el requerido por otros modelos.

Las ecuaciones resultantes, que tienen en cuenta la rigidez del suelo y del cimiento, son de banda, lo cual indica que se pueden resolver problemas relativamente grandes en pequeños microcomputadores.

⁷ GARCIA ALVAREZ, José Jaime et al. INTERACCIÓN ESTÁTICA SUELO ESTRUCTURA DE CIMIENTOS SUPERFICIALES, dado por SANTANDER BURITICA, Isabel Carolina y AYALA BURBANO Rolando Fabio. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO K, A PARTIR DEL ENSAYO DE PLACA. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 1999. p. 7.

⁸ SANTANDER BURITICA, Isabel Carolina y AYALA BURBANO, Rolando Fabio. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO K, A PARTIR DEL ENSAYO DE PLACA. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 1999. P. 7.

⁹ Seminario diseño y calculo estructural de pequeñas obras hidráulicas, dado por SANTANDER BURITICA, Isabel Carolina y AYALA BURBANO Rolando Fabio. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO K, A PARTIR DEL ENSAYO DE PLACA. Popayán: Universidad del Cauca, 1991. P. 17.

¹⁰ GARCIA ALVAREZ, Op. cit., p.2.

El algoritmo de interacción con las ecuaciones de la estructura es simple: basta adicionar las rigideces de los elementos viga – suelo o placa suelo a la rigidez condensada de la estructura.

La cimentación de Pasternak considera una capa superior de cortante que induce cierta continuidad entre los resortes, como ventaja presenta una mejor descripción del comportamiento del suelo y sus desventajas se presentan ante la dificultad para estimar los valores de las constantes de resortes que se aplican a la capa adicional.

El modelo de Kerr, se describe mejor la continuidad del suelo por medio de una capa intermedia de cortante entre dos colchones de resortes. Algunas desventajas del modelo son la determinación de los módulos de las capas mencionadas y su implementación numérica tiene problemas, de convergencia lenta y la localización de los nudos en la zona de los bordes afecta la satisfacción de la ecuación de equilibrio vertical¹¹.

Modelos del Medio Elástico Semi-Infinito (MES): los cuales suponen que el suelo se comporta como un medio elástico y semi infinito. Según las hipótesis, el asentamiento de un punto depende de la distribución de presiones en la cimentación¹².

“Para obtener la solución numérica se discretiza la cimentación en un número n de áreas. La presión en cada área se supone constante. Mediante alguna de las teorías de distribución de presiones en un medio elástico y semi infinito, se calcula la influencia que ejerce la presión de cada área sobre cada uno de los puntos medios de las áreas restantes”¹³.

Este modelo tiene como ventaja el de describir bastante aproximado del comportamiento de los suelos cohesivos, pero presenta dificultades numéricas que lo hacen demasiado lento para los problemas relativamente grandes.

Modelos basados en el Método de los Elementos Finitos (MEF): en este método las ecuaciones que describen el comportamiento de toda la estructura (ecuaciones globales), se forma mediante la contribución de las propiedades de todos los elementos (matrices de rigidez, vectores de fuerzas). Luego, con la solución de estas ecuaciones, se obtienen los desplazamientos de los nudos.

¹¹ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.9 - 10.

¹² GARCIA ALVAREZ, Op. cit., p.2-6.

¹³ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.10.

El MEF tiene la ventaja de que permite solucionar problemas de geometría irregular con diferentes tipos de carga. Su principal dificultad radica en la gran cantidad de datos que se deben procesar, especialmente en el campo tridimensional.

Según los anteriores enfoques, la mayoría de las cimentaciones pueden en cierto modo entregar soluciones acertadas¹⁴.

5.5.2 Métodos de obtención del coeficiente de balasto. “La determinación del módulo de reacción al suelo o coeficiente de balasto k , puede ser realizada de dos maneras: La primera indirectamente con base a tablas y ecuaciones; la segunda directamente a través del ensayo de prueba de carga.”¹⁵.

La forma indirecta se obtiene con base en la clasificación del suelo y límites de Atterberg y con el tipo de suelo obtenido se entra a la tabla 3.

La forma directa se consigue a través de ensayos de prueba de carga “in situ”.

“En la evaluación de la deformación de los suelos de cimentación, existen dos métodos diferentes de gran aceptación. El primero método trata al suelo como un medio elástico, el segundo considera al suelo como un semi espacio elástico”¹⁶.

La teoría elástica, tipo Winkleriano, considera que la resistencia que ofrece el terreno a los desplazamientos del elemento es proporcional a estos últimos.

$P = k \cdot y$, donde P es la reacción del suelo en Kg/cm^2 , k es el módulo de reacción del suelo o coeficiente de balasto en Kg/cm^3 , y y es el desplazamiento según la dirección de la carga en cm ¹⁷.

De acuerdo con esta teoría el terreno de cimentación se deforma solamente dentro de los límites de la base de la estructura, mientras que en la realidad esto se observa más allá de esos límites, ya que el suelo de cimentación resiste la carga en un área circundante a lo largo del contorno del cimientado.

La segunda teoría, que considera el terreno como un semi espacio, tiene en cuenta la cohesión del suelo en todas las direcciones y el comportamiento del

¹⁴ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.11.

¹⁵ Ibid., p.16-17.

¹⁶ Ibid., p.14.

¹⁷ DILLA SALVADOR, Félix y CANO CASTILLO, Juan. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Construcciones, ISPJAE. P.414.

suelo mas allá de los límites del cimiento. Además, el suelo se supone homogéneo en todo el semi espacio, no obstante varían su densidad y elasticidad con la profundidad.

En la teoría de deformaciones parciales llamada también reacción del suelo, el valor del coeficiente de balasto depende entre otros factores de:

- Forma en que se aplica la carga al suelo
- Dimensiones de la zona cargada.

Dependiendo de la forma como se aplica la carga se puede determinar un k vertical y un k horizontal¹⁸.

El coeficiente de balasto k no es una magnitud fácilmente medible ni tabulable, dependen de un número elevado de variables como dimensiones del área cargable, heterogeneidad del suelo, magnitud y duración de las cargas, etc.

Algunas formas aproximadas para determinar el coeficiente de balasto indirectamente son:

VOGT	kv	$\frac{1.33 E_0}{\sqrt[3]{(L * B^2)}};$	L>=B	Base rectangular
		$\frac{1.57 E_0}{D};$		Base circular
TERZAGHI	kh	$\frac{0.75 E_0}{B};$		Base rectangular
		$\frac{0.75 E_0}{D};$		Base circular ¹⁹

E₀=módulo de deformación (kg/cm²).

L= Longitud del cimiento (m).

B= Ancho del cimiento (m).

D= Diámetro del cimiento de base circular (m).

¹⁸ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.15.

¹⁹ CORAL, Hugo. Apuntes de Geotecnia II.

Tabla 3. Valores del módulo de deformación Eo y coeficiente de balasto Ks.

TIPO DE SUELO	Módulo de deformación E _o (kg/cm ²)	Coefficiente de balasto Placa de 1 pie ² Ks (kg/cm ³)
** Suelo fangoso	11,00 a 33,00	0,5 a 1,50
* Arena seca o húmeda, suelta (Nspt 3 a 9)	0,16H a 0,48 H	1,20 a 3,6
* Arena seca o húmeda, media (Nspt 9 a 30)	0,48 H a 1,60 H	3,6 a 12,00
* Arena seca o húmeda, densa (Nspt 30 a 50)	1,60 H a 3,20 H	12,00 a 24,00
* Grava fina con arena fina	1,07 H a 1,33 H	8,00 a 10,00
* Grava media con arena fina	1,33 H a 1,60 H	10,0 a 12,0
* Grava media con arena gruesa	1,6 H a 2,00 H	12,00 a 15,00
* Grava gruesa con arena gruesa	2,00 H a 2,66 H	15,0 a 20,00
* Grava gruesa firmemente estratificada	2,66 H a 5,32 H	20,0 a 40,00
** Arcilla blanda (qu 0.25 a 0.5 kg/cm ²)	15 a 30	0,65 a 1,3
** Arcilla media (qu 0.50 a 2.00 kg/cm ²)	30 a 90	1,30 a 4,00
*** Arcilla compactada (qu 4.00 a 10.00 kg/cm ²)	90 a 180	4,00 a 8,00
Arcilla margosa dura (qu 4,00 a 10,00 kg/cm ²)	180 a 480	8,0 a 21,00
Marga arenosa rígida	480 a 1000	21,0 a 44,00
Arena de miga y tosco	500 a 2500	22,0 a 110
Marga	500 a 50000	22,00 a 2200
Caliza margosa alterada	3500 a 5000	150 a 220
Caliza sana	20000 a 800000	885 a 36000
Granito meteorizado	700 a 200000	30 a 9000
Granito sano	40000 a 800000	1700 a 3600

H = Profundidad del pozo de cimentación en cm.

* = Los terrenos granulares si están sumergidos se tomarán con una Eo o Ks, igual a los de la tabla multiplicados por 0.60.

** = Los valores considerados corresponden a cargas de corta duración. Si se consideran cargas permanentes que produzcan Q y M y ha de tener lugar la consolidación, se multiplican los valores Eo y Ks de la tabla por 0.25.

Fuente: Jimenes J. A., 1980, Pág. 185.

Existen diferentes métodos indirectos para obtener el módulo de reacción k:

1. Expresiones y tablas, conocidas como método de Terzaghi.
2. Método de Wolfer.
3. Método de Vésic²⁰.

²⁰ DILLA SALVADOR, Op. cit., p.414-418.

Para la obtención del coeficiente de balasto en el presente trabajo de grado se utilizó las formulas propuestas por Terzaghi, que se describen en el siguiente numeral.

5.5.2.1 Método de Terzaghi. el método de Terzaghi analiza separadamente el módulo de reacción del suelo para los casos de una viga horizontal y de losas de hormigón solicitadas para cargas concentradas, apoyadas en arcillas o arenas

Determinación de k en vigas horizontales: el valor de $k(30,30)$ puede determinarse por pruebas de cargas en el campo o estimado a partir de valores empíricos presentados en las tablas No. 4 y 5. En arenas es necesario conocer la densidad relativa, la que puede hallarse por medio de una prueba de penetración estándar; en arcillas, el valor de $k(30,30)$ puede hallarse a partir de la resistencia a compresión no confinada de la arcilla (q_u).

“La determinación de k para cualquier dimensión B y L está basado en los valores de $k(30,30)$ correspondiente a una placa rígida de 30 cm. de diámetro”²¹.

Tabla 4. $k(30,30)$ en arenas

Densidad relativa de la arena	SUELTA	MEDIA	DENSA
Densidad seca, TN/m ³	1,3	1,6	1,9
Golpes para 30cm de penetración, ensayo estándar.	4-10	10-30	>30
Arena húmeda o seca, valores límite de $k(30,30)$, Kg. /cm ³ .	0,64 -1,92	1,92 – 9,6	9,6 – 32
Valores propuestos.	1,3	4	16
Arena sumergida, valores propuestos	0,8	2,5	10

Fuente: Santander, 1999, Pág. 20.

Tabla 5. $k(30,30)$ en arcillas

Consistencia de la arcilla	DENSA	MUY DENSA	DURA
Valor de q_u , Kg./cm ²	1,2	2 – 4	>4
Valores límites de $k(30,30)$, Kg./cm ³	1,6-3,2	3,2 – 6,4	>6,4
Valores propuestos	2,5	5	10

Fuente: Santander, 1999, Pág. 20.

Nota: Los valores límites de $k(30,30)$ son aproximadamente iguales a $1,6 q_u$.²²

²¹ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.17.

²² ZEEVAERT, Leonardo. Interacción Suelo – Estructuras de Cimentación. LIMUSA. P.11-12.

1. Para el caso de arcillas, las características de deformación son prácticamente independientes de la profundidad, y el asentamiento es directamente proporcional a la profundidad del bulbo de presión, de lo cual resulta la siguiente expresión:

$$k(B,L) = \frac{20}{B} \left(1 + \frac{15}{L} \right) k(30,30)$$

Donde: B y L = ancho y longitud, respectivamente de la viga en cm.,

K (30,30) = módulo de reacción vertical del suelo para una placa cuadrada de 30 cm. de lado.

K (B, L) = módulo de reacción vertical del suelo para una viga de longitud L y ancho B.

2. En el caso de arenas, las características de deformación son una función de la profundidad, ya que el módulo de elasticidad aumenta con ésta y, por lo tanto, el asentamiento no es directamente proporcional a la profundidad del bulbo de presión. Según las investigaciones, el coeficiente de reacción vertical del suelo para una viga de longitud L y ancho B que descansa en arena, sin cohesión o muy ligeramente cohesiva, es:

$$k(B,L) = \left(\frac{B+30}{2B} \right)^2 k(30,30)$$

Donde B y L son el ancho y longitud de la viga en cm²³.

Determinación de K para losas de hormigón solicitadas por cargas concentradas: Terzaghi muestra que para el caso de una losa o pavimento que soporta una carga concentrada, la mayor parte de la carga se transmite al suelo dentro de una distancia.

$$R = \sqrt[4]{\frac{10Eh^3}{3(1-\mu^2)k}}$$

²³ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.18-19.

Donde: E =Módulo de elasticidad del hormigón
 μ = Coeficiente de Poisson del hormigón
 h =Espesor de la losa
 R =Intervalo de influencia de la carga.
 k =Coeficiente de balasto.

Más allá de esa distancia el asentamiento de la base de la losa es despreciable, y pudiera no tenerse en cuenta la parte de la losa fuera de esa distancia en la determinación de los esfuerzos internos locales.

5.5.2.2 Método de Vèsic. Vèsic llego a algunas conclusiones que son:

1. La razón de presiones y deformaciones a lo largo de la viga es prácticamente constante, si la viga tiene una longitud infinita. Esta razón es el módulo de reacción del suelo k , que se calcula mediante ecuaciones.

2. Cuando las vigas descansan en el semi-espacio elástico isotrópico son analizadas por medio de la teoría elemental basada en el módulo de reacción k , se sobrestiman los momentos flectores en la viga y se subestiman las presiones de contacto y las deformaciones.

Para vigas de longitud finita, puede demostrarse que el análisis convencional basado en la teoría del módulo de reacción, se justifica siempre y cuando la viga sea suficientemente larga.

5.5.2.3 Método de Wölfer. Este método nos ofrece una vía muy simple para determinar el módulo de reacción cuando este no ha sido obtenido mediante una prueba de carga, y se realiza la determinación del mismo para el punto característico²⁴.

Las consideraciones dadas por Terzaghi están ajustadas a propiedades de elasticidad, con el fin de acomodarlas a modelos matemáticos.

Todas las investigaciones expuestas por Terzaghi fueron basadas en consideraciones ideales (empíricas), teorías poco aceptadas ya que un suelo no es un medio homogéneo e isotrópico.

²⁴ DILLA SALVADOR, Op. cit., p. 418-431

5.5.2.4 Determinación directa del módulo de reacción del suelo a partir del ensayo de placa.

Determinación del factor escala : “El factor de escala permite proyectar los resultados obtenidos en los modelos de laboratorio para poder emplearlos en cimentaciones a escala real”²⁵.

“Para el cálculo de este factor se hará un paralelo a la metodología utilizada en la determinación del factor de escala para la proyección de asentamientos mediante ensayos de placa”²⁶.

$$\rho_B = q \int_0^H \frac{I_z}{E} dz$$

$$\rho_b = q \int_0^h \frac{I_z}{E} dz$$

Donde: ρ_B = Asentamiento real del cimiento.
 ρ_b = Asentamiento de la placa.
 q = Carga aplicada.
 E = Módulo de elasticidad del suelo.
 I_z = Coeficiente de influencia de esfuerzos

B : Subíndice que corresponde a un cimiento de tamaño real
 b : Subíndice que corresponde a un cimiento cuadrado de un pie de lado

$$\lambda = \frac{\rho_B}{\rho_b} = \frac{q \int_0^H \frac{I_z}{E} dz}{q \int_0^h \frac{I_z}{E} dz} = \frac{\int_0^H \frac{I_z}{E} dz}{\int_0^h \frac{I_z}{E} dz}$$

El factor λ depende de la variación del módulo de elasticidad “E” con la profundidad del estrato de suelo.

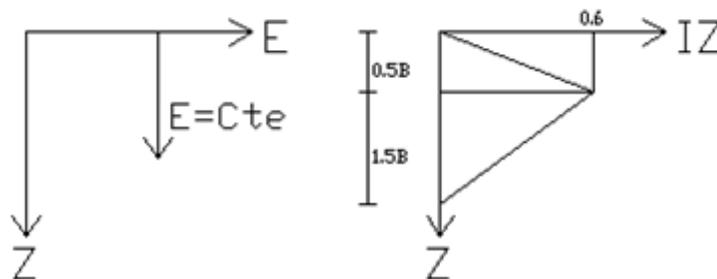
²⁵ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.18-19.

²⁶ Ibid., p.40.

“Los ensayos de laboratorio, muestran que los asentamientos de un terreno son variables según la rapidez con que se le aplican las cargas y que es más importante en el caso de una aplicación rápida, que si es lenta y progresiva”²⁷. Según esto, la aplicación de las cargas transmitidas por la zapata de una construcción sobre el suelo de cimentación, es progresiva a medida que se realiza la ejecución de los trabajos que dura generalmente varios meses, mientras que la aplicación de las cargas en el caso del ensayo de laboratorio es bastante más rápido. De ello resulta que la consideración del módulo de elasticidad o módulo de deformación, tienen por consecuencia una estimación de los asentamientos del lado de la seguridad²⁸.

“El módulo de elasticidad puede presentarse de diversas formas, que “E” sea constante, que varíe linealmente o que en forma parabólica con la profundidad”²⁹.

Figura 7. CASO A: Cuando “E” sea constante con la profundidad.



Fuente: Santander, 1999, Pág. 43.

$$\lambda = \frac{E \int_0^{2B} I_z dz}{E \int_0^{2b} I_z dz} = \frac{\text{area_del_coef.de_inf luencia_del_cimiento}}{\text{area_del_coef.de_inf luencia_del_mod elo}}$$

$$\lambda = \frac{0.6B}{0.6b} = \frac{B}{b}$$

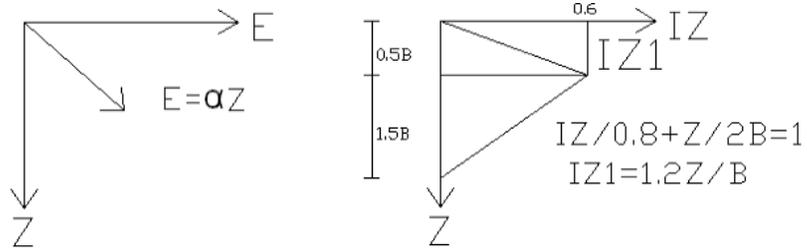
Valor que corresponde a una recta con pendiente 1. Este resultado indica que el factor de escala es proporcional al ancho del cimiento.

²⁷ DUNN, Irving S. Fundamentals of Geotechnical Analysis. New York: Jonh Wiley & Sons., p. 276 – 279.

²⁸ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. cit., p.42.

²⁹ CORAL, Hugo. Ejercicios de Fundaciones. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá: Post – geotecnia., p. 18 – 29.

Figura 8. CASO B: Cuando “E” aumenta linealmente con la profundidad.



Fuente: Santander, 1999, Pág. 44.

$$\lambda = \frac{\int_0^{2B} \frac{Iz}{E} dz}{\int_0^{2b} \frac{Iz}{E} dz}$$

Donde:

$$Iz (0-0.5B) = 1.2(Z/B)$$

$$Iz (0.5B-2B) = 0.4(2B-Z)/B$$

$$E = Z$$

Incluyendo estos valores en las integrales se tiene:

$$\lambda = \frac{\int_0^{2B} \frac{Iz}{\alpha Z} dz}{\int_0^{2b} \frac{Iz}{\alpha Z} dz}$$

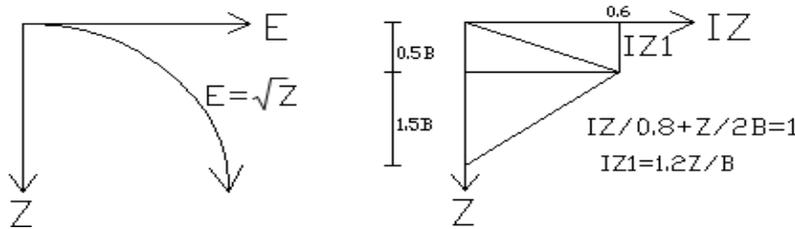
$$\lambda = \frac{\int_0^{0.5B} \frac{1.2Z}{BZ} dz + \int_{0.5B}^{2B} \frac{0.4(2B-Z)}{B} dz}{\int_0^{0.5b} \frac{1.2Z}{bZ} dz + \int_{0.5b}^{2b} \frac{0.4(2b-Z)}{b} dz}$$

Resolviendo y evaluando las integrales se obtiene:

$$\lambda = \frac{0.8 \ln(4)}{0.8 \ln(4)} = 1$$

Valor que indica que es independiente del ancho y que el asentamiento de la placa es igual al asentamiento del cimiento.

Figura 9. CASO C: Suponiendo que “E” varía con la raíz cuadrada de la profundidad.



Fuente: Santander, 1999, Pág. 46.

Para la determinación de λ se considera que el módulo “E” varía con la raíz cuadrada de la profundidad.

$$\lambda = \frac{\int_0^{2B} \frac{I_z}{E} dz}{\int_0^{2b} \frac{I_z}{E} dz} \quad \text{Donde:} \quad \begin{aligned} Iz(0-0.5B) &= 1.2(Z/B) \\ Iz(0.5B-2B) &= 0.4(2B-Z)/B \end{aligned} \quad E = \alpha \sqrt{Z}$$

Incluyendo estos valores en las integrales se tiene:

$$\lambda = \frac{\int_0^{2B} \frac{I_z}{\alpha \sqrt{Z}} dz}{\int_0^{2b} \frac{I_z}{\alpha \sqrt{Z}} dz}$$

$$\lambda = \frac{\int_0^{0.5B} \frac{1.2Z}{B\sqrt{Z}} dz + \int_{0.5B}^{2B} \frac{0.4(2B-Z)}{B\sqrt{Z}} dz}{\int_0^{0.5b} \frac{1.2Z}{b\sqrt{Z}} dz + \int_{0.5b}^{2b} \frac{0.4(2b-Z)}{b\sqrt{Z}} dz}$$

Resolviendo y evaluando las integrales se obtiene:

$$\lambda = \frac{0.73\sqrt{B}}{0.73\sqrt{b}} = \sqrt{\frac{B}{b}} \quad 30$$

³⁰ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. Cit., p.4384– 47.

Por otra parte se adopta que la distribución de esfuerzos se realiza de acuerdo a las recomendaciones de Leonards, teniendo en cuenta las dimensiones, Largo (L) y Ancho (B) del cimiento, que se presenta a continuación.

Con propósitos prácticos es importante evaluar el módulo de deformación “E” del suelo, y a partir de éste resultado determinar el comportamiento de un suelo de fundación.

El módulo “E” puede determinarse mediante ensayos de laboratorio establecidas en la teoría elástica³¹.

“E” no es una constante del suelo, sino una magnitud que describe aproximadamente el comportamiento del mismo³².

La medición del módulo de deformación del suelo puede hacerse mediante ensayos de laboratorio como son:

- Ensayos triaxiales
- Ensayos de placa
- Ensayos de compresión inconfiada
- Ensayo de consolidación
- Ensayos de refracción sísmica

Además se pueden encontrar correlaciones a través de ensayos de corte directo, penetración estándar, penetrómetro dinámico de cono, penetrómetro dinámico liviano³³.

Es importante anotar que el Módulo Edométrico (obtenido de un ensayo de consolidación) no es equivalente al Módulo Lineal.

$$E = E_m * \frac{(1 - \nu - 2\nu^2)}{1 - \nu} \quad 34$$

Algunos valores típicos del módulo “E” se presentan en la tabla 6:³⁵

³¹ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. Cit., p.47 – 48.

³² LAMBE, William y HHITMAN, Robert. Mecánica de suelos. México. LIMUSA. 1989., p.165.

³³ SANTANDER BURITICA y AYALA BURBANO, Op. Cit., p.49.

³⁴ JIMENEZ S., José. Op. Cit., p.181.

³⁵ CORAL, Hugo. Anotaciones de la Cátedra de Geotecnia II. Universidad de Nariño. Pasto.

La relación de Poisson ν , y el módulo elástico o de Young, E, se pueden expresar respectivamente como:

$$\nu = \frac{\text{deformación en eje Z}}{\text{deformación en eje X o Y}}$$

$$E = \frac{\text{esfuerzo en eje Z}}{\text{deformación en eje Z}}$$

Tabla 6. Valores típicos del módulo elástico o de Young, (E).

VALORES TÍPICOS DE “E” PARA	E(K/cm ²)
Arcilla muy blanda (<0.25)	3 -15
Arcilla blanda (qu =0.25 – 0.5)	15 -30
Arcilla media (qu =0.5 – 2)	30 – 90
Arcilla compacta – dura (2-4)	90 – 160

DEPENDEN DEL CONTENIDO DE AGUA

Limo no plástico	20 – 200
Arena limosa	50 – 200
Arena suelta	100 -250
Arena densa	100 – 1000
Grava arenosa suelta	500 – 1400
Grava arenosa compacta	800 - 2000

DEPENDEN DE LA DENSIDAD RELATIVA

Fuente: SANTANDER, 1999, Pág. 51

Tabla 7. Valores orientativos para el proyecto de cimentaciones sobre suelos granulares gruesos

Terreno*	Módulo de deformación E' (Kp/cm2)		Presión admisible (Kp/cm2) Zapatas	Presión admisible (Kp/cm2) Losas
Morrenas o bloques mal graduados, con huecos y excavables con relativa facilidad.	450	0,35	1,5 **	1,0**
Id. bien graduados, con pocos huecos.	550	0,30	2,0	1,5
Id. bien graduados y compactos excavables con dificultad.	750	0,25	3,0	1,8
Gravas y gravas arenosas flojas. Fácilmente excavables desmoronándose las paredes de las catas en seco.	200	0,30	1,5	1,0
Id. compactas, excavables manteniéndose catas de 3-4 m.	400	0,25	2,5	1,5
Gravas areno-arcillosas, bien graduadas flojas.	300	0,25	2,0	1,0
Id. compactas, excavables con dificultad.	600	0,20	3,5	2,0

* Se supone que el terreno está sumergido o con el nivel freático profundo. Si existe riesgo de que el nivel freático pueda ascender hasta las cimentaciones los valores de la tabla se reducirán al 60%.

**Suele resultar necesario colocar una capa de regularización y nivelación de hormigón pobre.

Fuente: RODRIGUEZ, 2002, Pág. 61

5.5.2.5 Obtención del coeficiente de balasto para el presente trabajo de grado. El coeficiente de balasto, aunque depende de las propiedades del terreno, no es una característica propia del mismo, por lo tanto el coeficiente de balasto que se obtenga en esta investigación deberá modificarse para cada caso en particular según las formulas anotadas en la presente investigación, teniendo en cuenta que dicho coeficiente no es un propiedad propia del terreno y que varía según la geometría y el tipo de cimentación objeto de estudio.

El coeficiente de balasto debe ser estimado a partir del ensayo de plato de carga, ensayo que no es realizado comúnmente en la región y es estimado empíricamente. Para el caso de esta investigación el coeficiente de balasto se estimó utilizando correlaciones empíricas propuestas por Terzaghi para suelos arcillosos y arenosos, considerando como tipo de cimentación zapatas cuadradas

de 1 pie de lado. Estas correlaciones son función del tipo de suelo y la resistencia del suelo o la penetración estándar del mismo. La elección del coeficiente de balasto ha sido objeto de varias propuestas, sugeridas por diversos autores, los cuales, en general, parten del trabajo inicial de Karl Terzaghi.

En el desarrollo del presente capítulo K_{s1} es el coeficiente de balasto para una placa cuadrada de 1 pie de lado, se adopta K_b para zapatas cuadradas de lado b y K_{bl} para zapatas rectangulares de dimensiones $b \times l$.

Suelos arcillosos: para el caso de estructuras horizontales apoyadas sobre suelos arcillosos, Karl Terzaghi propuso una correlación del coeficiente de balasto K_{s1} en función de la resistencia a la compresión simple q_u . La correlación inicial, expresada en unidades anglosajonas fue la siguiente.

$$K_{s1} \text{ (ton/pie}^3\text{)} = 50 q_u \text{ (ton/pie}^2\text{)}$$

La anterior expresión en unidades métricas se expresa de la siguiente manera.

$$K_{s1} \text{ (kg/cm}^3\text{)} = 1.6404 q_u \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Suelos Arenosos: para el caso de estructuras horizontales apoyadas sobre suelos arenosos, Karl Terzaghi propuso una correlación del coeficiente de balasto K_{s1} en función de la compacidad del material.

$$K_{s1} \text{ (Kg. /cm}^3\text{)} = 10^{(N_{spt}+2)/34}$$

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se utiliza es de análisis y alcance, porque determina la manifestación de un fenómeno “suelo” en sus componentes, por medio de la recolección de información geotécnica en la ciudad y su análisis, se obtiene un instrumento útil que contribuye a la microzonificación sísmica.

La realización de este trabajo, tiene un alcance que abarca gran cobertura en todo el ámbito urbano de la ciudad de San Juan de Pasto, que según el POT está limitado y dividido según el mapa Anexo A.

La base de datos desarrollada contiene la información más común y los parámetros más usados en los estudios geotécnicos recopilados.

6.2 MECÁNICA OPERATIVA

Esta investigación se centró principalmente en clasificar por zonas o áreas que presentan características físico-mecánicas del subsuelo de la región relativamente homogéneas. Dicho de otra manera, se organizó las propiedades homogéneas de los suelos, mediante su localización en mapas de la zona urbana de la Ciudad de Pasto.

De igual forma, se realizó una revisión bibliografía con el propósito de encontrar correlaciones entre el coeficiente de balasto y pruebas convencionales realizadas en la región para facilitar su aplicación en la parte estructural.

La forma en que se desarrolló el trabajo de grado se simplifica:

- Recopilación de la información necesaria como mapas planimétricos, información topográfica, estudios geotécnicos de la ciudad que se encuentran en las curadurías, planeación municipal y empresas consultoras.
- A modo de orientación se clasificaron algunos de los estudios geotécnicos, para diseñar la base de datos con los requerimientos de la misma, esto, de acuerdo a las necesidades del trabajo de grado y de los datos suministrados de manera general por los estudios y además por

recomendaciones geotécnicas orientados a ser útiles para la microzonificación sísmica.

- Después de haber inventariado 428 estudios que corresponden a la mayoría de los estudios geotécnicos que se tienen desde 1988 hasta el año 2007, se realizó un mapa geotécnico actualizado para la ciudad de San Juan de Pasto, con lo que se cumplió con los objetivos propuestos dentro del trabajo.

La estructura de la base de datos es plana, ya que se diseñó, con múltiples tablas en un solo archivo, pero utiliza otros archivos para almacenar los mapas. Los “Tipos de datos” que contiene la base de datos son: reales dobles, para valores numéricos; enteros largos, para los índices; y cadenas, para las descripciones y textos.

6.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA

6.3.1 Obtención de los estudios de suelos de la zona urbana de la ciudad de Pasto.

Se realizó de la siguiente manera:

- Se inventariaron estudios geotécnicos representativos para el diseño de la base de datos, de acuerdo con necesidades actuales y futuras, teniendo en cuenta el propósito de la microzonificación sísmica.
- Se escogió el tipo de base de datos y el programa que la manipule, teniendo en cuenta lo señalado en el numeral 6.4 (Diseño y creación de la base de datos).
- Una vez diseñada la base de datos, se dio paso a la entrada de datos, procurando que se contemplen todos o al menos la mayoría de los estudios geotécnicos que se han realizado en la ciudad de Pasto.

Los estudios geotécnicos se obtuvieron en base a las curadurías urbanas, planeación municipal y empresas consultoras.

6.3.2 Adquisición de información Planimétrica, Geológica y Topográfica de la ciudad de San Juan de Pasto.

Para esto, planeación municipal suministro los planos topográficos, urbanos e hidrográficos en escala 1:125000 elaborados en AutoCAD y actualizados al año 2003.

La información geológica se obtuvo de la plancha 429 de INGEOMINAS – Pasto y de su memoria explicativa.

6.4 DISEÑO Y CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Los campos que tiene la base de datos, se escogieron de acuerdo a los parámetros más comunes contenidos en los diferentes estudios geotécnicos de la región que existen hasta el momento, además, se tuvo en cuenta la proyección a un futuro en lo referente a algunas variables que se pueden anticipar, como es el caso de información necesaria para la microzonificación sísmica.

Aparte de lo mencionado, en la escogencia de los programas para el desarrollo de este trabajo, se tuvo en cuenta lo mencionado en el numeral 8.1.3.

6.5 PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

Se realizó a partir de todos los estudios de suelos de la ciudad de Pasto que se almacenaron en la base de datos, en donde el programa desarrollado procesó la información, permitiendo que los procesamientos fueran más rápidos y eficaces.

6.5.1 Zonificación geotécnica preliminar. Se elaboró mapas preliminares y se compararon con mapas realizados en la actualización del año 1999.

6.5.2 Elaboración de mapas de zonificación geotécnica para San Juan de Pasto actualizados al año 2007.

Para lo cual se realizó:

- Zonificación del primer estrato inorgánico siempre y cuando éste supere al menos un metro de espesor.
- Zonificación del estrato predominante. Entendiéndose como aquel que se repita más y supere un metro de espesor.
- Zonificación del Nivel Freático.

- Zonificación de las velocidades de ondas de corte. Este mapa se lo obtuvo utilizando las velocidades de ondas de corte estimadas mediante correlaciones empíricas.

7. GELOGÍA

Este trabajo está delimitado geográficamente por las zonas establecidas según el POT de la ciudad de San Juan de Pasto, por tal razón la geología presentada en este trabajo comprende esta zona y sus alrededores más próximos.

La geología presentada se obtuvo en la plancha geológica 429 de INGEOMINAS pasto y su memoria explicativa; Esta plancha fue publicada en 1991 y no hay actualizaciones más recientes.

7.1 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía anotada en el presente capítulo comprende a la era cenozoica (periodo terciario y cuaternario, 65 millones de años a.p.). El mapa geológico se presenta en la figura 10 y en el Anexo F.

7.1.1 Vulcanitas Los depósitos relacionados con la actividad volcánica del periodo terciario-cuaternario cubren un 75 % de la plancha geológica y están asociados a diferentes centros de erupción, localizados en el altiplano y centro-oriente, algunos de estos focos volcánicos se encuentran fuera de la plancha; se han detectado 36 de ellos (cráteres y caderas), dentro del área trabajada; de estos últimos solamente el volcán Galeras está activo y desde febrero de 1989 abandonó su estado de reposo produciendo varias emisiones pequeñas de cenizas; los demás se consideran extintos y sus aparatos se encuentran total o parcialmente destruidos³⁶.

Litológicamente las zonas aledañas a la ciudad de San Juan de Pasto, están diferenciadas de acuerdo a la siguiente clasificación...véase Anexo F...:

Lavas (TQvl): afloran especialmente en el área del complejo volcánico del Galeras; se trata principalmente de flujos masivos de forma tubular y algunos escoriasceos, lavas aa' y lavas en bloques; generalmente se hallan intercalados con otros materiales volcánicos; son rocas porfíricas con fenocristales que rara vez sobrepasan los 2 mm en su mayor diámetros y que presentan evidentes texturas de flujo.

³⁶ A. Murcia L. Y H. Cepeda V. Memoria Explicativa, Plancha geológica 429 de INGEOMINAS – Pasto. P. 11.

Figura 10. Mapa Geológico de San Juan de Pasto

Flujos de cenizas, Pumitas Y Escoria (TQvf): los mejores afloramientos de este tipo de depósitos se hallan en el sector de la desembocadura del río Bobo al río Guátara, en la carretera Panamericana (Pasto Ipiales) antes de Catambuco, y en los sectores Pasto - Jenoy – antena Inravisión, estos últimos asociados al volcán Galeras. Un cono de escoria puede observarse en la carretera Yacuanquer-Consaca, sector la Guala. Son depósitos sin soldar y caóticos compuesto primordialmente de fragmentos de pumitas y/o escoria de matriz de ceniza o simplemente por clastos tamaño ceniza. Es común observar bandeamientos de escorias y de pumita en los piroclastos del volcán Galeras, indicando mezclas de magmas.

Lavas y Cenizas (TQvlc): esta unidad está bastante distribuida en la plancha y está conformada por lavas y fluidos y/o caídas de ceniza no diferenciables en la cartografía geológica a escala 1:100.000; generalmente hay predominio de lavas que se hallan cubiertas por cenizas o tienen intercalaciones de ellas.

Lahares y Piroclastos (TQvlp): estos depósitos aparecen en el área de Sandona y Olaya Herrera, asociados al volcán Galeras, en el área de Villas Moreano y Rosal del Monte, derivados de la actividad de los volcanes Morasurco Y Bordoncillo, en el sector El Tambor-Tangua-Yacuanquer, derivados del Galeras y de focos extinguidos del SE de Pasto, y los del río Pasto, originados por los volcanes Morasurco y Galeras. La unidad está conformada por varios depósitos de lahares intercalados y separados por caídas de ceniza, no diferenciables a la escala trabajada, predominando los lahares.

Depósitos volcánicos sin Diferenciar (TQvsd): debido al continuo cambio de facies y a la escala de la cartográfica geológica (1:100.000), existen zonas donde no se han diferenciado los depósitos volcánicos.

Lluvias de Cenizas (Qvc): representan la actividad explosiva de los diferentes focos volcánicos, están suavizando una morfología preexistente y modelan en gran parte, la actual. Son importantes los depósitos del E de Pasto, Los del sector de Bombona y Yacuanquer y los de Imués y Funes. Presentan una morfología de lo más pequeña y redondeadas, con estructuras típicas de depósitos sedimentarios como gradación.³⁷

³⁷ A. Murcia Y H. Cepeda, Op. cit., P. 11-13.

7.1.2 Depositos glaciares y fluvio-glaciares (Qsgf) La morfología glacial mas típica se presenta en el sector Peñas Blancas-La Aguada(SE de la Plancha) y en el área del volcán Galeras, donde se conservan muy bien circos, valles en U, lagunas representadas por morrenas de recesión y morrenas laterales terminales y de recesión. Los depósitos netamente glaciares se hallan cubiertos totalmente por vegetación de páramo y solo son distinguibles los de tipo fluvio-glacial, representados por gravas y arenas principalmente. Partiendo de la base de que se conservan muy bien la morfología glacial en el área y que las dataciones de depósitos glaciares a nivel regional se restringen al cuaternario, no hay bases para creer que los depósitos de este tipo en la plancha posean edades diferentes³⁸.

7.1.3 Depositos coluviales y aluviales (Qcal) Los más importantes están localizados en la ciudad de pasto, en el río Barracon y en el área de San Ignacio. Los depósitos aluviales se componen de gravas, arenas, limos y arcillas asociadas a los anales fluviales y a los valles inundación. Los depósitos coluviales forman generalmente conos de deyección y se componen de matinal homogéneos en tamaños y, a veces ni en origen. Estos tipos de depósitos son cuaternarios y muchos de ellos están en proceso de formación³⁹.

7.1.4 DEPOSITOS LACUSTRES (QI) Son depósitos producidos por lagunas naturales y artificiales, y zonas pantanosas que sólo inundan en invierno y/o son relictos de antiguos dominios lacustres; son esencialmente limos de colores claros y oscuros, según el contenido de materia orgánica y las épocas de alta baja o no lluviosidad. La edad de este tipo de depósitos debe ser Holoceno y se continúan formando en la actualidad⁴⁰.

7.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A partir de la interpretación de imágenes landsat, se ha querido seguir el trazo de importantes megafallas, las cuales en el área trabajada desaparecen bajo los ponentes depósitos volcánicos terciarios-cuaternarios. La actividad cuaternaria de estas fallas en algunos casos es evidente⁴¹.

³⁸ A. Murcia Y H. Cepeda, Op. cit., P.14.

³⁹ Ibid., P. 14.

⁴⁰ Ibid., P. 14.

⁴¹ Ibid., P. 15.

7.2.1 Sistemas de fallas romeral Su trazo principal pasa por el volcán Galeras, tiene una dirección N 45° E y, hacia el sur tiene a N 10° E, donde se continua por el río Guáitara. La falla de Buesaco se asocia a este sistema; es común encontrar complejos caldéricos en el trazo de estas fallas⁴².

El sistema de fallas del romeral es la expresión morfológica de una paleozona de subducción jura-cretácica⁴³.

7.2.2 Falla pasto Interpretada a partir de imágenes de satélite Landsat, tiene una dirección norte entre N25° E y N40°E, está afectada a las rocas del conjunto Metasedimentario-volcánico de Sacanambuy, a las cuales les imprime fracturamiento y cataclasis. En su prolongación su trazo es muy confuso, ya que parece encontrarse con las fallas San Ignacio y con el sistema de fallas del río Magdalena⁴⁴.

Asociadas al trazo de esta falla se encuentran a las calderas del río Bobo y San Vicente, y parece que los deslizamientos y agrietamientos que ocurren al sur de Tangua, están relacionados con la actividad de esta falla. En general, las estructuras tiene aproximadamente un rumbo N10°E a N45°E y se deben a los esfuerzos de compresivos típicos en zonas de convergencia destructiva de placas litosféricas. En este caso, las orientación de las fallas estaría dada por la acción de la placa de Nazca que subduce al bloque andino⁴⁵.

7.3 GEOQUIMICA Y GEOLOGIA ECONOMICA

Los potentes depósitos volcánicos del periodo Terciario-Cuaternario ocupan más del 75% de la Plancha 429-Pasto, razón por la cual en el área trabajada solamente existe, en pequeñas escala, explotación de lavas, cenizas lapillo como materiales de construcción; no se conocen explotaciones de minerales metálicos y solo se observo pirita asociada a los cuerpos hipoabisales⁴⁶.

⁴² A. Murcia Y H. Cepeda, Op. cit., P.15.

⁴³ CORAL MONCAYO, Op. cit., p. 83.

⁴⁴ Ibid., P 83.

⁴⁵ Ibid., P 83.

⁴⁶ A. Murcia Y H. Cepeda, Op. cit., P.16.

8. BASE DE DATOS

Para facilitar el desarrollo de este proyecto, se elaboró una base de datos que contiene información pertinente al presente trabajo de investigación, la cual permite su actualización a medida que se obtenga información de nuevos estudios geotécnicos, además, podrá ser utilizada como fuente de consulta para la elaboración de la microzonificación sísmica de esta ciudad y por personas que necesiten de esta información.

Para facilitar la organización, las consultas, la validación y la presentación de la información de la base de datos, se elaboró un programa llamado **GeoZonifica**, que además, ayuda en la elaboración de los mapas geotécnicos como se explica en el capítulo 9.

Si el programa fuese instalado en las curadurías para ingresar la información de los nuevos estudios que se realicen, se contará con una Zonificación Geotécnica actualizada en el momento que así se lo requiera.

8.1 ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS

8.1.1 Parámetros a inventariar. Inicialmente se escogieron los parámetros más comunes que se han trabajado en la región para crear los campos que contiene la base de datos, tomando como base la “Actualización de la Zonificación Geotécnica de 1999”⁴⁷ y 50 estudios de suelos de las firmas más comunes de la ciudad. En los 50 estudios se encontró 80 apiques, 50 perforaciones y 40 sondeos, provenientes de planeación municipal, y las curadurías primera y segunda de la ciudad de Pasto. En los mencionados estudios se encontró que la información presente más común o frecuente es la siguiente: nombre del estudio, dirección del estudio, fecha de elaboración del estudio, firma que realizó el estudio, uso de la edificación, área construida en metros cuadrados, número de pisos de la edificación, tipo de muestreo realizado ya sea apique, sondeo o perforación según el estudio, datos de granulometría, peso unitario húmedo, clasificación del suelo según la USC, presencia de nivel freático, profundidades a las que se encuentran los estratos, límite líquido, índice de plasticidad, porcentaje de humedad natural, gravedad específica, resistencia sin drenar y resistencia a la estándar.

⁴⁷ GUERRERO ACOSTA, Germán Andrés e IMUEZ MAZO Carmen Cecilia. Actualización de la Zonificación Geotécnica Urbana para la Ciudad de San Juan de Pasto. Universidad de Nariño: San Juan de Pasto, 1999.

Estos estudios corresponden a edificaciones realizadas desde el año de 1979 que pertenecen principalmente a centros comerciales, almacenes, escuelas, bibliotecas, edificios de apartamentos y edificaciones de ocupación normal. En los cuales, se encontró profundidades de exploración de 0 hasta 14 metros bajo la superficie; observándose en muy pocas edificaciones, exploraciones de gran profundidad.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se elaboró el formulario de recopilación de datos que se muestra en la Figura 13 y en el anexo G, en el cual se registró la información de manera manual. En las figuras 11 y 12 se muestran los formularios de anteriores zonificaciones geotécnicas, de los cuales se puede apreciar que el formulario de recopilación de datos utilizado es el mismo en las anteriores actualizaciones geotécnicas y ha cambiado sustancialmente para la actual zonificación.

Figura 11. Formulario de recopilación de datos, actualización geotécnica 1993.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA																									
ZONIFICACION GEOTECNICA URBANA PRELIMINAR PARA PASTO																									
Formato : Recopilación de información básica de estudio de suelos																									
A. INFORMACION GENERAL																									
Redicula _____			Cota _____ m.s.n.m.			Fecha _____			Firma Ejecutora _____			Codigo _____													
B. CARTOGRAFIA																									
Topografía _____			Coordenadas X = _____			Y = _____																			
C. CARACTERISTICA DE LA OBRA																									
Edificio <input type="checkbox"/>			Nombre _____			No de pisos _____			Area lote _____ m ²																
Otra <input type="checkbox"/>			Ocupación _____			Dirección _____																			
D. METODO DE EXPLORACION																									
Sondeos <input type="checkbox"/>			Número _____			Muestreo para determinación de características esfuerzo-deformación																			
Apiques <input type="checkbox"/>			Profundidad máxima _____ m			Bloque <input type="checkbox"/> Tubo pared delgada <input type="checkbox"/>																			
E. CAPACIDAD PORTANTE RECOMENDADA																									
Cimientos cuadrados o rectangulares _____ Tn/m ²			Continuas _____ Tn/m ²																						
F. REGISTROS DE EXPLORACION _____ / _____																									
ESTRATIGRAFIA	PROFUNDA m	DESCRIPCION	USC	w %	LL (%)	Ip (%)	PESO UNITARIO		% PASA		PARAMETRO RESISTENCIA					Cc	OTROS								
							SECO (tn/m3)	HUM (tn/m3)	N 4	N 200	qu (k/c ²)	N spt	C' (k/c ²)	O' s	Gs										
																									
OBSERVACIONES ESPECIALES _____																Hucomo-92									
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">w Humedad natural</td> <td style="width: 33%;">qu Resistencia a la compresión inconfiada</td> <td style="width: 33%;">O' Angulo de fricción interna</td> </tr> <tr> <td>LL Limite liquido</td> <td>Nspt Penetración estandar</td> <td>Gs Gravedad Especifica</td> </tr> <tr> <td>Ip Indice de plasticidad ¹</td> <td>C' Resistencia drenada</td> <td>Cc Indice de compresibilidad</td> </tr> </table>																	w Humedad natural	qu Resistencia a la compresión inconfiada	O' Angulo de fricción interna	LL Limite liquido	Nspt Penetración estandar	Gs Gravedad Especifica	Ip Indice de plasticidad ¹	C' Resistencia drenada	Cc Indice de compresibilidad
w Humedad natural	qu Resistencia a la compresión inconfiada	O' Angulo de fricción interna																							
LL Limite liquido	Nspt Penetración estandar	Gs Gravedad Especifica																							
Ip Indice de plasticidad ¹	C' Resistencia drenada	Cc Indice de compresibilidad																							

Fuente: CORAL, 1993. Anexo 1.

Figura 12. Formulario de recopilación de datos, actualización geotécnica 1999.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
ZONIFICACION GEOTECNICA URBANA PARA PASTO
FORMATO: Recopilación de Información básica de estudio de suelos

A. INFORMACION GENERAL
 RETICULA _____ COTA _____ m.s.n.m FECHA _____
 FIRMA EJECUTORA _____ CODIGO _____

B. CARTOGRAFIA TOPOGRAFIA _____ CORDENADAS X _____ Y _____

C. CARACTERISTICAS DE LA OBRA
 EDIFICIO NOMBRE _____ N° DE PISOS _____ AREA LOTE _____ m²
 OTRA OCUPACION _____ DIRECCION _____

D. METODO DE EXPLORACION MUESTREO PARA DETERMINACION DE CARACTERISTICAS ESFUERZO - DEFORMACION
 SONDEO NUMERO _____
 APIQUES PROFUNDIDAD MAXIMA _____ m BLOQUE TUBO PARED DELGADA

E. CAPACIDAD PERMISIBLE RECOMENDADA
 CIMIENTOS CUADRADOS O RECTANGULARES _____ TN/m² CONTINUAS _____ TN/m²
 LOSA _____ TN/m² OTRA _____ TN/m²

F. REGISTROS DE EXPLORACION _____

ESTRA TIGRA FIA	PRO FUN M.	DESCRIPCION	USC	W %	LL %	IP %	PESO UNITA.		%. PASA		PARAMET. RESISTEN			GS	Cc	OTROS
							SEC	HUM.	N. 4	N200	qu K/C*	Nspt	C K/C			

OBSERVACIONES ESPECIALES: _____

W HUMEDAD NATURAL **qu** RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA **φ** ANGULO DE FRICCION INTERNA
LL LIMITE LIQUIDO **Nspt** PENETRACION ESTANDAR **Gs** GRAVEDAD ESPECIFICA
Ip INDICE DE PLASTICIDAD **C** RESISTENCIA DRENADA **Cc** INDICE DE COMPRESIBILIDAD

Fuente: SANTANDER, 1999. p. 15.

Figura 13. Formularios de recopilación de datos 2007

FORMULARIO PARA CADA ESTUDIO

Datos Del Estudio

Estudio Numero: _____
Barrio: _____
Firma ejecutora: _____
Nombre del estudio: _____
Dirección del estudio: _____
Fecha del estudio: _____ **Área (m2):** _____
Uso: _____
Número de pisos: _____ **Tiene sótano?:** _____

FORMULARIO PARA CADA EXPLORACION

Datos De La Exploración

Estudio Numero: _____
Nombre de la exploración: _____ **Nivel Freático (m):** _____
Profundidad (m): _____ **Cota superior (msnm):** _____
Espesor C. vegetal (m): _____ **Tipo de exploración:** _____

Perfil Estratigráfico

Capa No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Espesor de la capa (m)</i>										
<i>Tipo de muestra</i>										
<i>PT4, % pasa tamiz N° 4</i>										
<i>PT40, % pasa tamiz N° 40</i>										
<i>PT200, % pasa tamiz N° 200</i>										
<i>PUS, Pu Seco (Ton/m3)</i>										
<i>PUH, Pu Húmedo Ton/m3)</i>										
<i>LL (%)</i>										
<i>IP (%)</i>										
<i>Gs</i>										
<i>w (%)</i>										
<i>Dc, diámetro de cantos (cm)</i>										
<i>AASHTO</i>										
<i>USC</i>										
<i>(°)</i>										
<i>c (Cohesión) (k/cm2)</i>										
<i>Nspt. (golpes/Pie)</i>										
<i>qu (k/cm2)</i>										

8.1.2 Otros parámetros. Teniendo en cuenta que en el presente trabajo de grado se estimarán más adelante algunos parámetros dinámicos empíricamente como: la velocidad de ondas de corte, el módulo de corte dinámico máximo y el Coeficiente de balasto y que la base de datos será fuente de consulta y actualización para futuras investigaciones, se optó por incluir en la base de datos, dos campos para cada parámetro: uno para datos estimados empíricamente y otro para datos que se estimen posteriormente por medio de ensayos.

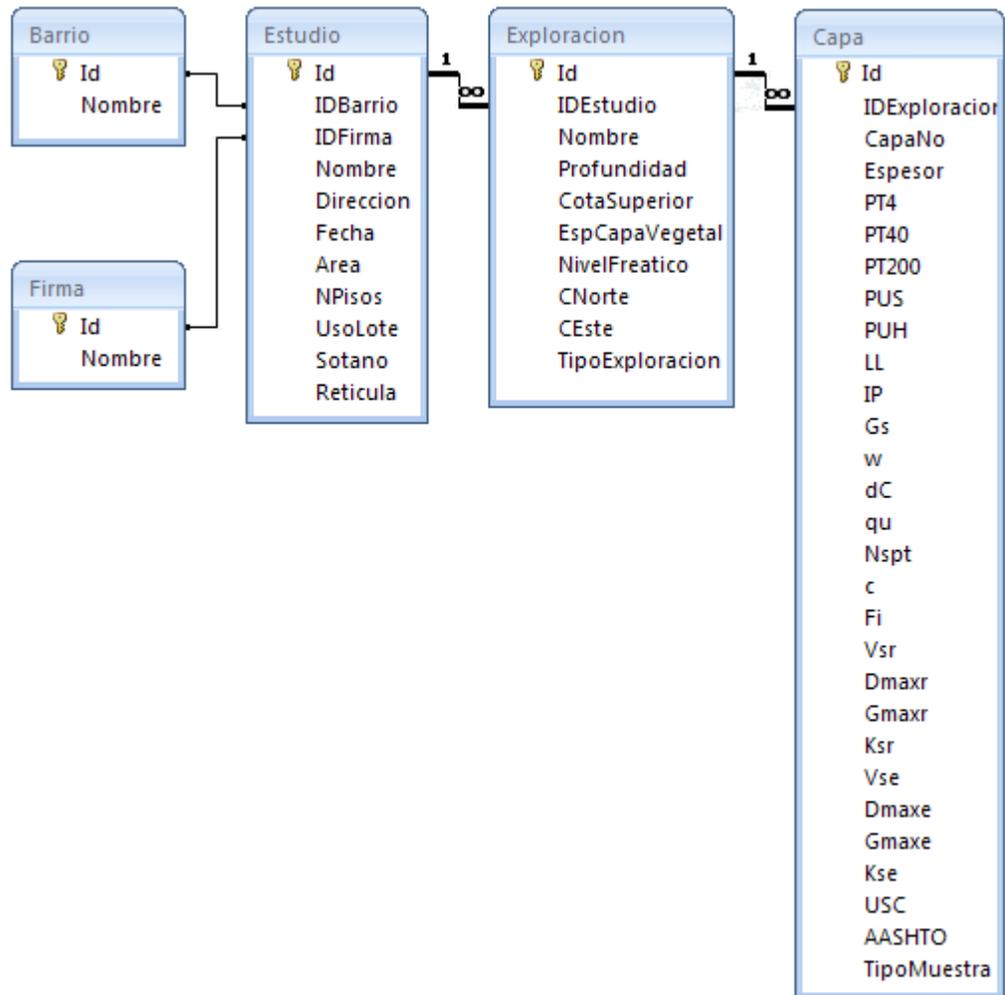
8.1.3 Selección del tipo de base de datos. El tipo de base de datos, el tipo de campos que contiene y el programa que los manipula los datos se escogió teniendo en cuenta los siguientes puntos que se mencionan en el anteproyecto presentado para el presente trabajo de grado:

- Que la universidad tenga licencia para los programas escogidos.
- Que los autores de este trabajo tengan conocimiento acerca del manejo de estos programas o en su defecto que los programas escogidos sean de fácil manejo y/o superen las expectativas requeridas para este proyecto, siempre y cuando el tiempo de aprendizaje o la capacitación para el manejo de estos no sea muy extenso.
- Que el programa escogido sea de fácil capacitación y uso para los usuarios.

Teniendo en cuenta lo anterior se escogieron los siguientes programas para la realización del presente trabajo de grado: Microsoft Access para crear la base de datos, que además permite modificar su contenido desde otros programas como por ejemplo Microsoft Visual Basic o Microsoft Excel, Para el procesamiento de los datos se escogió a Microsoft Visual Basic .NET que es una herramienta avanzada de programación y permite realizar conexiones con los programas escogidos para la presente investigación, para la presentación de los mapas se escogió AutoCAD 2000 o superior debido que además de lo mencionado en los puntos del presente numeral, puede utilizarse para la elaboración de mapas de manera automática desde Microsoft Visual Basic.

8.1.4 Diseño de la base de datos. Una vez establecidos los parámetros a incluir en la base de datos e inventariado la información de los estudios como se mencionó...en el numeral 8.1.1..., se procedió al diseño de la base de datos en Microsoft Access, cuya estructura se presenta en la figura 14.

Figura 14. Estructura y relaciones de la base de datos.



Las definiciones de algunas de las variables presentes en las tablas se establecen en el glosario. Los detalles de las tablas y el tipo de datos que contiene la base de datos, se muestran en las siguientes tablas....Véase tablas desde la 8 hasta la 12...

Tabla 8. Detalle de la tabla Barrio

	Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
🔑	Id	Autonumérico	Entero largo
	Nombre	Texto	Campo de Texto de 50 caracteres

Tabla 9. Detalle de la tabla Firma

	Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
🔑	Id	Autonumérico	Entero largo
▶	Nombre	Texto	Campo de Texto de 50 caracteres

Tabla 10. Detalle de la tabla Estudio

	Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
🔑	Id	Autonumérico	Entero largo
	IDBarrio	Número	Entero largo
	IDFirma	Número	Entero largo
	Nombre	Texto	Campo de texto de tamaño 50 caracteres
	Direccion	Texto	Campo de texto de tamaño 50 caracteres
	Fecha	Fecha/Hora	Fecha corta de formato mm/dd/aaaa
	Area	Número	Numero real mayor que cero
	NPisos	Número	Numero Byte mayor que cero hasta 255
	UsoLote	Texto	Campo de texto de tamaño 50 caracteres
	Sotano	Sí/No	Campo que contiene valores Sí y No
	Reticula	Texto	Campo de texto de tamaño 40 caracteres

Tabla 11. Detalle de la tabla Exploración

	Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
🔑	Id	Autonumérico	Entero largo
	IDEstudio	Número	Entero largo
	Nombre	Texto	Campo de texto de tamaño 10 caracteres
	Profundidad	Número	Numero real mayor que cero
	CotaSuperior	Número	Numero real mayor que cero o nulo si no se ha establecido
	EspCapaVegetal	Número	Numero real mayor que cero o nulo si no existe
	NivelFreatico	Número	Numero real mayor que cero o nulo si no existe
	CNorte	Número	Numero real mayor que cero o nulo si no se ha establecido
	CEste	Número	Numero real mayor que cero o nulo si no se ha establecido
	TipoExploracion	Texto	Campo de texto de tamaño 50 caracteres

Tabla 12. Detalle de la tabla Capa

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id	Autonumérico	Entero largo
IDExploracion	Número	Entero largo
CapaNo	Número	Numero entre 0 y 255 - Byte
Espesor	Número	Numero real mayor que cero
PT4	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
PT40	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
PT200	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
PUS	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
PUH	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
LL	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
IP	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Gs	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
w	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
dC	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
qu	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Nspt	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
c	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Fi	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Vsr	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Dmaxr	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Gmaxr	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Ksr	Número	Numero real o nulo si no hay datos en el estudio
Vse	Número	Numero real o nulo si no hay datos estimados
Dmaxe	Número	Numero real o nulo si no hay datos estimados
Gmaxe	Número	Numero real o nulo si no hay datos estimados
Kse	Número	Numero real o nulo si no hay datos estimados
USC	Texto	Campo de texto de tamaño 12 caracteres
AASHTO	Texto	Campo de texto de tamaño 12 caracteres
TipoMuestra	Texto	Campo de texto de tamaño 40 caracteres

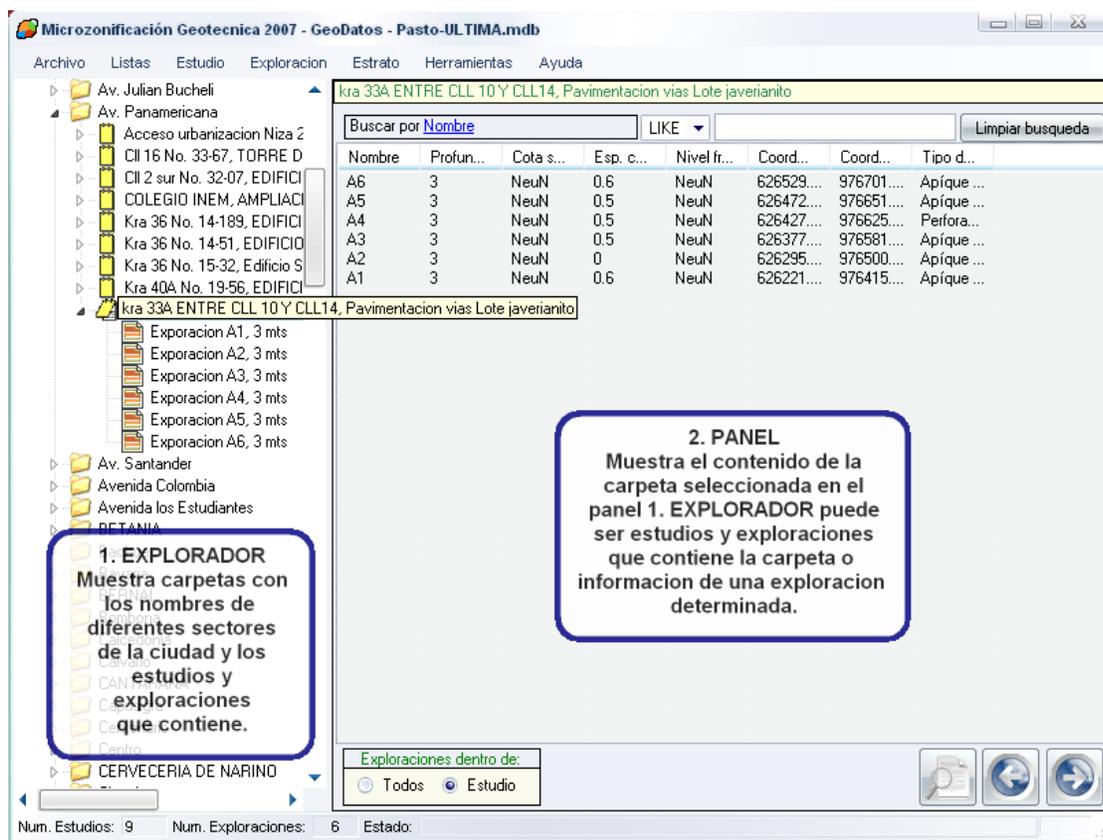
La definición de los parámetros mencionados en esta tabla se encuentra en el glosario de la presente investigación. Los parámetros que terminan en “r” como Ksr son reales, obtenidos por medio de ensayos y los que terminan en “e”, como Vse son parámetros estimados por medio de correlaciones empíricas.

8.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA GeoZonifica PARA LA BASE DE DATOS

Para actualizar los campos de la base de datos, se realizó un programa llamado **GeoZonifica**, Este programa facilita la actualización, consulta e impresión de los datos de una manera agradable y fácil para el usuario. La descripción de la parte del programa que realiza lo anteriormente mencionado, se presenta en el actual numeral.

8.2.1 Formulario principal. Este formulario permite realizar y acceder a todos los procedimientos desarrollados para el presente trabajo de grado, estos procedimientos permiten:

Figura 15. Formulario frmPrincipal



Editar Archivos: fusionar bases de datos, crear una nueva base de datos, guardar una copia de la base de datos, adicionar y editar los datos.

Procesar Información: explorar en la información contenida en la base de datos de una manera fácil y ordenada, realizar búsquedas, visualizar e imprimir el contenido de Estudios y Exploraciones de una manera sencilla.

Permite calcular datos empíricos de Velocidad de ondas de corte, módulo dinámico de corte máximo y el coeficiente de balasto,

Se incluye una herramienta que permite realizar un análisis gráfico a los datos, relacionando los diferentes parámetros que se incluyen en la base de datos y graficando sus diferentes frecuencias; esta información puede exportarse a un archivo para luego hacer análisis numéricos extras en Microsoft Excel.

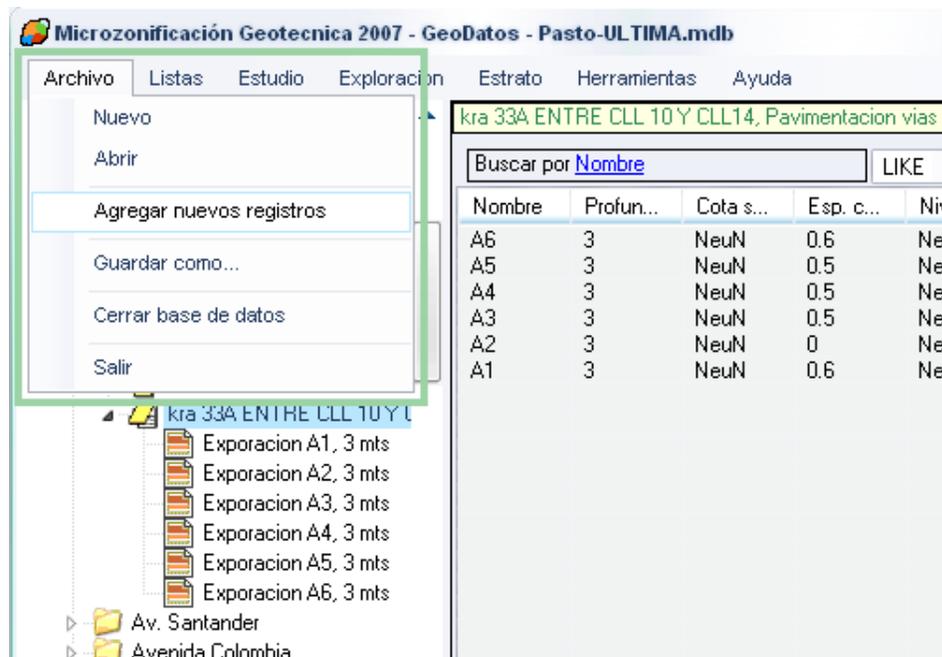
Configurar el programa: permite configurar algunos datos de impresión y elegir los colores de tipos de suelo para la posterior presentación en mapas y gráficos,

Realizar mapas: mediante un formulario proporciona las herramientas necesarias para realizar los mapas geotécnicos y los muestra en AutoCad. Lo concerniente al desarrollo de herramientas para elaborar los mapas geotécnicos se presenta en el capítulo 9.

La descripción completa del formulario principal se presenta a continuación:

Menú Archivo: permite realizar tareas generales a la base de datos.

Figura 16. Menú archivo

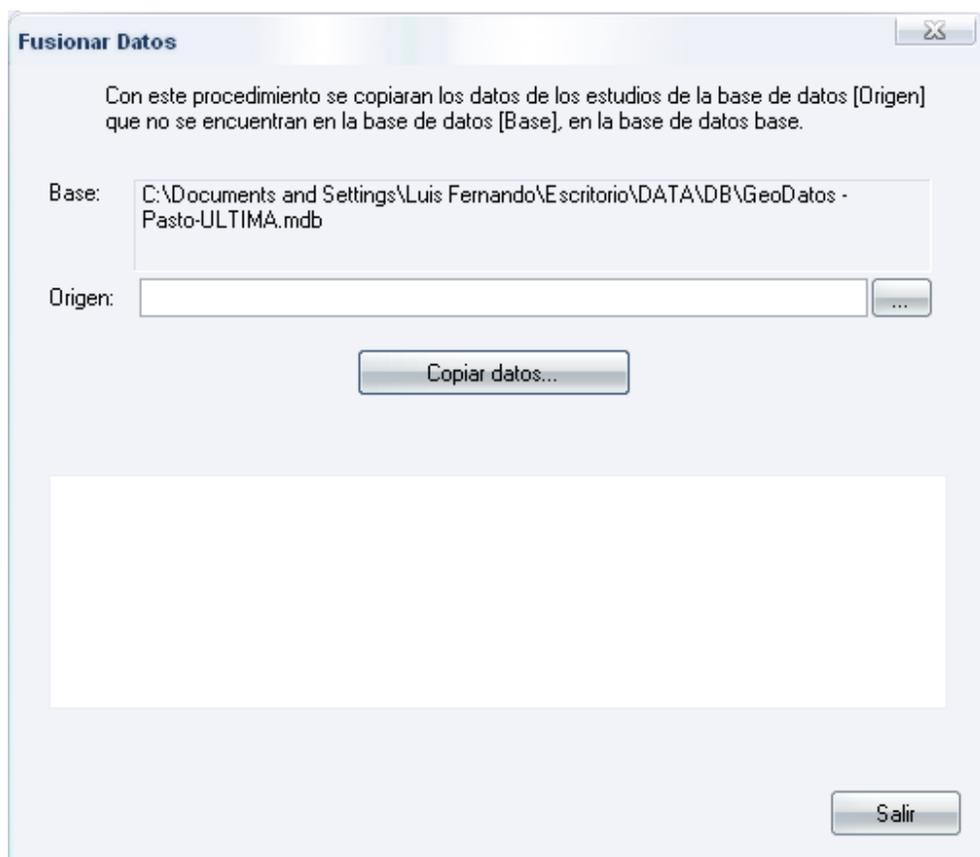


Nuevo: crea un archivo de base de datos en blanco y con el formato requerido para trabajar con el programa.

Abrir: abre una base de datos con el formato establecido para trabajar con el programa.

Agregar nuevos registros: agrega registros **NUEVOS** que contiene una base de datos externa **[Origen]** al archivo que está actualmente abierto **[Base]** mediante el siguiente cuadro de dialogo. El cuadro de dialogo de la figura 17 tiene una lista del estado del proceso, si en esta lista aparece un error, es aconsejable no utilizar la base de datos creada.

Figura 17. Agregar nuevos registros o fusionar bases de datos



Guardar como: guarda la base de datos actual en un nuevo archivo.

Cerrar base de datos: cierra la base de datos abierta pero no sale del programa.

Salir: termina todas las tareas pendientes y cierra totalmente el programa.

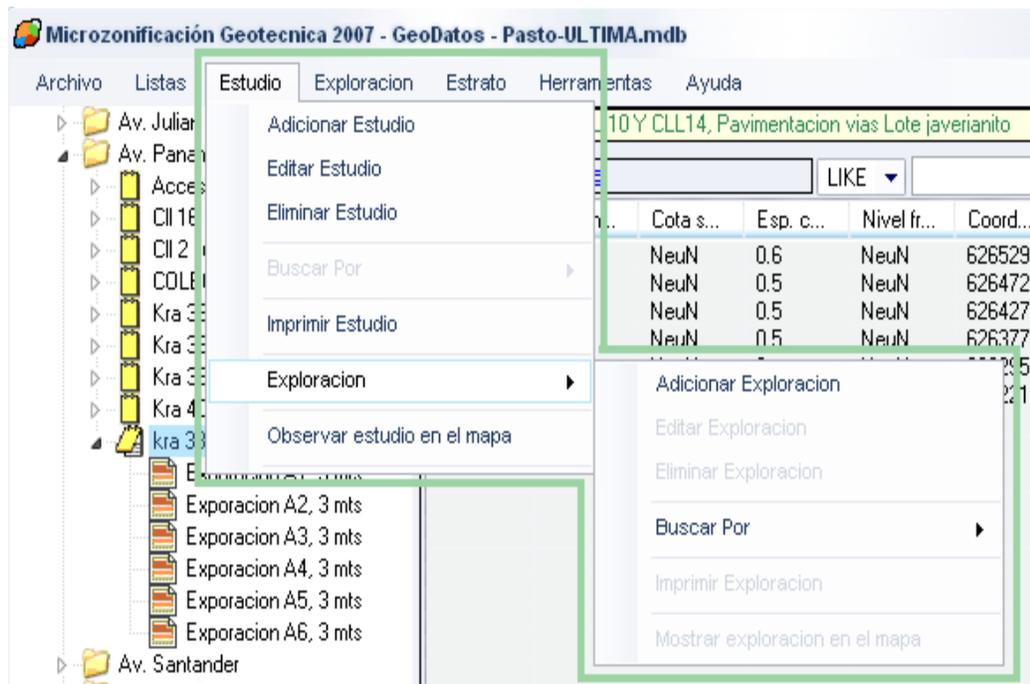
Menú Listas: permite editar las listas de la tabla barrios o la tabla firmas mostrando el formulario de la figura 18.

Figura 18. Menú listas



Menú Estudio: mediante este menú se realizan todas las tareas de edición, adición y búsqueda de los estudios.

Figura 19. Menú estudio



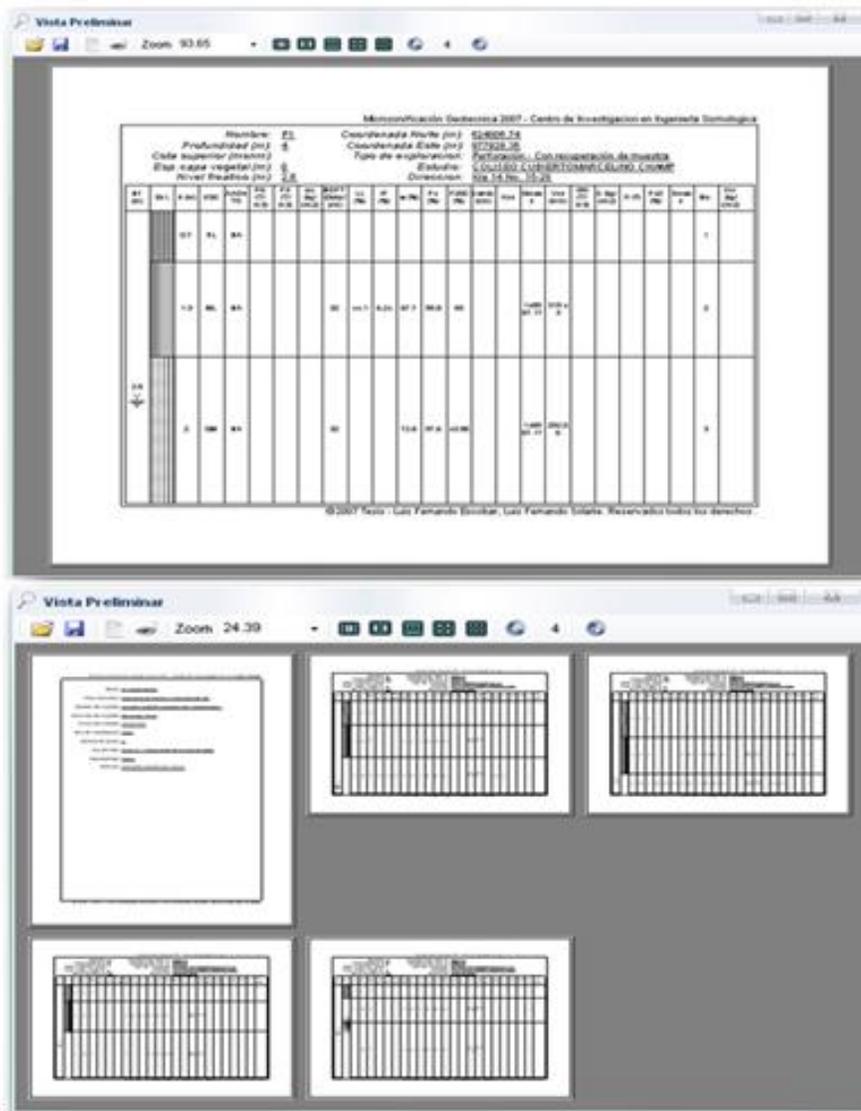
Adicionar estudio: adiciona un nuevo estudio mostrando el formulario de la figura 26.

Editar estudio: permite al usuario editar o modificar los datos generales del estudio mostrando el formulario de la figura 26.

Eliminar Estudio: elimina el estudio seleccionado incluyendo las exploraciones que contenga.

Imprimir estudio: muestra una vista preliminar del estudio en el formulario de la figura 20 con todos los datos de su contenido, basándose en la configuración establecida mediante el menú **Herramientas - Configurar Impresión de datos**. Si el usuario desea imprimir, lo puede hacer mediante este formulario.

Figura 20. Formulario frmImpresion



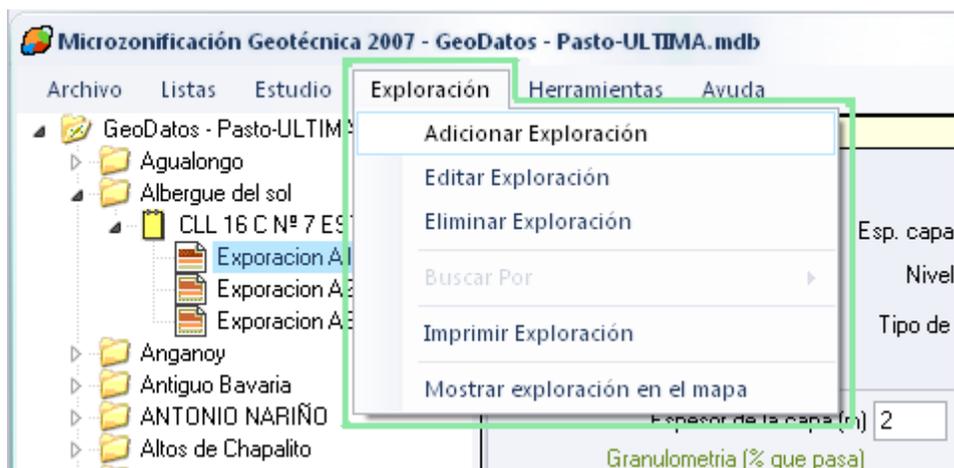
Exploración: muestra el menú Exploración.

Observar estudio en el mapa: abre AutoCad, coloca un círculo con el área del estudio en el mapa y hace un **zoom** en esta coordenada (Localiza el estudio seleccionado en el mapa).

Buscar Por...: busca un estudio ya sea por nombre, por fecha o por cualquier otro campo de la tabla estudio.

Menú Exploración: permite realizar todas las tareas de relacionadas con edición, adición y búsqueda de Exploraciones.

Figura 21. Menú Exploración



Adicionar Exploración: adiciona una nueva exploración en la base de datos con la información que se incluya en el formulario que se muestra (figura 28.).

Editar Exploración: muestra el formulario de la figura 28 y edita o modifica en este, la exploración seleccionada.

Eliminar Exploración: elimina completamente la exploración seleccionada.

Buscar por: define por cuál de los campos de la tabla Exploración se va a buscar.

Imprimir Exploración: muestra la información de la exploración en el formulario de la figura 20.

Mostrar Exploración en el mapa: abre AutoCad, coloca un círculo con el área de 100 m² en el mapa y hace un *zoom* en esta coordenada (Localiza la exploración seleccionado en el mapa).

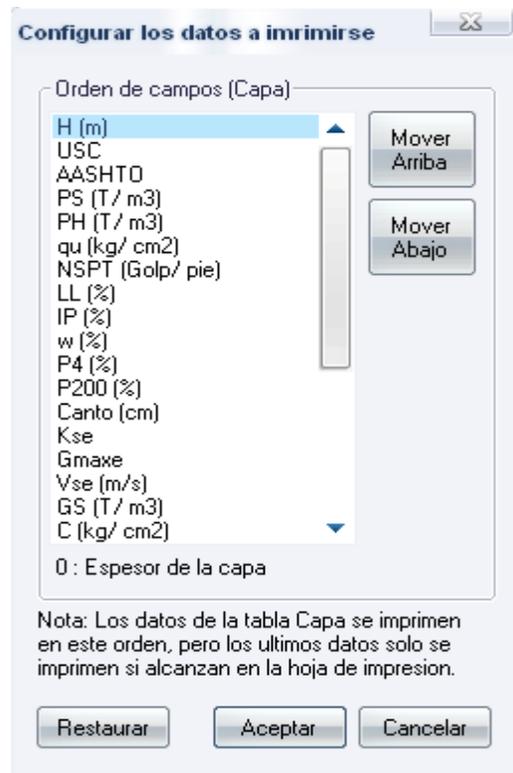
Menú Herramientas configurar: permite realizar tareas adicionales como son: análisis numérico de los datos, estimar parámetros empíricos, realizar tareas que facilitan la elaboración de mapas geotécnicos y configurar opciones de impresión.

Figura 22. Menú Herramientas configurar



Configurar impresión de datos: permite al usuario configurar el orden en que se imprimirán los datos de cada exploración mediante el formulario de la figura 23. Los datos se imprimirán en el orden en que el usuario lo indique pero los datos que no alcancen en la hoja ya sea oficio o carta, no se imprimirán.

Figura 23. Dialogo Configurar datos de impresión



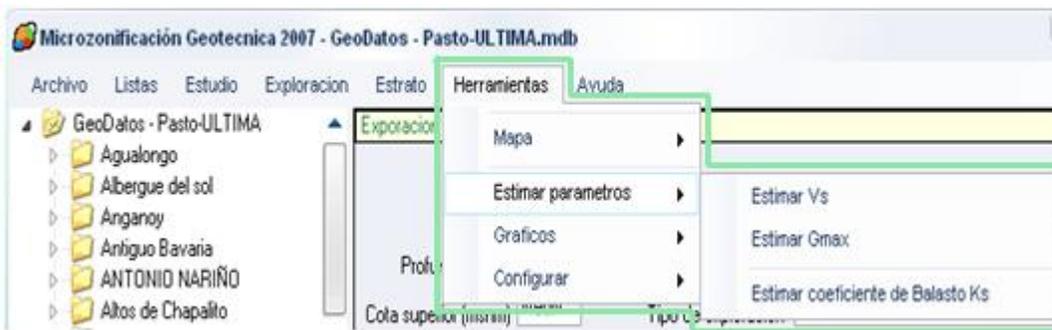
Configurar colores: le permite al usuario configurar los colores para cada tipo de suelo con los cuales se dibujaran los mapas y se presentaran los gráficos de análisis mediante el siguiente cuadro de dialogo.

Figura 24. Formulario cambiar colores de tipo de suelo

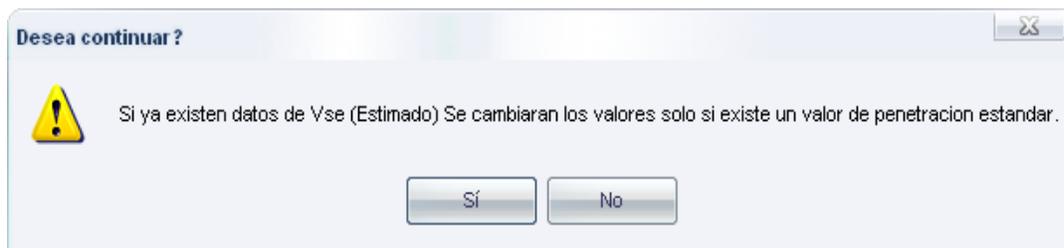


Menú Herramientas - Estimar parámetros: permite al usuario estimar parámetros empíricos como son la velocidad de ondas de corte, módulo dinámico de corte máximo y el coeficiente de balasto.

Figura 25. Menú Herramientas - Estimar parámetros



Al hacer clic sobre uno de los ítems de este menú se muestra el siguiente cuadro de dialogo, el cual advierte que si ya existen datos estimados para el parámetro, se calcularán nuevamente y se reemplazarán únicamente si en las capas o estratos existe un valor de penetración estándar.



8.2.2 Formulario frmEstudio. En el formulario de la figura 26 se recopilan y se editan los datos generales de cada estudio almacenado en la tabla Estudio (Ver tabla 10) y la descripción de cada uno de sus ítems, es presentado a continuación:

Figura 26. Formulario frmEstudio

The image shows a software window titled "Estudio" with a close button in the top right corner. The window contains the following fields and controls:

- Barrio del estudio:** A dropdown menu with "Av. Panamericana" selected and a "..." button to its right.
- Firma Ejecutora:** A dropdown menu with "INGENIERIA & ASESORIA" selected and a "..." button to its right.
- Nombre del estudio:** A text input field containing "Edificio San Blas".
- Direccion del estudio:** A text input field containing "Kra 36 No. 15-32".
- Fecha del estudio:** A dropdown menu with "08/08/2006" selected.
- Area del lote(m2):** A text input field containing "200".
- Numero de pisos:** A text input field containing "6" and a checkbox labeled "Tiene sotano" which is currently unchecked.
- Uso del lote:** A dropdown menu with "Grupo I - Estructuras de ocupación normal" selected and a blue "Definir" link to its right.
- Reticula:** A text input field containing "50576563-27/07/2007 17:09:59".

At the bottom right of the window are two buttons: "Cancelar" and "Aceptar".

Barrio del estudio: lista desplegable, en la que se selecciona el nombre del barrio en el cual está ubicada el área en que se realizó el estudio, si el barrio no se encuentra en la lista se puede adicionar uno para su posterior uso.

Firma ejecutora: lista desplegable, en la cual se selecciona el nombre de la firma o ente encargada de realizar el estudio de suelos, si no se encuentra en la lista se puede adicionar una nueva firma para su posterior uso.

Nombre del estudio: cuadro de texto en el cual se anota el nombre del estudio, generalmente, en obras grandes es el nombre de la obra o proyecto y en obras pequeñas, contiene el nombre del propietario del proyecto.

Dirección de estudio: cuadro de texto en el cual se apunta la dirección del lugar en la que se realizó el estudio.

Fecha de estudio: lista desplegable en la cual se puede seleccionar o escribir la Fecha en la cual se realizó el estudio.

Área del lote: cuadro de texto en el cual se anota el área del lote o área construida.

Número de pisos: cuadro de texto en el cual se anota el Número de pisos de la construcción que va a construirse o que se encuentra sobre el lote analizado en el estudio.

Tiene sótano: este ítem se señala si la construcción va a tener o ya tiene sótano o semisótano.

Uso del lote: lista desplegable en la cual se selecciona el uso del lote establecido según la norma NSR 98 en el numeral A.2.5.1, el cual dice:

A.2.5.1 - GRUPOS DE USO - Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:⁴⁸

A.2.5.1.1 - Grupo IV - Edificaciones indispensables

Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Este grupo debe incluir:

(a) Hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, de acuerdo con la clasificación del Ministerio de Salud, y clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía y atención de urgencias,

(b) edificaciones de centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión,

(c) edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos, y

(d) en las edificaciones indispensables las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares, a estas edificaciones.²⁰

A.2.5.1.2 - Grupo III - Edificaciones de atención a la comunidad

Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el Grupo **IV**. Este grupo debe incluir:²⁰

⁴⁸ ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA (Colombia). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Part. A.2.5.1. GRUPOS DE USO. Santa Fe de Bogotá D.C.: AIS, 1998. P.129-130. Tomo I.

- (a) estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres,
- (b) garajes de vehículos de emergencia,
- (c) estructuras y equipos de centros de atención de emergencias, y
- (d) aquellas otras que la administración municipal designe como tales.²¹

A.2.5.1.3 - Grupo II - Estructuras de ocupación especial

Cubre las siguientes estructuras:

- (a) edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón,
- (b) guarderías, escuelas, colegios, universidades,
- (c) graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
- (d) almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso,
- (e) edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
- (f) edificios gubernamentales.²¹

A.2.5.1.4 - Grupo I - Estructuras de ocupación normal

Todas la edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.⁴⁹

Retícula: es generada automáticamente por el programa. Contiene un número de diez dígitos el cual identifica al computador en el cual se adiciono el estudio y una cadena de 24 dígitos la cual es la fecha y hora exacta en la cual se adiciono el estudio y no se puede modificar desde el programa. Esto sirve para fusionar o actualizar dos bases de datos.

Botón Aceptar: si se está adicionando, al hacer clic se adicionara el estudio en la base de datos y se cerrara la ventana Estudio; si se está editando un estudio se guardaran los cambios realizados y se cerrara la ventana.

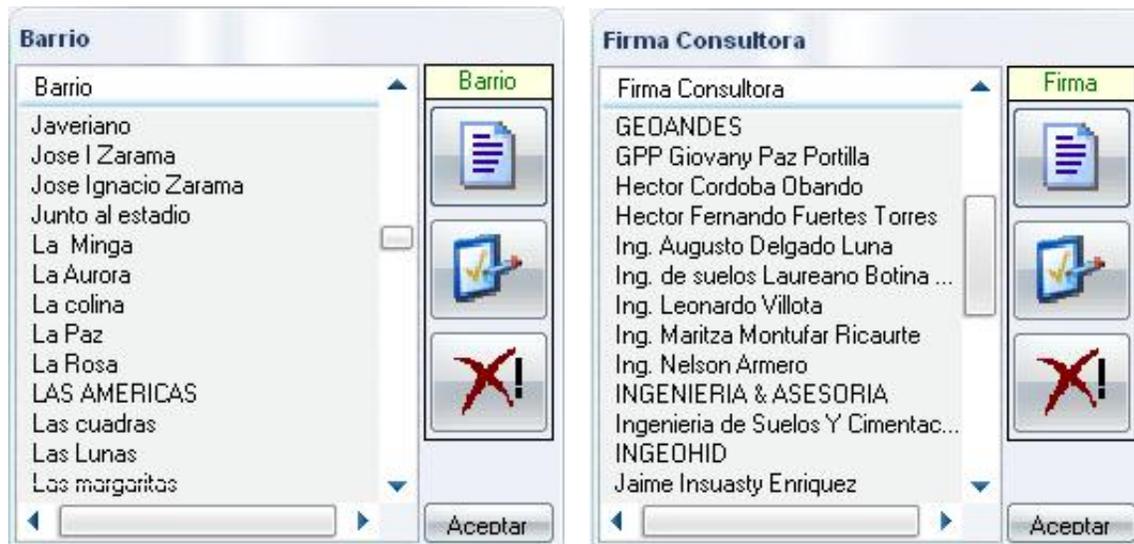
Botón Cancelar: se cancela el proceso de edición o adición y se cierra la ventana.

8.2.3 Listas de Barrios y Firmas consultoras. Dado que la tabla Barrio y la tabla Firma son listas simples (Ver tablas 8 y 9) se opto por trabajarlas en un

⁴⁹ ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA, Op. Cit., p 130.

mismo formulario denominado frmListas, la descripción de los ítems del formulario es la siguiente:

Figura 27. Formulario frmListas



Botón Nuevo: adiciona un nuevo registro ya sea barrio o firma consultora. Al completarse esta opción agrega el registro directamente a la base de datos. Si se adiciona un nuevo barrio, la lista de barrios del formulario principal se actualiza.



Botón Editar: edita el registro seleccionado ya sea barrio o firma consultora. Al completarse esta opción actualiza el registro directamente en la base de datos. Si se edita un barrio, la lista de barrios del formulario principal se actualiza.



Botón Eliminar: elimina el registro seleccionado ya sea barrio o firma consultora. Al completarse esta opción quita el registro directamente de la base de datos. Si se elimina un barrio, la lista de barrios del formulario principal se actualiza.

Botón Aceptar: al hacer clic el formulario se cierra.

8.2.4 Formulario frmExploración. En el formulario de la figura 28 se recopila la información de cada exploración, los datos recopilados en este formulario se almacenan en la tabla Exploración (Ver tabla 11) y en la tabla Capa (Ver Tabla 12) la descripción de cada uno de los ítems del formulario es la siguiente:

Figura 28. Formulario frmExploración

The screenshot shows the 'Exploracion' software interface. At the top, there are input fields for 'Nombre' (A2), 'Cota superior (msnm)' (NeuN), 'Profundidad (m)' (3.6), 'Coordenada Norte' (624768.474), 'Nivel freatico (m)' (2.7), 'Coordenada Este' (978207.104), 'Esp. capa vegetal (m)' (0.4), and 'Tipo de exploracion' (Apíque - Excavación a cielo abierto). A button 'Seleccionar Coordenada en el mapa (AutoCad)' is also present. Below these fields, there are tabs for 'Capas' (1, 2) and a section for 'Estratigrafia'. The 'Estratigrafia' section contains a table with columns 'NF (m)', 'Est.', 'H(m)', and 'USC'. The table shows three layers: a top layer with NF 0.40 and USC PT, a middle layer with NF 1.90 and USC GM, and a bottom layer with NF 2.70 and USC SM. The interface also includes various other input fields for soil properties like 'Granulometria', 'Pesos unitarios', 'Parametros de resistencia', and 'Otros Parametros' (reales and estimados). At the bottom, there are buttons for 'Borrar Capa', 'Insertar Capa', 'Nueva Capa', 'Cancelar', and 'Aceptar'.

Nombre de la exploración: cuadro de texto en el cual se escribe el nombre que identifica a la exploración dentro del estudio, por ejemplo A1 puede ser la representación de Apique 1.

Profundidad: cuadro de texto de solo lectura en el cual se muestra la profundidad en metros de la exploración, esta se calcula de manera automática a medida que se introducen las profundidades de los diferentes estratos.

Nivel freático: cuadro de texto en el cual se introduce la profundidad en metros del nivel freático medido desde la superficie, si no existe no se coloca.

Espesor de la capa vegetal: cuadro de texto en el cual se introduce el espesor de la capa vegetal medido en metros, si no existe se coloca Cero (0).

Cota superior: cuadro de texto en el cual se introduce la cota de la superficie de la exploración sobre el nivel del mar en metros.

Coordenadas norte y este: cuadros de texto en los cuales se colocan las coordenadas Norte y Este en metros, los datos se pueden introducir de manera manual o automática utilizando el botón "*seleccionar las coordenadas en el mapa (Abre AutoCad)*", para esta última es necesario tener instalado una versión igual o superior a AutoCAD 2000.

Tipo de exploración: lista desplegable en la cual se selecciona o se escribe el tipo de exploración que se llevo a cabo para desarrollar el estudio esto puede ser:

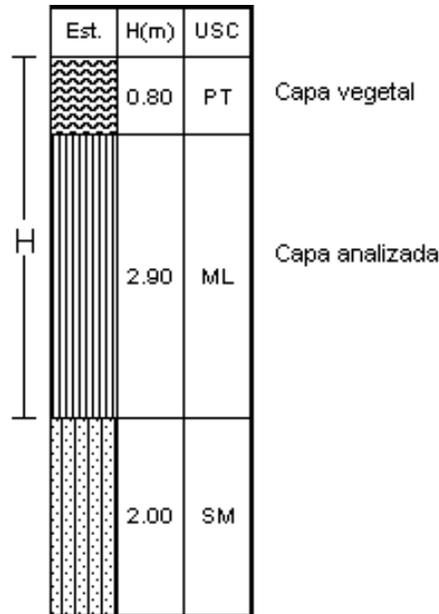
- Perforación - Con recuperación de muestra
- Sondeo - Sin recuperación de muestra
- Apique - Excavación a cielo abierto

Capas 1, 2, 3...n: colección de fichas que contienen números de las capas que se incrementan a medida que la profundidad vaya avanzando, la capa 1 es el estrato más superficial sin contar la capa vegetal. Al hacer clic sobre cada una de estas fichas nos muestra las propiedades de la capa o estrato seleccionado.

Número de capa: cuadro de texto en el cual se introduce de manera manual y automática el número de la capa.

Profundidad inferior: cuadro de texto en el cual se introduce de manera manual la profundidad del estrato en metros, medida desde la superficie hasta la parte inferior del estrato (Ver Fig. 29).

Figura 29. Profundidad de un estrato



H: Profundidad inferior del estrato (m)

Otros parámetros: % pasa tamiz N° 4, % pasa tamiz N° 40, % pasa tamiz N° 200, PUS (ton/m³), PUH (ton/m³), LL (%), IP (%), Gs, w (%), ϕ (°), c (Cohesión) (k/cm²), Nspt. (golpes/Pie), qu (k/cm²):

Son cuadros de texto en los cuales se introduce de manera manual los correspondientes valores numéricos en las unidades especificadas en el formulario... Véase figura 28..., si no se encuentran en los estudios, no se colocan.

Parámetros dinámicos: D_{max} , G_{max} y V_s , son parámetros dinámicos de los cuales se estiman en la presente investigación G_{max} y V_s utilizando correlaciones empíricas; D_{max} se estimara en posteriores estudios.

Clasificación USC: lista desplegable en la cual se selecciona la correspondiente clasificación USC (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos). Esto es: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC, ML, CL, CL-ML, OL, MH, CH, OH y PT.... Véase tabla 13...

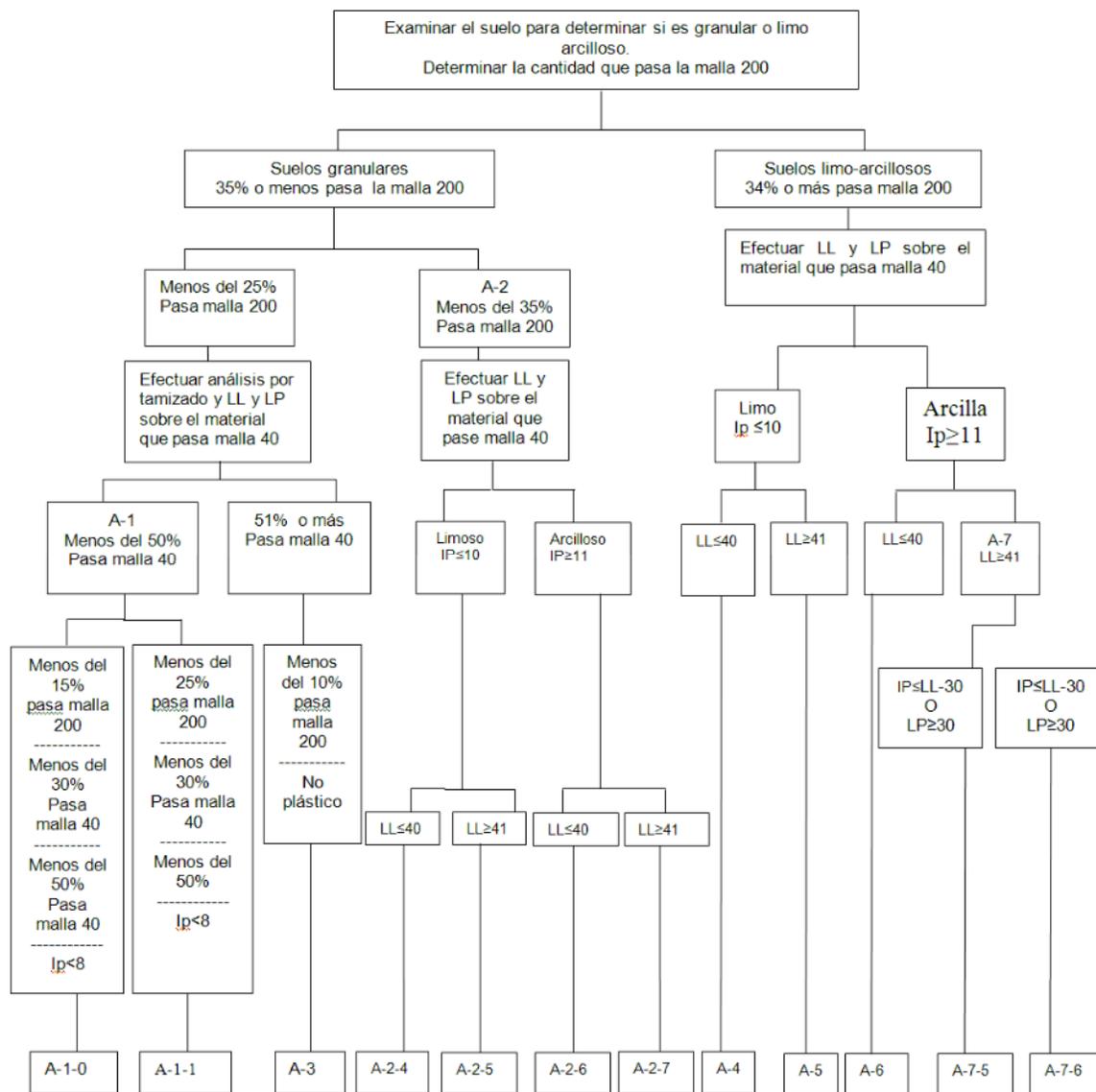
Clasificación AASHTO: lista desplegable en la cual se selecciona la correspondiente clasificación AASHTO esto es: A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6 y A-8.... Véase figura 30...

Tabla 13. Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, U.S.C.

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SUELOS GRANULARES			
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz N° 200)	GRAVAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 4 Cc = 1 < D ₂₃₀ /D ₁₀ * D ₆₀ < 3		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de limpias o ningún fino)	GP	Grava pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino		No cumplir todos los requisitos de gradación para GW	
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	d/u	Gravas limosas, mezclas arena limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó Ip < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se le asigna doble símbolo
			GC		Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcillosas	Límites de Atterberg por Encima de la línea A ó Ip > 7	
		Arena (Más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 4)	Arenas limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 6 Cc = 1 < D ₂₃₀ /D ₁₀ * D ₆₀ < 3	
				SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, poco o ningún fino.		No cumplir todos los requisitos de gradación para SW
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)		SM	d/u	Arenas limosas, mezclas arena-limo.	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó Ip < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 ≤ Ip ≤ 7 se considera de frontera y se le asigna doble símbolo
			SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg por Encima de la línea A ó Ip > 7	
	Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz N° 200)	Limos y Arcillas (Limite liquido WL < 50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arena y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de finos (Fracción menor que el tamiz N° 20), los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP. Más del 12% - GM, GC, SM, SC de 5 A 12% - Casos de frontera que requiere sobre símbolo		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.			
OL			Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
MH			Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos				
Limos y Arcillas (Limite liquido WL > 50)		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.				
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media o alta, limos orgánicos.				
		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos				

Fuente: Coral, 2004. P 49

Figura 30. Sistema de clasificación AASHTO.



Fuente: Coral, 2004. P 53.

Tipo de muestra: lista desplegable en la cual se selecciona o se escribe el tipo de muestra que se extrajo para realizar los ensayos, puede ser:

- Alterada
- Inalterada - Tubo Shelby
- Inalterada - Bloque

Estratigrafía: es una imagen generada automáticamente por el programa cuando se actualizan los datos la exploración. Esta imagen muestra un resumen gráfico del perfil del suelo que se está trabajando o editando.

Botón Adicionar capa: crea una nueva ficha al final de las anteriores capas y dispone de nuevos campos para adicionar los parámetros de la nueva capa.

Botón Insertar capa: crea una nueva ficha en la posición seleccionada, dispone de nuevos campos para adicionar los parámetros de la nueva capa y reenumera las capas posteriores a esta.

Nota: / Los botones adicionar e insertar no crean nuevos campos en la base de datos, estos campos solo se crean en la memoria.

Botón Borrar capa: borra de la memoria la ficha seleccionada y reenumera las otras capas.

Botón Aceptar: si se está adicionando, al hacer clic se adicionara la exploración en la base de datos y se cerrara la ventana Exploración; si se está editando se guardarán los cambios realizados y se cerrara la ventana.

Botón Cancelar: se cancela el procesó de edición o adición y se cierra la ventana.

9. HERRAMIENTAS PARA ELABORACION DE MAPAS TEMÁTICOS Y SU ANÁLISIS NUMÉRICO

Utilizando geometría computacional, al programa **GeoZonifica** se le crearon algunas herramientas adicionales para elaborar los mapas de zonificación geotécnica, mapas de variación y mapas de isocurvas; estos mapas son calculados por el software y se presentan directamente en **AutoCad** (Cualquier versión de AutoCad superior al 2000) de una manera rápida y sencilla. El programa **GeoZonifica** y las ayudas se pueden observar detalladamente en el CD y en el DVD anexo a la presente tesis.

9.1 PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS DEL PROGRAMA GeoZonifica PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS GEOTÉCNICOS

9.1.1 Procedimiento Autocad.AdicionarPunto (Punto, Color). Es un procedimiento predeterminado del control *winControlLibAcad*, sirve para colocar un punto en el plano mostrado en AutoCAD, en la coordenada definida por la variable *Punto* y con el color que determina el tipo de suelo almacenado en la variable *Color*.

Tabla 14. Colores asociados a los tipos de Suelo.

Tipo de suelo	Color Asociado
Limos	Azul
Arcillas	Rojo
Arenas	Naranja
Gravas	Magenta
Orgánicos	Verde
Rellenos	Café
Roca	Verde oscuro
Lechos de rio	Negro
Ceniza volcánica	Gris
Otros	Morado

9.1.2 Función ColorMaxEstrato. Esta función sin argumentos busca en el vector de nivel superior *m_Est()*, el índice del tipo de suelo que predomina dentro de una exploración, con este índice se extrae del vector *colUSC()*, el color predefinido por el usuario para este tipo de suelo y lo retorna....Véase figura 31...

9.1.3 Función AddEstrato (Color, Espesor). Con el color determinado en la variable Color se busca el índice de éste en el vector colUSC() y adiciona el espesor de la capa o estrato al valor que contiene el vector de nivel superior m_Est() en la posición del índice obtenido, lo anterior, se realiza tanto para el estrato predominante como para el primer estrato; además, la función retorna el nuevo valor que contiene m_Est(Índice) usado por el programa para obtener el primer estrato Véase....Véase figura 31...

Figura 31. Código en **Visual Basic .NET** de las funciones AddEstrato y ColorMaxEstrato.

```

Public Const numclsUSC As Byte = 9 'Diez tipos de suelo.
Public colUSC(numclsUSC) As Byte 'Vector de colores predefinidos
                                'por el usuario (Ver Tabla 14).
Dim m_Est(numclsUSC) As Double 'Vector que almacena la suma de los
                                'espesores para cada tipo de suelo y
                                'en cada una de las exploraciones.

Private Function AddEstrato(ByVal USCcolor As Byte, ByVal Espesor As
Double)

    Dim ucolor As Byte = Array.IndexOf(colUSC, USCcolor)
    m_Est(ucolor) += Espesor
    Return m_Est(ucolor) 'Retorna la sumatoria de espesores suelo
                        'representado por USCcolor en el momento en
                        'el que se lo adiciona

End Function

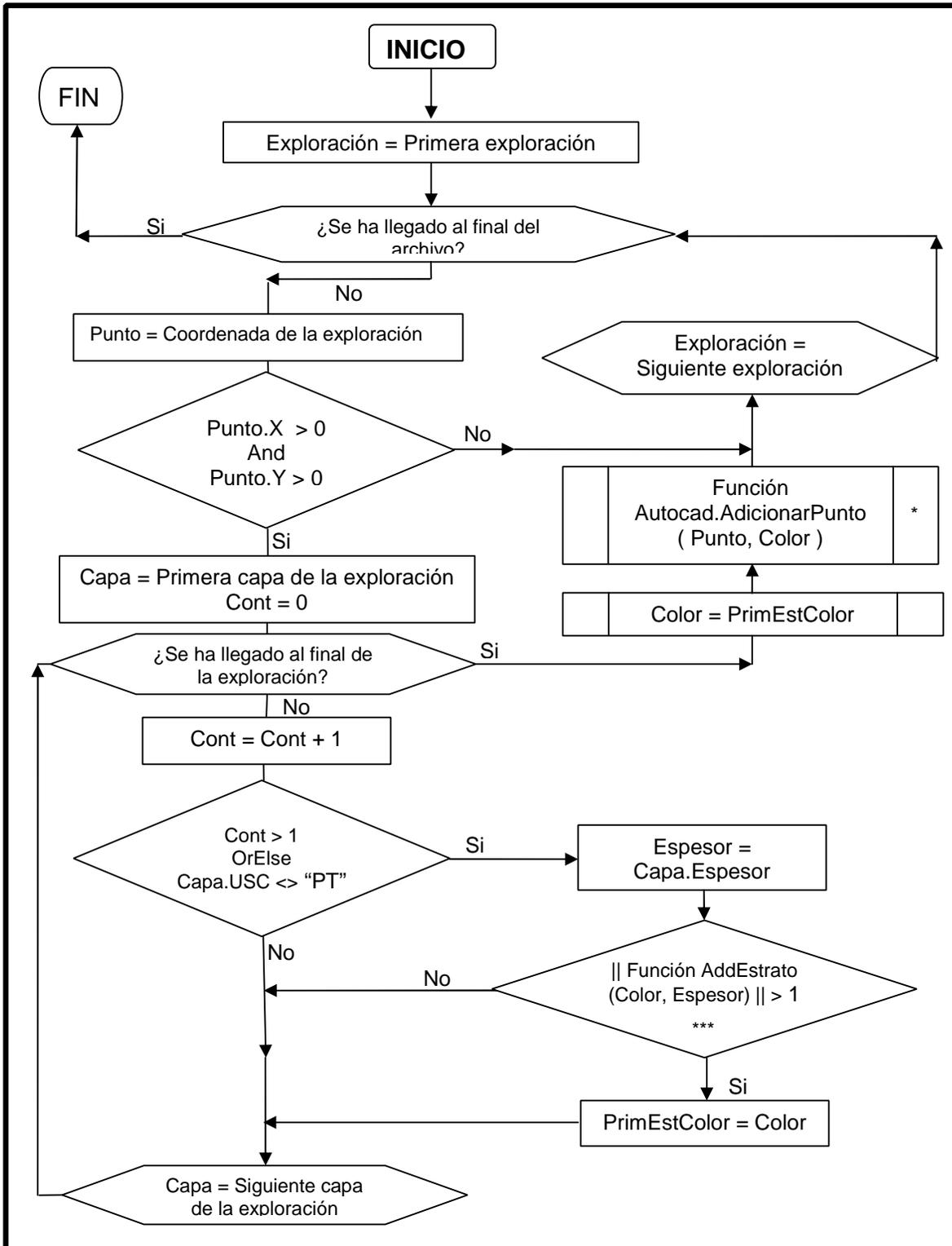
Private Function ColorMaxEstrato() As Byte
    Dim i As Byte
    Dim prov As Double = m_Est(0)
    Dim pColor As Byte = colUSC(0) 'Color de limos
    For i = 1 To numclsUSC
        If prov < m_Est(i) Then 'Para encontrar el estrato dominante
            prov = m_Est(i)
            pColor = colUSC(i)
        End If
    Next
    Return pColor 'Retorna el color del estrato dominante
End Function

```

9.1.4 Procedimiento para obtener el primer estrato. El primer estrato en cada exploración se obtuvo sumando en orden, desde el estrato superficial hasta el estrato más profundo, el espesor de las capas o estratos separando las sumatorias según el tipo de suelo. El primer estrato es aquel que representa la primera sumatoria que iguale o supere un metro de espesor. Este procedimiento se realizó en esta investigación siguiendo el diagrama de flujo de la figura 32.

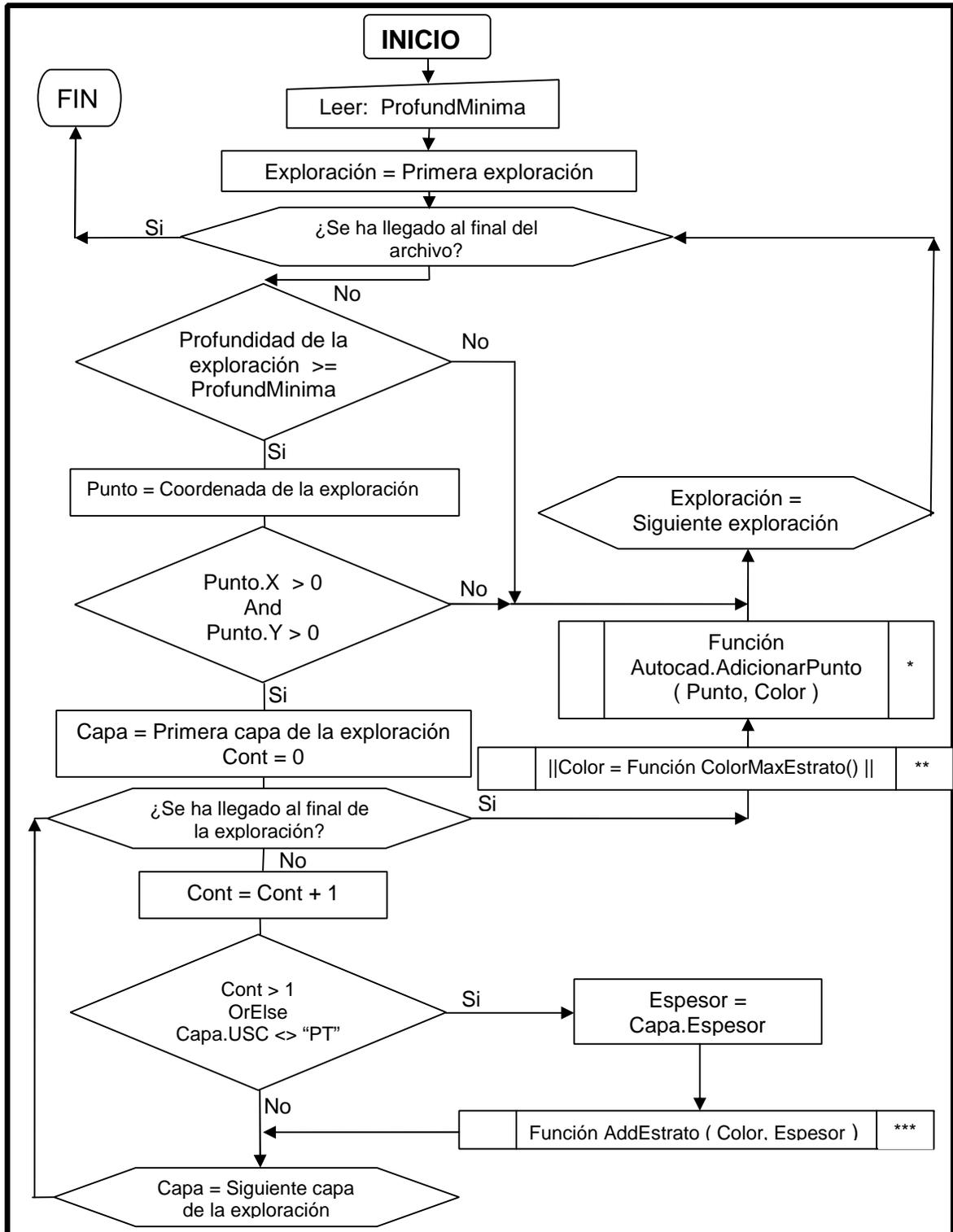
9.1.5 Procedimiento para obtener el estrato predominante. El estrato en cada exploración se obtuvo sumando el espesor de las capas o estratos y separando las sumatorias según el tipo de suelo, el estrato predominante será el que representa la mayor de las sumatorias. Este procedimiento se realizó siguiendo el diagrama de flujo de la figura 33.

Figura 32. Diagrama de flujo para obtener el primer estrato



*,** y *** son funciones que se presentan en la figura 31.

Figura 33. Diagrama de flujo para obtener el estrato predominante

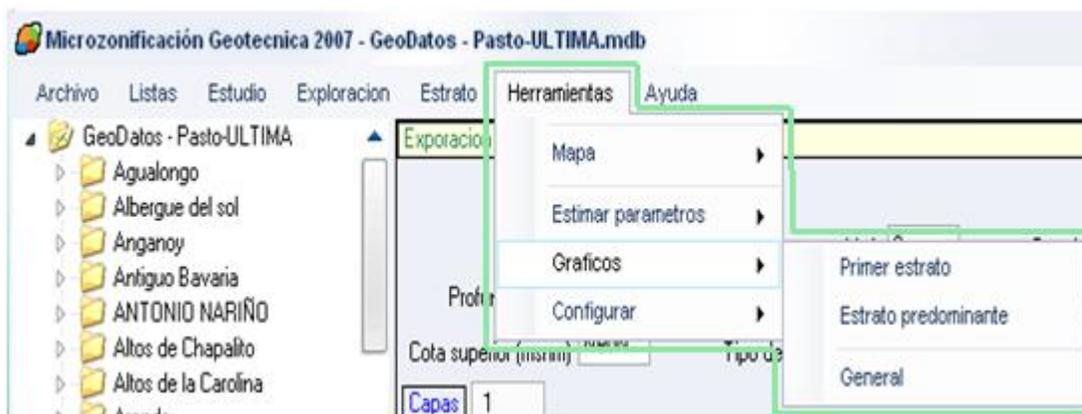


* , ** y *** son funciones que se presentan en la figura 31.

9.2 DESCRIPCIÓN DE LOS FORMULARIOS DEL PROGRAMA GeoZonifica, PARA ANÁLISIS NUMÉRICO.

Menú Herramientas – Gráficos: permite al usuario realizar un análisis de datos graficando los diferentes parámetros del estrato predominante, el primer estrato y de los perfiles de suelo en general; además permite exportarlos a un archivo para su posterior análisis numérico en Microsoft Excel.

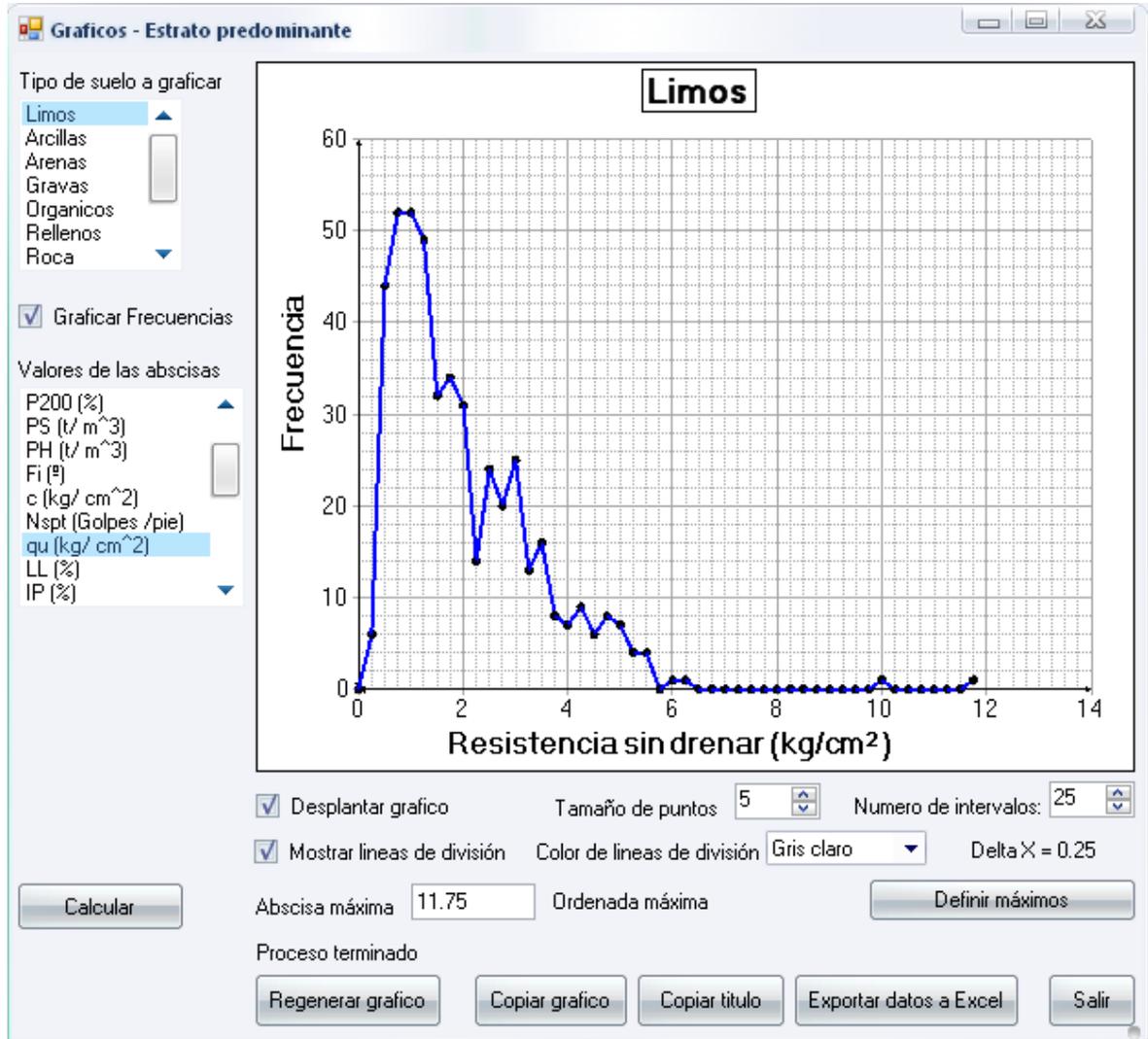
Figura 34. Menú Herramientas – Gráficos



A continuación se presentan dos ejemplos del análisis que realiza el programa tomando el estrato predominante... Véase las figuras 35, 36 y 37...

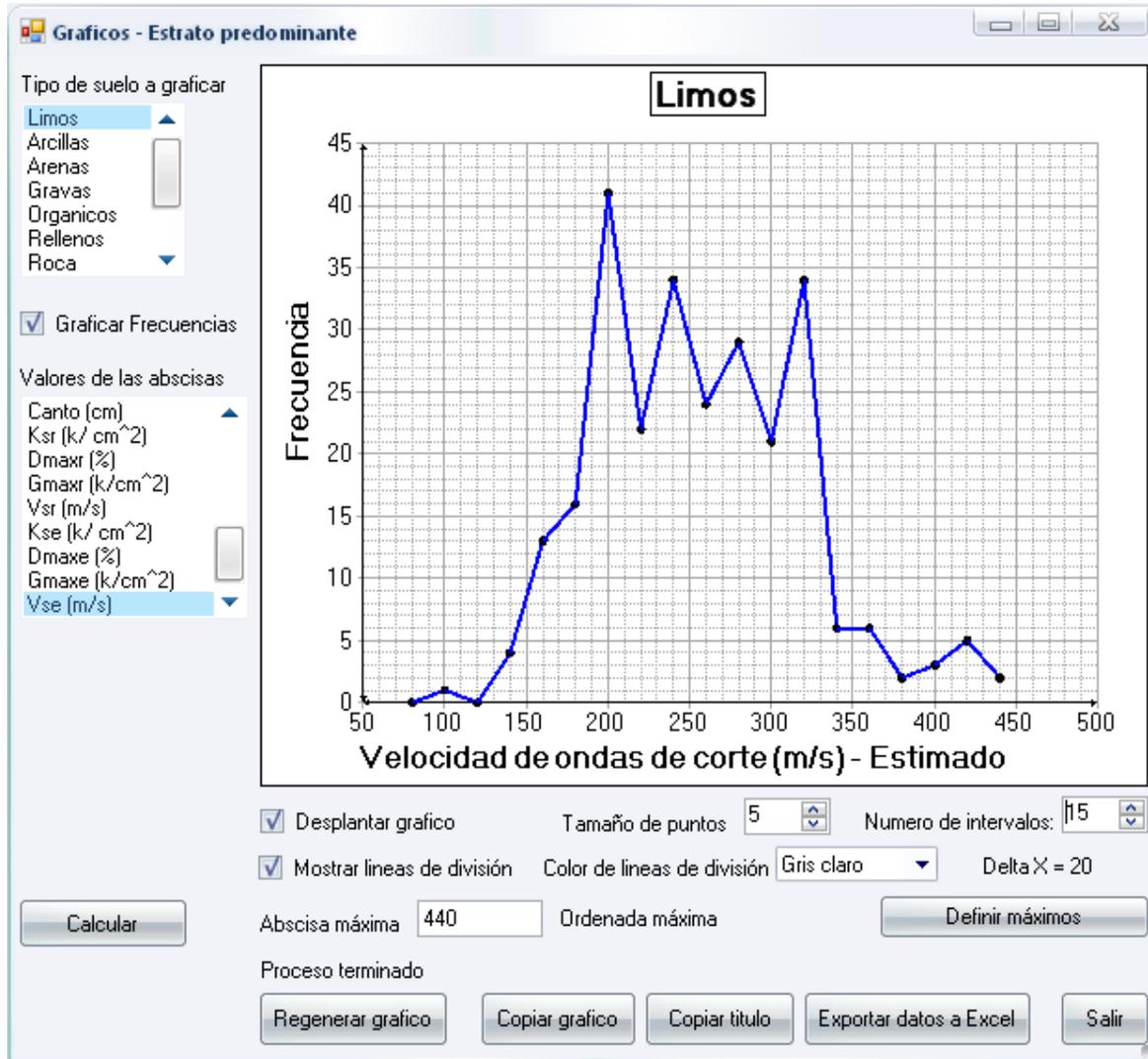
Ejemplo 1. Análisis de frecuencias de datos de resistencia (Véase fig. 36) y velocidad de ondas de corte (Véase fig. 37) para el estrato predominante, para el tipo de suelo **Limos**.

Figura 35. Ejemplo de análisis de frecuencias del parámetro resistencia



Del anterior gráfico se puede concluir que para el estrato predominante y el tipo de suelo Limos, lo más probable encontrar son resistencias sin drenar entre 0.5 y 1.25 kg/cm² y que en promedio los limos poseen una resistencia de 0.75 a 1 kg/cm².

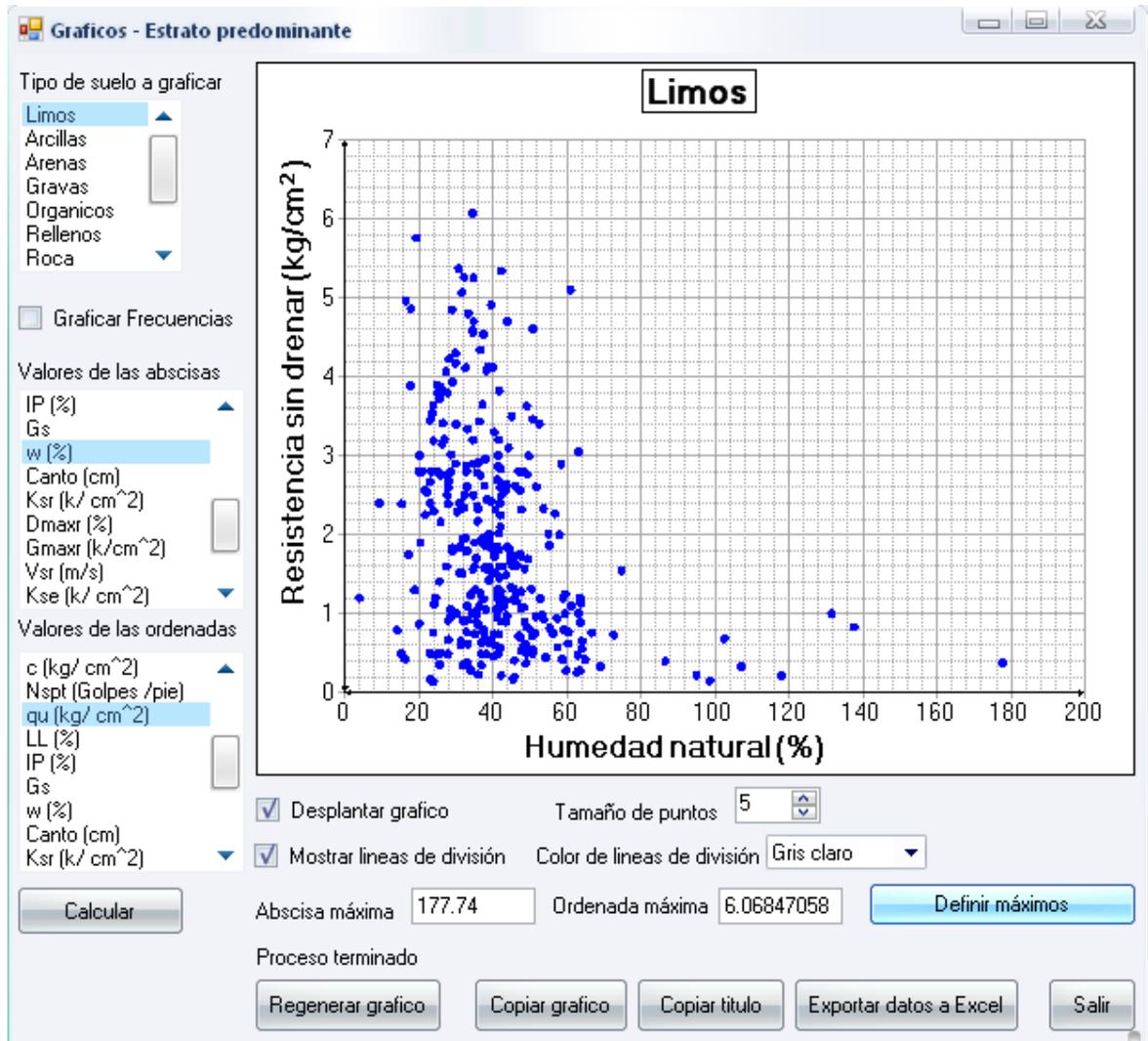
Figura 36. Ejemplo de análisis de frecuencias de parámetros



En el anterior gráfico se puede concluir que para los limos, es más probable encontrar velocidades de ondas de corte entre 200 y 320 m/s en el estrato predominante.

Ejemplo 2. análisis comparativo de datos de resistencia y penetración estándar para el estrato predominante, para el tipo de suelo **Arcillas**.

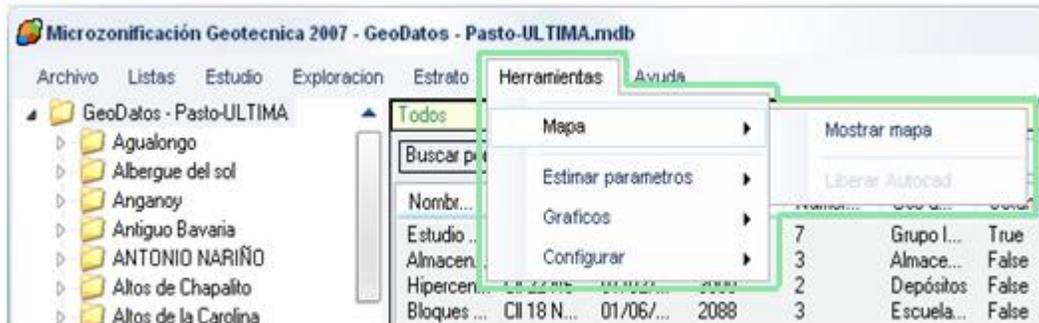
Figura 37. Ejemplo de análisis comparativo de parámetros



Los datos necesarios para realizar los gráficos presentados se pueden exportar a Microsoft Excel para un análisis más minucioso.

Menú Herramientas – Mapa: muestra al usuario un formulario que contiene las herramientas necesarias para procesar los datos y realizar los mapas. Dicho formulario se presenta y se describe con más detalle en el numeral 9.3.

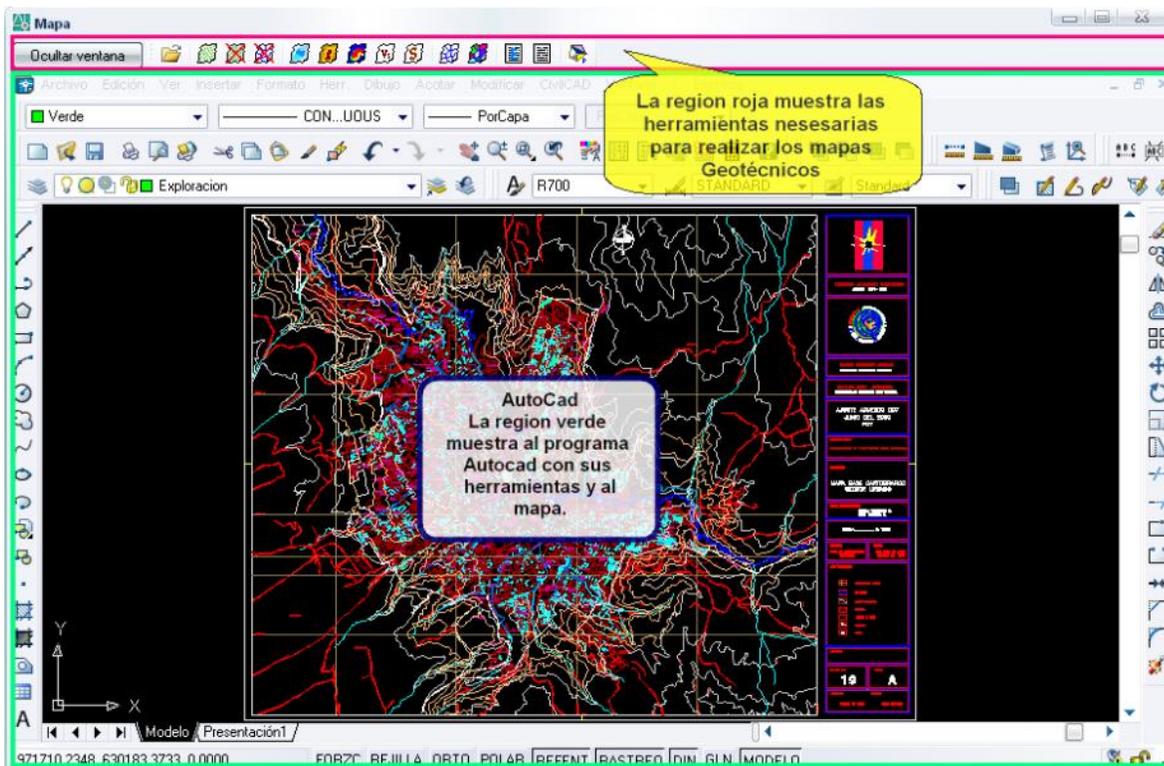
Figura 38. Menú Herramientas – Gráficos



9.3 DESCRIPCIÓN DE LOS FORMULARIOS DEL PROGRAMA GeoZonifica, PARA PRESENTACIÓN DE MAPAS

9.3.1 **Formulario frmAutoCad.** Mediante este formulario se accede a todas las herramientas que permiten realizar los mapas geotécnicos.

Figura 39. Formulario frmAutoCad



Herramienta Ocultar ventana:  esta herramienta oculta pero no cierra la actual ventana y vuelve al formulario principal.

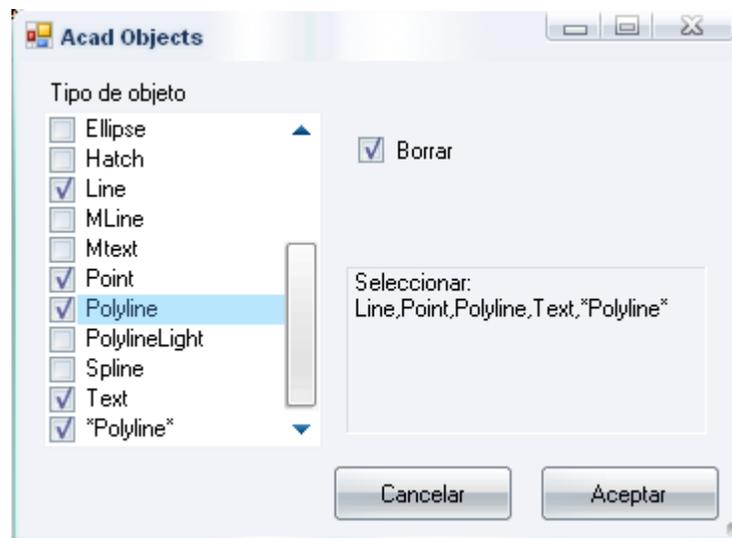
Herramienta abrir archivo  abre un archivo con formato de AutoCAD, el cual debe contener un mapa de la ciudad valido.

Herramienta Colocar Exploraciones:  coloca puntos que representan todas las exploraciones en el mapa, con las coordenadas especificadas en la base de datos, también es posible colocar los puntos o exploraciones en coordenadas relativas, seleccionando un punto de desplazamiento.

Herramienta Quitar Puntos:  quita los puntos que representan exploraciones que se seleccionen en el mapa. Al seleccionar varios elementos esta herramienta permite que únicamente se borren los puntos que el programa haya insertado automáticamente en el mapa, esto con el fin de que no se borren otros elementos como textos, líneas y polilíneas que representan las calles, cuadras y curvas de nivel del mapa principal.

Herramienta Quitar Elementos:  permite borrar del mapa los elementos seleccionados mediante el siguiente cuadro de dialogo.

Figura 40. Herramienta para quitar objetos de los mapas



Herramienta Zonificar nivel freático:  permite colocar puntos que representan exploraciones en las que se encontró nivel freático, con las restricciones que se pueden introducir en el siguiente cuadro de dialogo:

Figura 41. Cuadro de dialogo para zonificar el nivel freático



The dialog box titled "nivel freatico" contains two main sections. The first section, labeled "Meses", has two spinners: "Desde el mes" with the value 1 and "Hasta el mes" with the value 12. The second section, labeled "Nivel freatico (m)", has two spinners: "Desde el nivel" with the value 0.0 and "Hasta el nivel" with the value 1.0. At the bottom of the dialog are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Los cuadros de texto “Desde el mes” y “Hasta el mes” representan meses del año en donde el mes 1 es enero y el mes 12 es diciembre, se utilizan para restringir el intervalo de meses en los cuales se realizaron los estudios a representarse. Esto sirve para observar y analizar la variación del nivel freático según la época del año por ejemplo realizando los siguientes pasos:

- En el cuadro de dialogo de la figura 41 se coloca lo siguiente:



The dialog box titled "nivel freatico" is shown with modified values. In the "Meses" section, "Desde el mes" is set to 1 and "Hasta el mes" is set to 6. In the "Nivel freatico (m)" section, "Desde el nivel" is set to 0.0 and "Hasta el nivel" is set to 1.0. The "Aceptar" and "Cancelar" buttons remain at the bottom.

Lo escrito en el anterior cuadro de dialogo significa:

“Desde el mes = 1” es el mes de enero, “Hasta el mes = 6” el mes de junio; Intervalo de meses que representan la época de verano.

“Desde el nivel = 0” nivel freático superficial, “Hasta el nivel = 1”; es el intervalo de niveles freáticos que se va a tener en cuenta.

- Se da clic en aceptar

Con este procedimiento se ubicaran en el mapa las exploraciones que se hayan realizado en época de verano y que además presenten nivel freático entre 0 y 1 metros de profundidad.

Si se repite la misma operación pero cambiando únicamente los meses a época de invierno, entonces se colocan las exploraciones en un mapa diferente y finalmente se comparan los mapas de la época invierno con los mapas de época de verano, con lo que se logra determinar la variación del nivel freático de época de invierno a época de verano o viceversa en el intervalo de niveles de 0 a 1 metros de profundidad.

Este tipo de análisis no se realiza en el presente trabajo de grado porque no existen suficientes exploraciones con presencia de nivel freático en cada época del año que permitan realizar este tipo de análisis. Por lo tanto, para este trabajo se escoge el número 1 en el cuadro de texto “Desde el mes” y el número 12 en el cuadro de texto “Hasta el mes”, esto con el fin de analizar las exploraciones realizadas en cualquier época del año y se varía únicamente los cuadros de texto “Desde el nivel” y “Hasta el nivel” para analizar la variación del nivel freático con la profundidad.

Los cuadros de texto “Desde el nivel” y “Hasta el nivel” representan la profundidad en la que se encuentra el nivel freático, en donde el nivel cero quiere decir que el nivel freático está en la superficie y un nivel mayor representa un nivel freático más profundo.

En el presente trabajo de grado se realizó el siguiente procedimiento para obtener los mapas de nivel freático:

- Inicialmente se creó una copia del mapa de la ciudad en AutoCad (mapa de la zona urbana actualizado en el 2003) en el cual se va a colocar el mapa de nivel freático.
- Se creó una capa llamada **NivelFreatico** y se la seleccionó.

- Se escogió el color que van a tener las zonas que contengan nivel freático de cero a un metro de profundidad (Azul), dentro de la nueva capa activa.
- se ingreso el número 1 (enero) en el cuadro de texto “Desde el mes” y el número 12 (diciembre) en el cuadro de texto “Hasta el mes”, para analizar ***todas las exploraciones que contengan nivel freático.***
- En el cuadro de texto “Desde el nivel” se ingreso el número (cero) y en el cuadro de texto “Hasta el nivel” se escogió el número 1 (Uno), con el fin de localizar ***las exploraciones que contengan nivel freático con una profundidad de cero a un metro.***
- Dar clic en aceptar, para localizar los puntos (exploraciones) en la copia del mapa escogido.
- Se repitieron los pasos del 3 al 6 con las variaciones indicadas en la tabla 15.

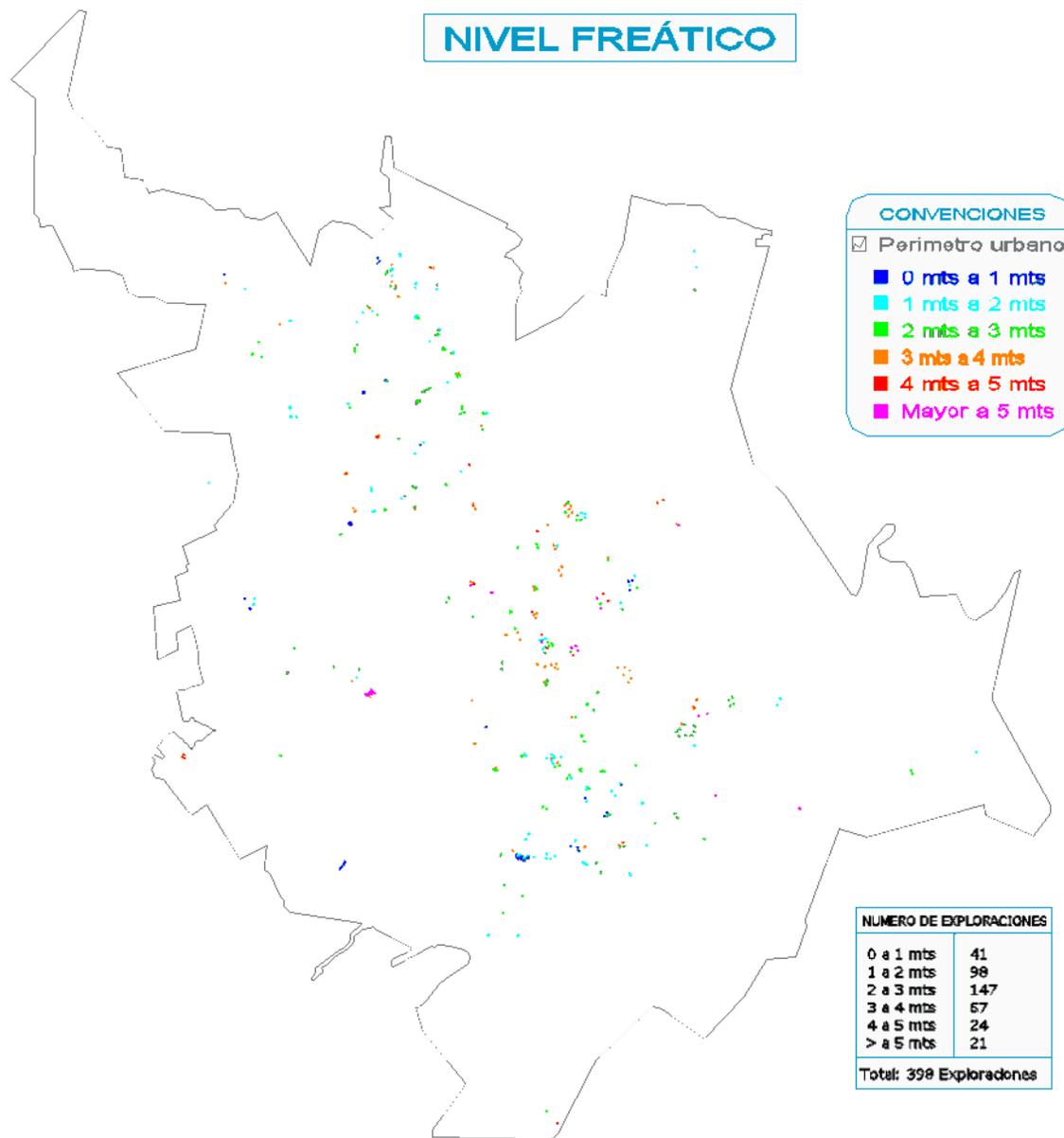
Tabla 15. Convenciones para el nivel freático

Paso 5 Rangos de profundidad del nivel freático (Metros)	Paso 3 Color de la zona	
0 - 1	Azul	
1 - 2	Azul claro	
2 - 3	Verde	
3 - 4	Naranja	
4 - 5	Rojo	
Mayor a 5	Magenta	

Para indicarle al programa que sitúe las exploraciones que contengan nivel freático mayor a 5 metros de profundidad, se debe colocar en el cuadro de texto “Desde el nivel” el número 5 y en el cuadro de texto “Hasta el nivel” un número mucho mayor a 5, por ejemplo 100; debido a que no existen exploraciones con estas profundidades, se estarían analizando todas las exploraciones que tengan nivel freático mayor a cinco metros.

El resultado del anterior procedimiento se presenta a continuación en la figura 42:

Figura 42. Exploraciones con nivel freático.



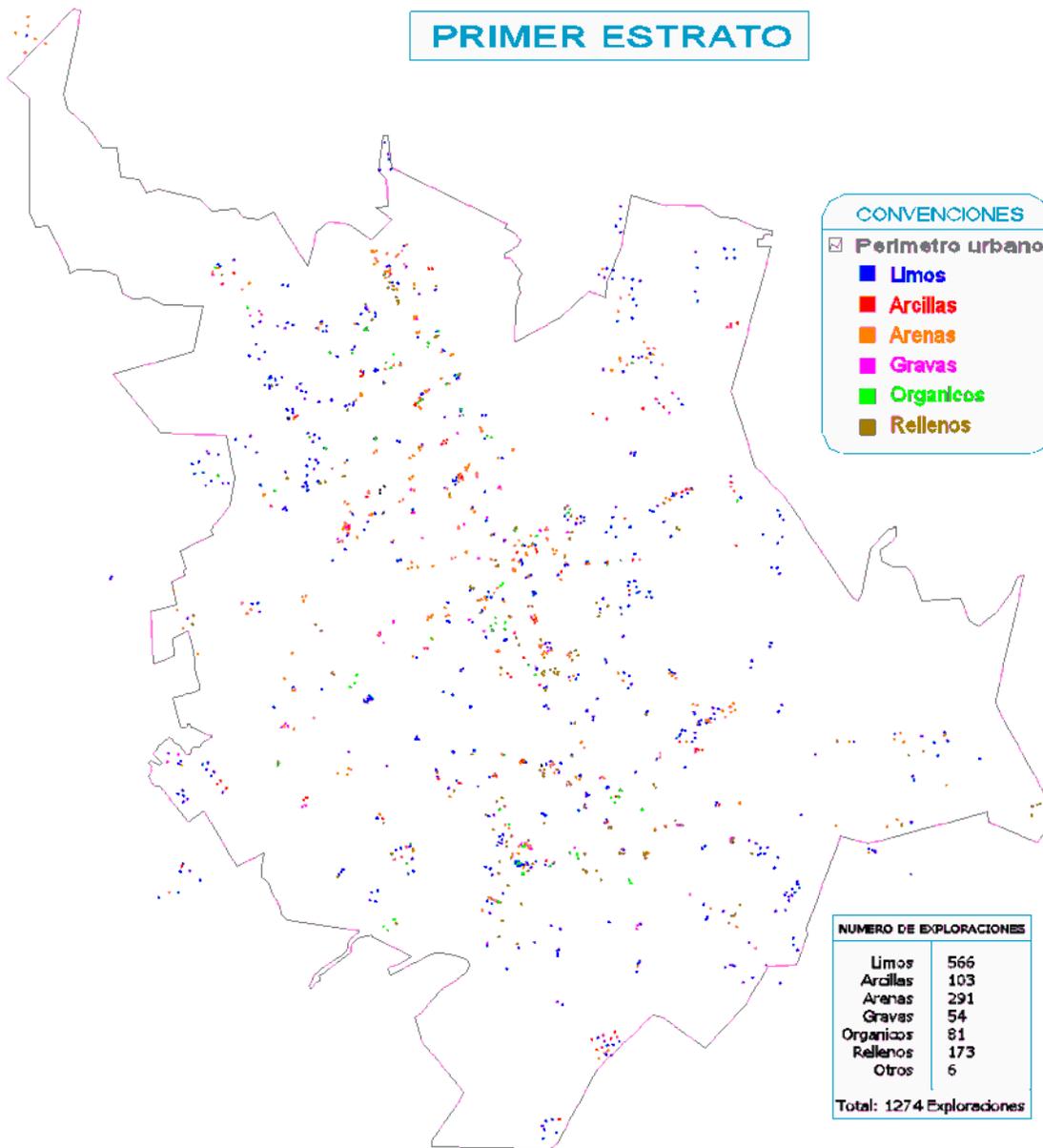
Este mapa se puede observar en la figura 185 en una mejor escala (1:32.500)

Herramienta Zonificar Primer Estrato:  permite colocar puntos en el mapa que representan todas las exploraciones, a cada exploración el programa le asocia un color predeterminado o establecido por el usuario*, cada color asociado representa

* Se configura los colores de cada tipo de suelo mediante el menú **Herramientas-Configurar-Configurar colores**, el cual despliega el cuadro de dialogo de la figura 24.

el tipo de suelo del Primer estrato. Al hacer clic en esta herramienta el programa pide seleccionar el lugar en el espacio para colocar las exploraciones. Al realizar esta acción se muestra la figura 43 que se presenta a continuación.

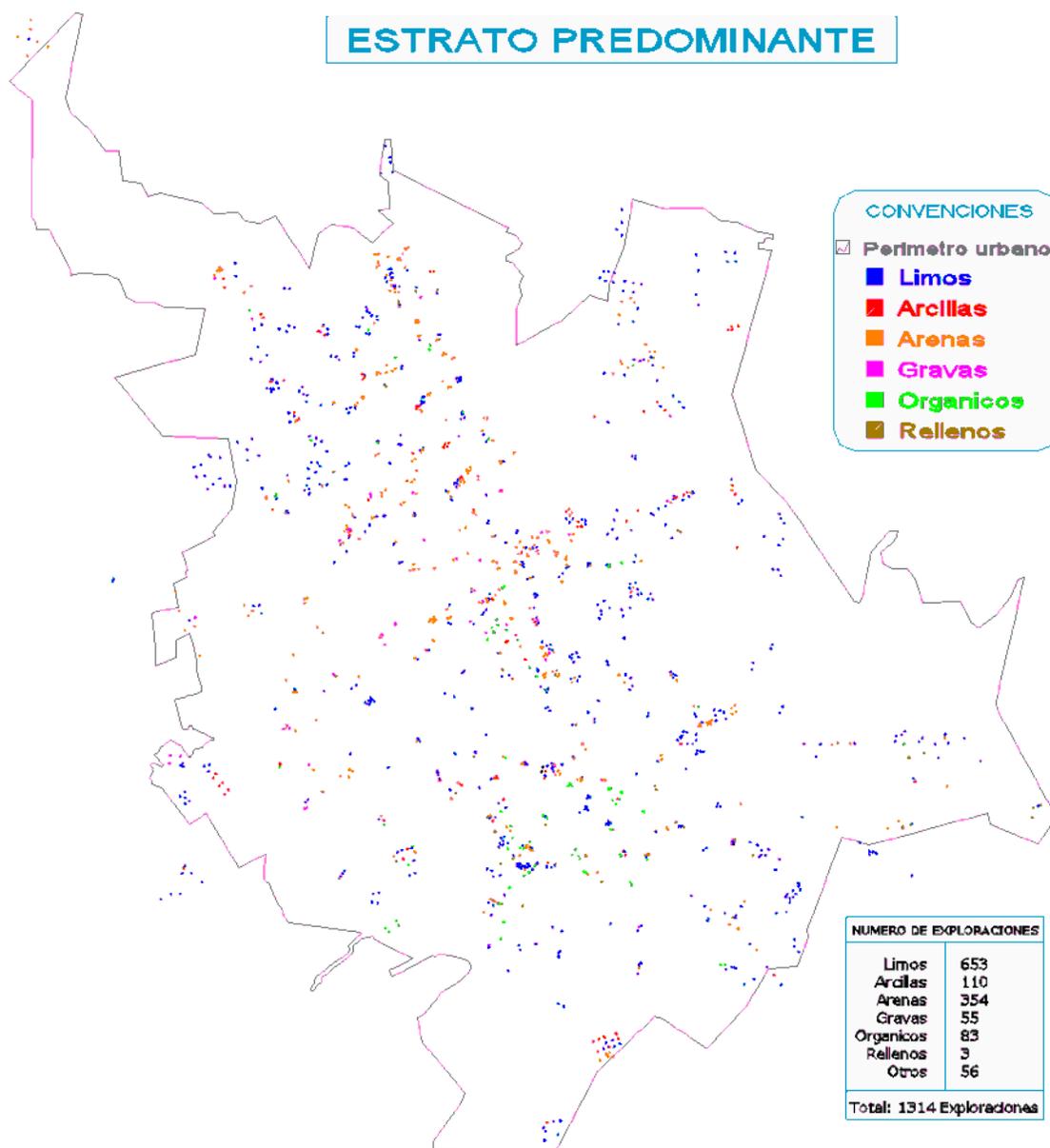
Figura 43. Exploraciones que representan el primer estrato.



Este mapa se puede observar en la figura 186 en una mejor escala (1:32.500)

Herramienta Zonificar Estrato Predominante:  coloca puntos en el mapa con todas las exploraciones, asociando a cada uno un color preestablecido al igual que para el primer estrato, este color representa el estrato predominante. Al hacer clic en esta herramienta el programa pide seleccionar el lugar en el espacio para colocar las exploraciones. El resultado final al realizar esta acción se muestra en la figura 44 presentada a continuación:

Figura 44. Exploraciones que representan el estrato predominante.



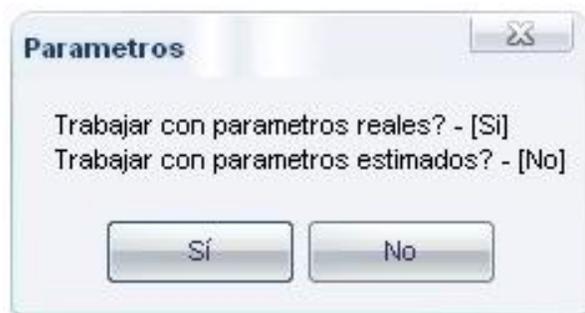
Este mapa se puede observar en la figura 189 en una mejor escala (1:32.500)

Herramienta Zonificar la velocidad de ondas de corte:  coloca puntos en el mapa con las exploraciones que tengan registrado en la base de datos la velocidad de ondas de corte reales o estimadas, según sea el caso, a cada punto se le asocia un color que representan los rangos de velocidades presentados a continuación en la tabla 16.

Tabla 16. Convenciones para velocidad de ondas de corte.

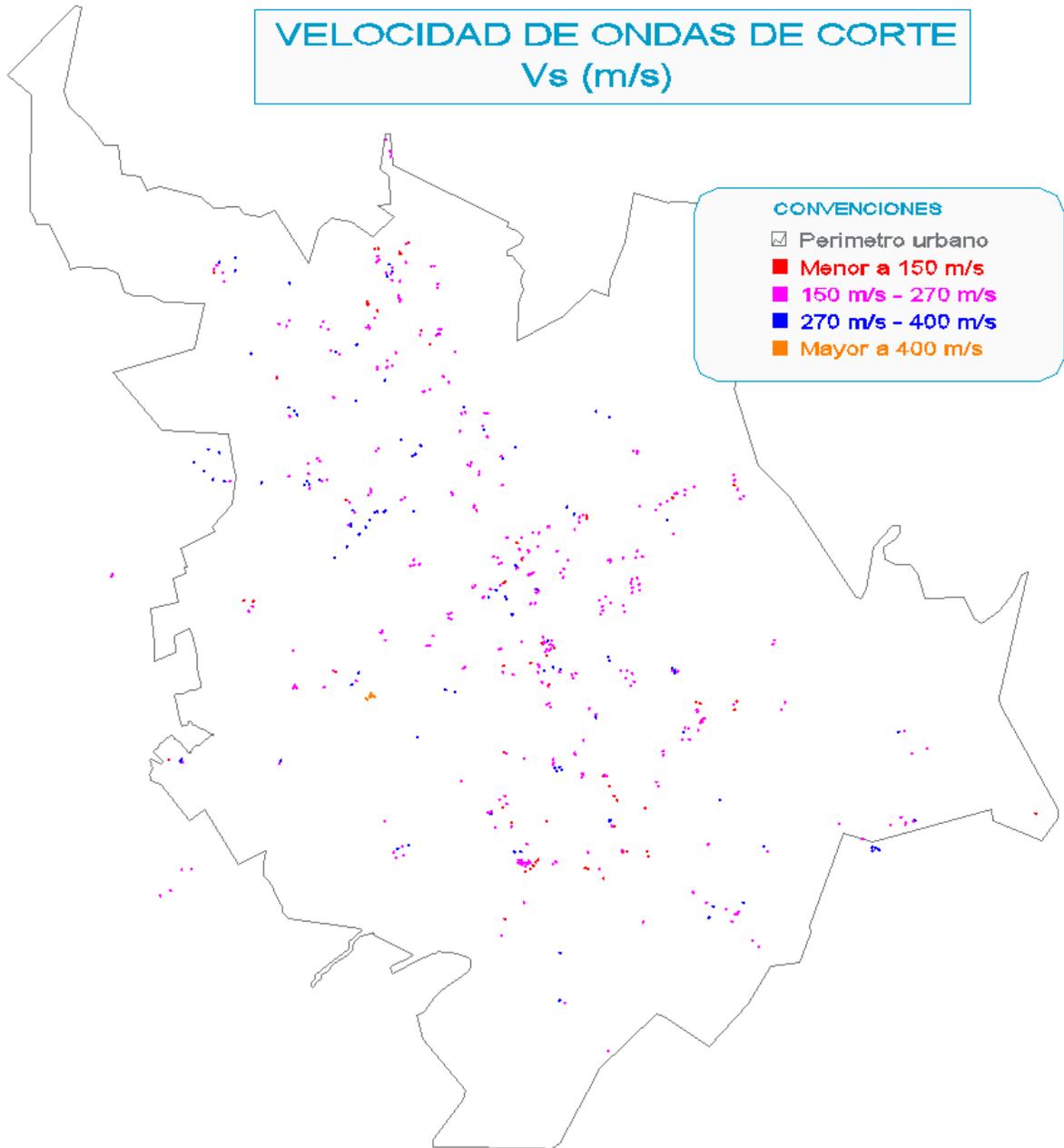
Rangos de Velocidad de ondas de corte en m/s	Color Asociado	
Menor a 150	Rojo	
150 – 270	Magenta	
270 – 400	Azul	
Mayor a 400	Naranja	

Al hacer clic en esta herramienta el programa despliega el siguiente cuadro de dialogo, preguntando si desea realizar el análisis con parámetros reales o parámetros estimados empíricamente contenidos en la base de datos.



Luego pide seleccionar el lugar en el espacio para colocar las exploraciones. El resultado final al realizar esta acción se muestra en la figura 45 presentada a continuación:

Figura 45. Exploraciones que representan la velocidad de ondas de corte.

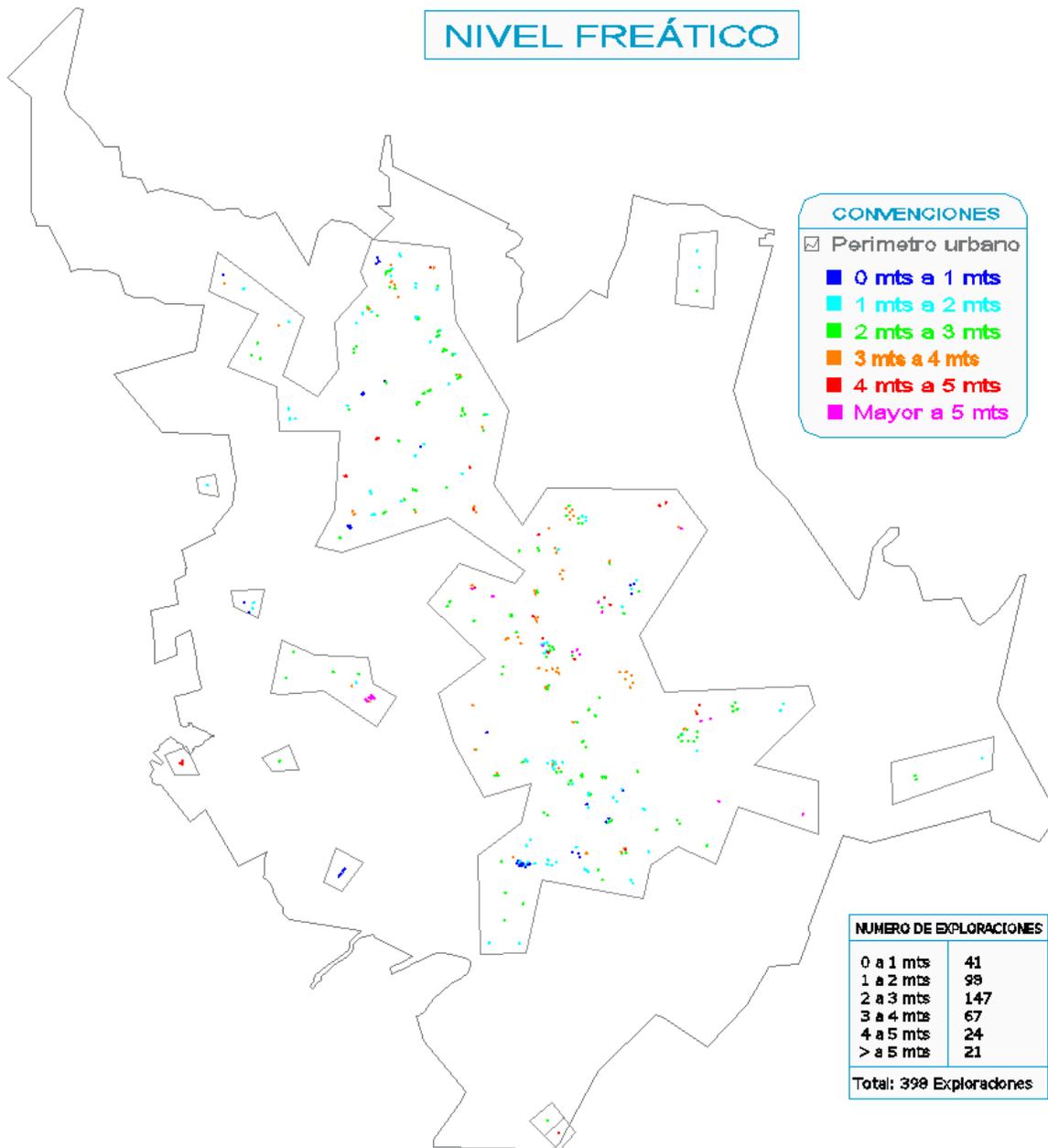


Este mapa se puede observar en la figura 192 en una mejor escala (1:32.500)

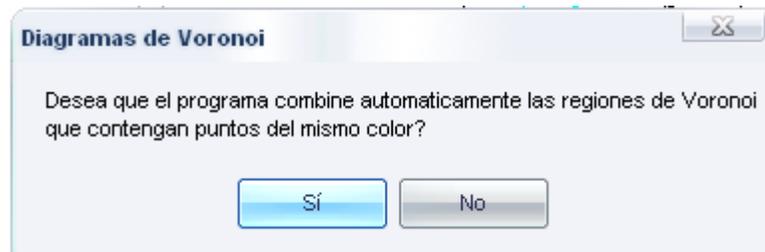
Herramienta dibujar diagramas de Voronoi:  para realizar los diagramas de Voronoi el programa exige dos requisitos, el primero es que exista un conjunto de mínimo dos puntos realizados por el mismo programa, los cuales pueden tener colores diferentes o iguales; el segundo requisito es que exista un contorno dibujado con una poli línea que encierre o contenga los puntos a analizarse.

Pueden existir varios contornos o conjuntos de puntos, pero debe realizarse un dibujo de diagramas de Voronoi para cada uno de ellos de manera separada. A continuación, en la figura 46 se muestran de color negro los contornos que se elaboraron para realizar el mapa de nivel freático:

Figura 46. Contornos para el nivel freático.



Una vez cumplidos los dos requisitos se hace clic sobre esta herramienta, en donde el programa le solicitara seleccionar primero el contorno y luego los puntos a tener en cuenta; para luego mostrar el siguiente cuadro de dialogo:



Al hacer clic en no el programa realiza los diagramas de Voronoi con todas sus regiones, realizando para el ejemplo el mapa de la figura 47, de lo contrario al hacer clic en sí, el programa combinara las regiones de Voronoi que tienen el mismo color, esto con el fin de observar en el mapa las zonas semejantes, como se muestra en la figura 48. Es conveniente anotar que cuando existan pocos puntos dentro de una región, los diagramas resultantes deberán revisarse visualmente.

Figura 47. Diagramas de Voronoi sin combinar las celdas semejantes (nivel freático).

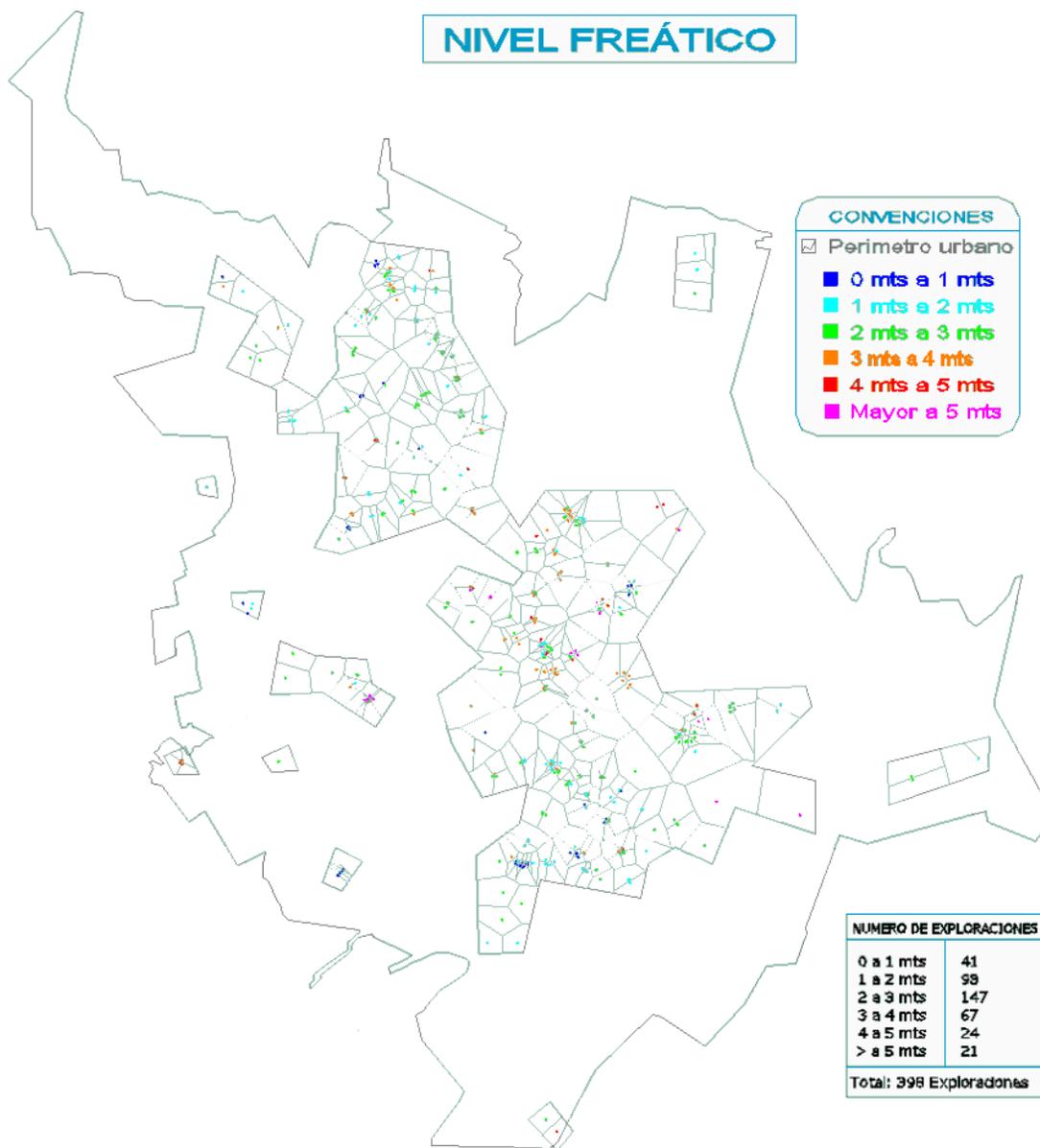
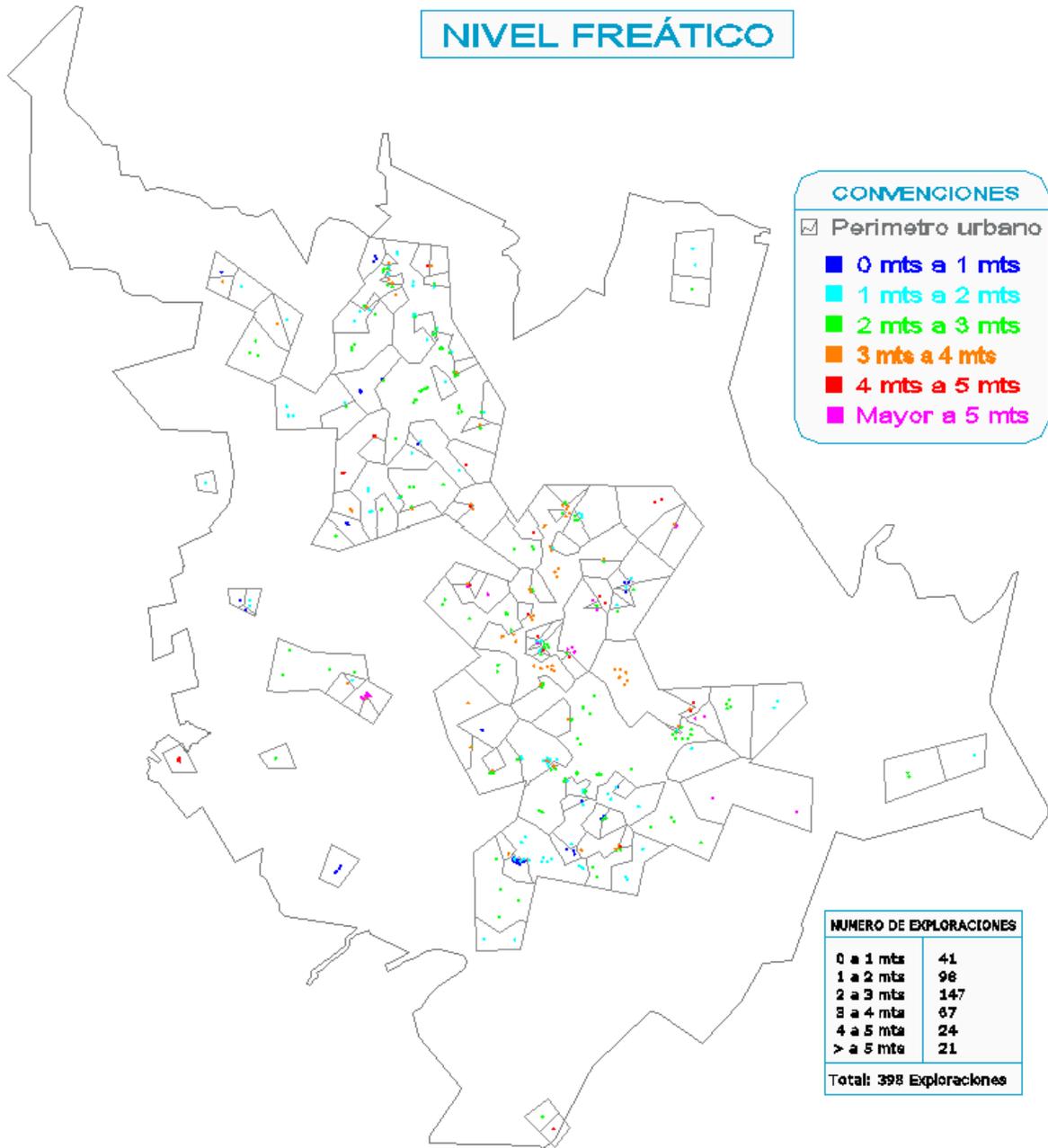
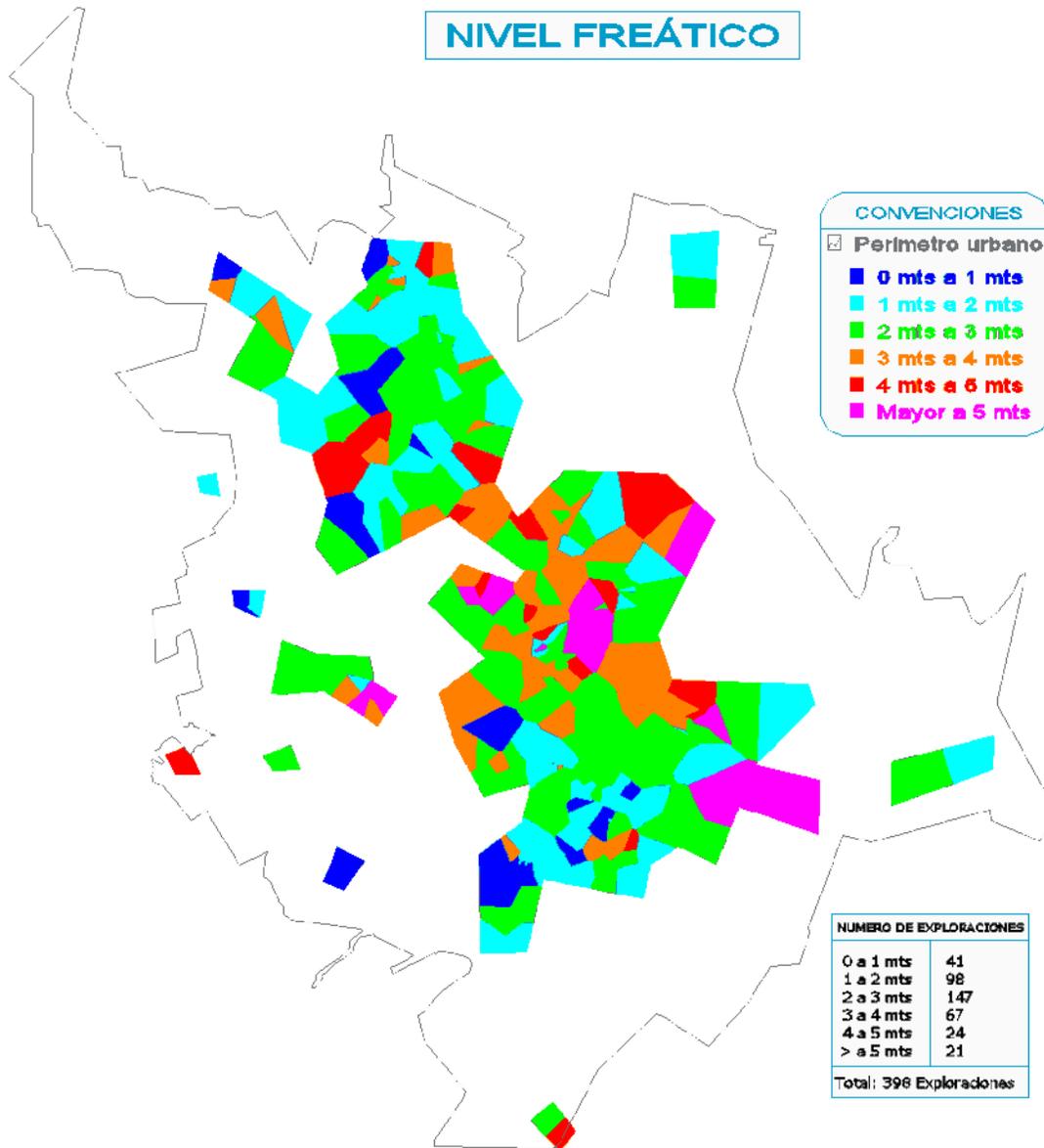


Figura 48. Diagramas de Voronoi con las celdas semejantes combinadas (nivel freático)



Este mapa se puede observar en la figura 184 en una mejor escala (1:32.500)

Figura 49. Diagramas de Voronoi con las celdas semejantes coloreadas.



Este mapa se puede observar en la figura 185 en una mejor escala (1:32.500).

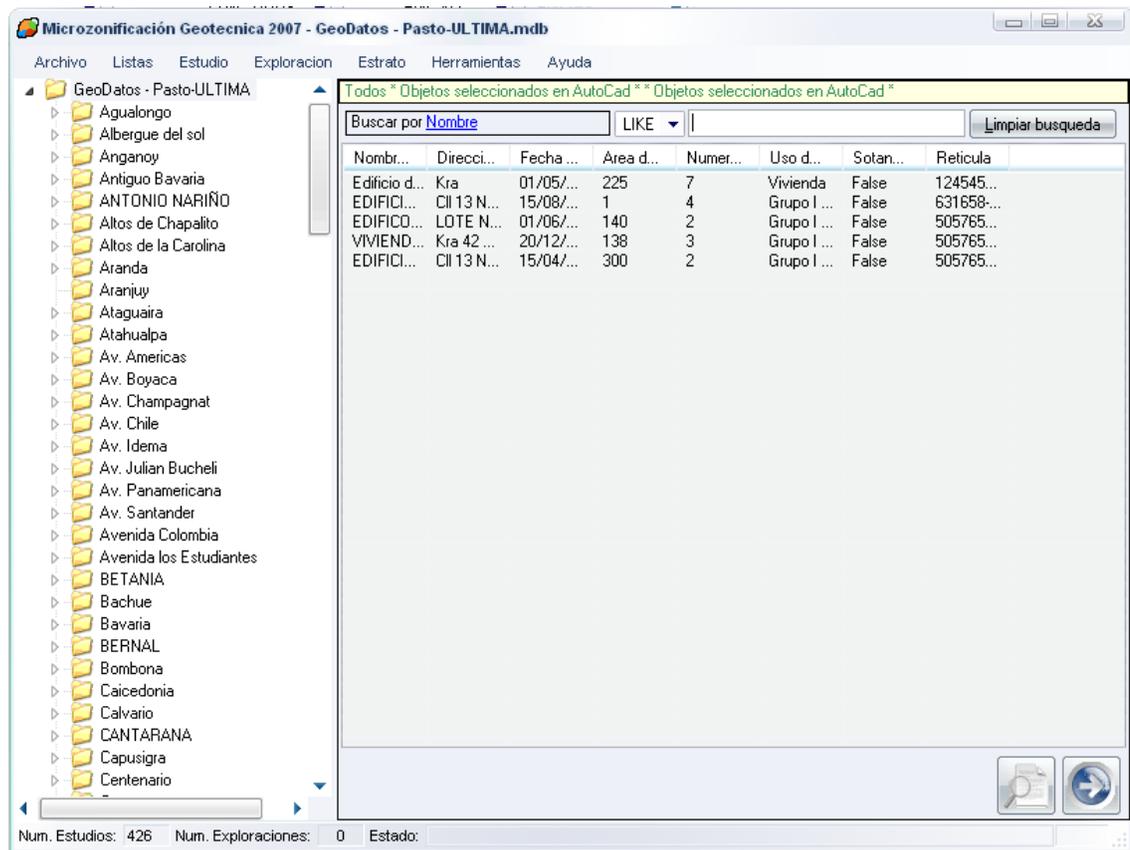
Herramienta mostrar datos de estudio(s): con esta herramienta se puede obtener información de la base de datos de los estudios que contienen la exploración o exploraciones seleccionadas. Al hacer clic en esta herramienta el programa pide seleccionar los puntos del mapa, de los cuales se desee obtener esta información; es importante aclarar que los puntos que se seleccionen deben ser generados por el programa, debido a que cuando el programa los crea, les

coloca internamente información suficiente para identificarlos y que el número máximo de puntos que se pueden seleccionar es de veinte.

Esta herramienta fue ventajosa en el momento de corregir errores del programa y puede ser de gran utilidad para las personas que revisen la efectividad del programa.

Al utilizar esta herramienta, el programa muestra la información en la ventana principal de consultas (ver figura 50), pero si además de esto, se requiere de información detallada acerca de un estudio de esta lista, se la puede obtener haciendo doble clic en el ítem deseado.

Figura 50. Información de estudios que se seleccionaron en los mapas de AutoCad.



Herramienta mostrar datos de exploración(es):  con esta herramienta se puede obtener información contenida en la base de datos relacionada con la exploración o exploraciones seleccionadas. Esta herramienta funciona de forma

similar a la “Herramienta mostrar datos de estudio(s)” y tiene las mismas limitaciones.

Herramienta Analizar parámetros con modelos digitales:  es una herramienta eficaz y útil en el momento de analizar la información de los mapas geotécnicos, debido a que nos muestra la relación que existe entre los parámetros de las exploraciones, teniendo en cuenta su localización en el mapa.

Al dar clic en esta herramienta, se nos muestra el cuadro de dialogo de la figura 51, para así poder seleccionar el tipo de mapa geotécnico que se desea analizar, ya sea el de nivel freático, primer estrato, estrato predominante o un análisis de suelos en general. En el presente trabajo de grado no se recomienda realizar análisis a un mapa de suelos en general, debido a que esto nos lleva a interpretaciones ambiguas. Si se va a realizar el análisis para un mapa diferente al de el nivel freático, en el cuadro de dialogo se puede seleccionar el tipo de suelo y el parámetro o variable a analizar; y para cualquier tipo de mapa, se puede configurar mediante el botón “**Modificar estilo**”, el tipo de modelo para el análisis que puede ser curvas isométricas o diagramas de variación y una escala de colores para reflejar en ellos los valores de los parámetros (Ver Figura 52).

Figura 51. Dialogo para análisis gráfico de los mapas geotécnicos.

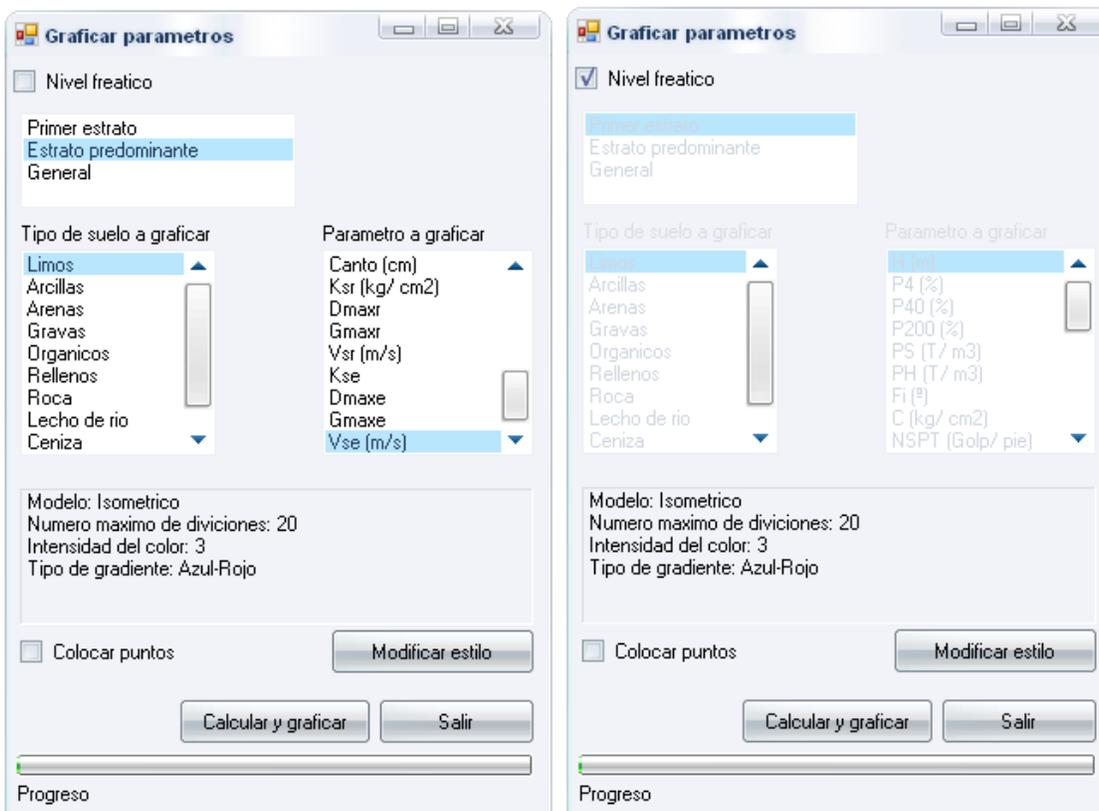
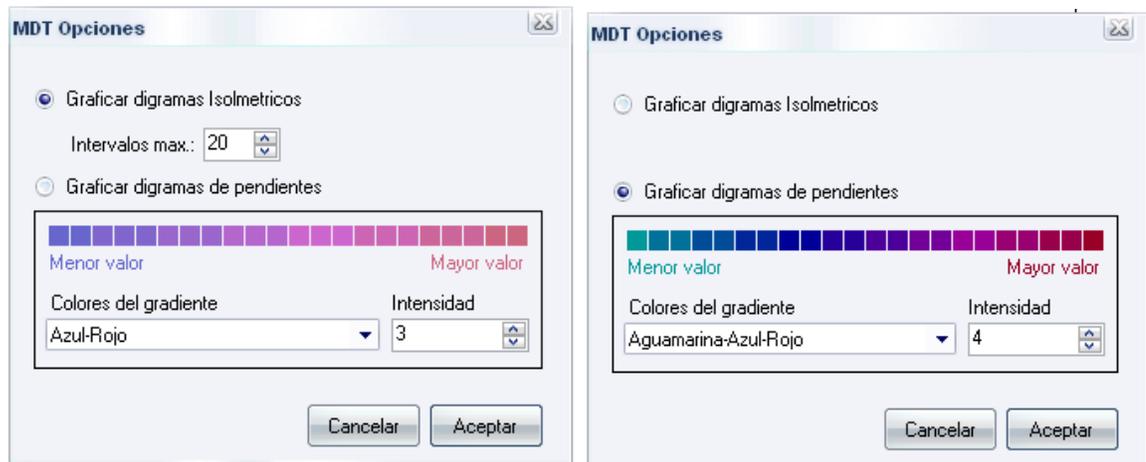
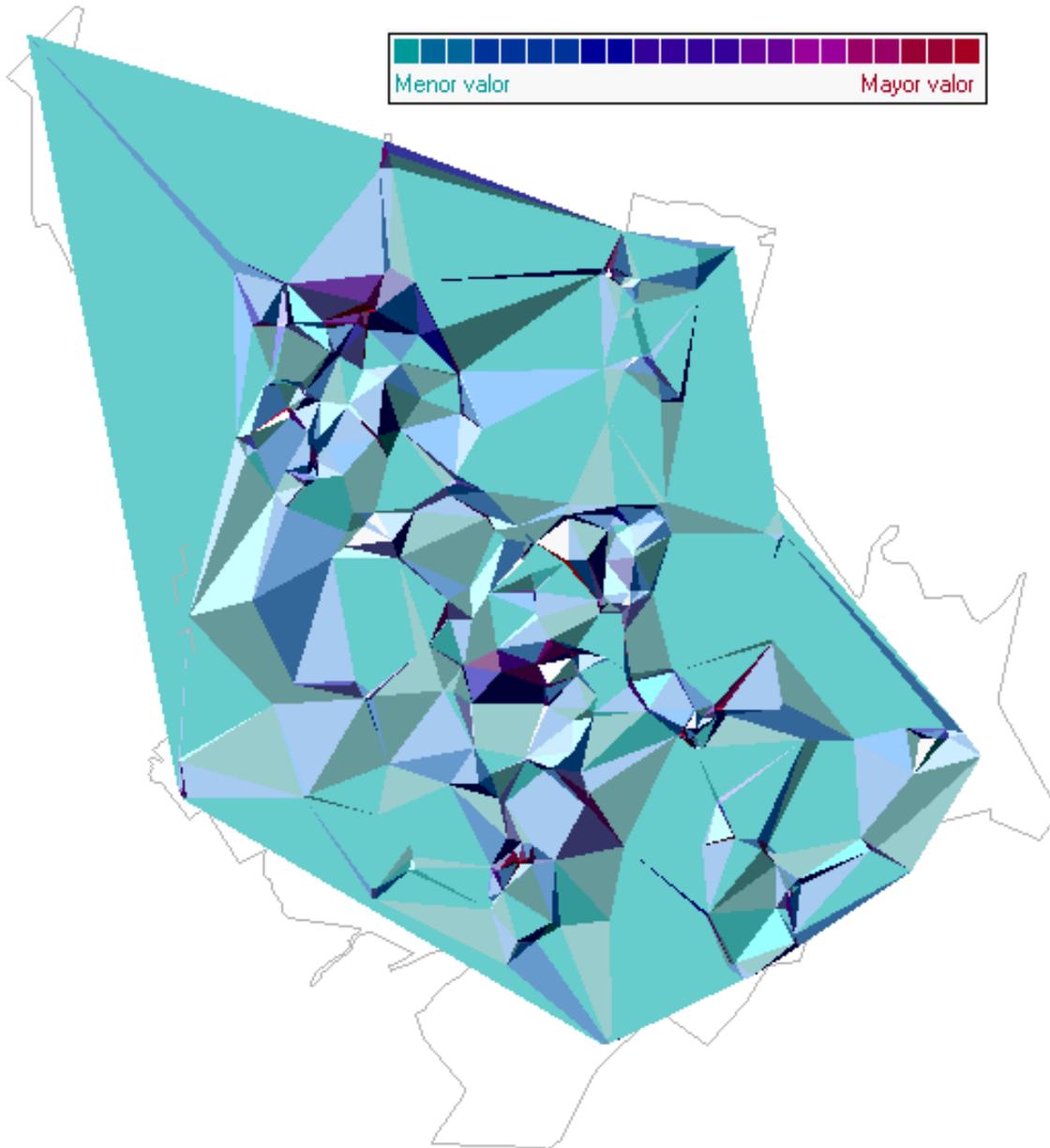


Figura 52. Dialogo para configurar el tipo de análisis y la escala de colores de los modelos de análisis.



Los diagramas de pendientes o diagramas de variación, para observar en el mapa, la desviación de los valores de una manera grafica. En la figura 53, se muestra un mapa con diagramas de variación, configurado para mostrar con los colores azul claro pequeñas variaciones, con colores azul oscuro, las medias variaciones y con colores rojo, las grandes variaciones; y las convenciones utilizadas se muestra en la parte superior del mapa. Para elaborar los diagramas, se utilizo la triangulación de Delaunay, obteniendo la pendiente del plano formado por los tres vértices de cada triangulo y asignando a cada valor de pendiente un color determinado.

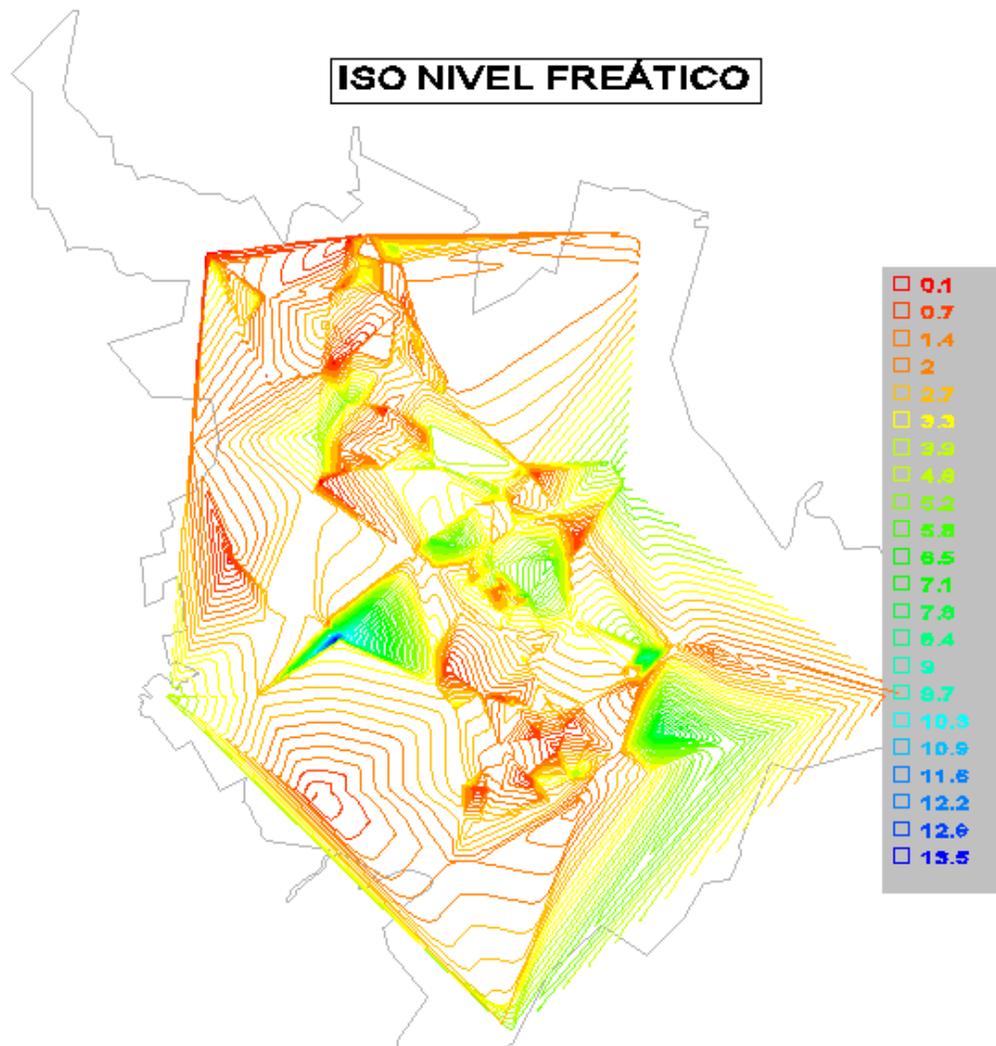
Figura 53. Diagramas de variación de humedad para limos del estrato predominante.



Los diagramas de isolineas son similares a las curvas de nivel, los cuales se obtienen a partir de la triangulación de Delaunay, También son importantes los diagramas porque nos permiten observar la dispersión de los valores, debido a que son derivados de la triangulación, aunque las isolineas nos dan una visión más amplia porque nos muestra además, los valores representados por las isolineas y sus colores.

En la figura 54 se muestra el diagrama de isolineas para el nivel freático en donde las curvas muy próximas entre sí; representan una dispersión amplia de los valores, mientras que las curvas separadas representan pequeñas variaciones. Los colores rojo representan un nivel freático más superficial y los colores azul un nivel freático más profundo.

Figura 54. Diagramas de isolineas para el nivel freático.



9.4 GRADO DE ERROR Y EXACTITUD EN LOS MAPAS GEOTÉCNICOS

La precisión de los mapas geotécnicos es directamente proporcional a la densidad de exploraciones inventariadas por unidad de área, a mayor densidad, mayor será la precisión. Por ejemplo, en la figura 55 se observa una región de mapa geotécnico con baja densidad de puntos, esto representa un mapa con baja precisión y se puede apreciar análogamente en el dibujo, observando las líneas rectas que delimitan las regiones de diferentes colores; en la figura 56 se presenta la misma región del mapa de la figura 55, pero con una densidad mayor de puntos (Exploraciones), esto proporciona una delimitación entre las regiones con un grado de error menor y las líneas rectas que delimitan las regiones son más cortas, asemejándose visualmente a líneas curvas.

La importancia de continuar alimentando la base de datos, radica en el grado de error que se desee tener en los mapas geotécnicos, en el momento de realizar la microzonificación sísmica; por lo tanto se recomienda actualizar la base de datos constantemente.

Durante el proceso de alimentación de la base de datos se puede presentar el caso de introducir algún dato erróneamente o de encontrar estudios de suelos con datos erróneos, esta información se puede corregir de manera manual en el momento que exista una densidad de puntos adecuada, observando por ejemplo en medio de las regiones grandes, una región de otro color pequeña e insignificante como es la región pintada de verde en las figuras 55 y 56, que debe analizarse para ver si se trata de un dato erróneo, o de una característica específica del lugar; de igual manera se pueden descartar datos errados analizando y observando detenidamente los diferentes gráficos y mapas que proporciona el programa **GeoZonifica**.

El programa **GeoZonifica** proporciona las partes a y b de las figuras 55 y 56, según se lo requiera, en la sección “a” se presentan los diagramas de Voronoi con regiones de Voronoi completos, en la parte “b” se muestra los diagramas de Voronoi de la parte “a” pero con las regiones de Voronoi semejantes combinadas y en la sección “c” se presentan las regiones de la parte “a” o “b”, pero con las áreas coloreadas según les corresponda, estas áreas se deben pintar manualmente en **AutoCAD** mediante el comando **Sombreado** o **Hatch**.

Figura 55. Sección de un mapa geotécnico con baja densidad de puntos.

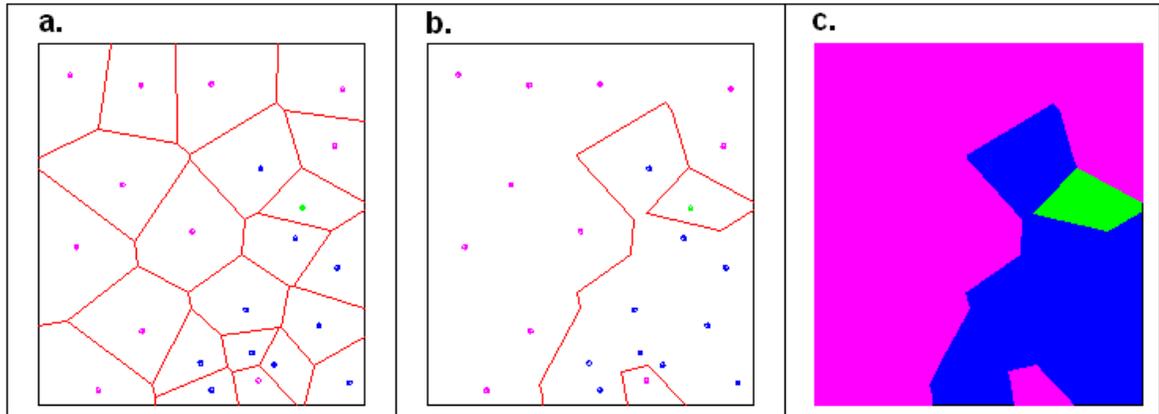
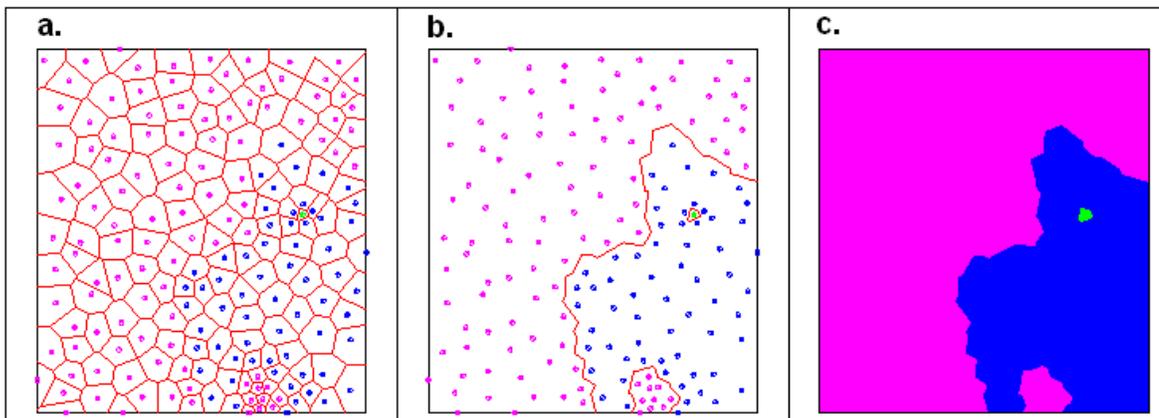


Figura 56. Sección de un mapa geotécnico con alta densidad de puntos.



La localización de los puntos no ha cambiado de la figura 55 a la 56, únicamente ha cambiado la densidad de puntos, es decir, la figura 56 es la figura 55 pero con más puntos.

10. RESULTADOS DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Con el programa **GeoZonifica** se elaboraron los mapas geotécnicos y los gráficos para su análisis. Estos mapas y gráficos son presentados en este capítulo con la recomendación de que se debe actualizar la base de datos constantemente, debido a que estos serán más precisos a medida de que se cuente con más información geotécnica...véase numeral 9.4....

10.1 GRÁFICOS

Los gráficos que se presentan en este numeral fueron escogidos por su importancia, algunos de estos se muestran con el fin de demostrar que hay o no relación entre los parámetros estudiados.

10.1.1 Primer Estrato – General

Figura 57. General - Límite líquido Vs Frecuencia

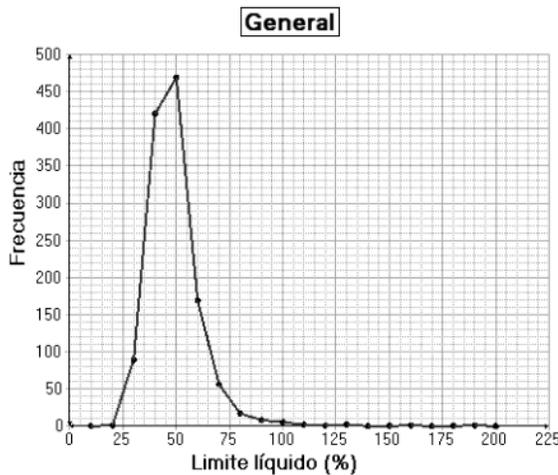
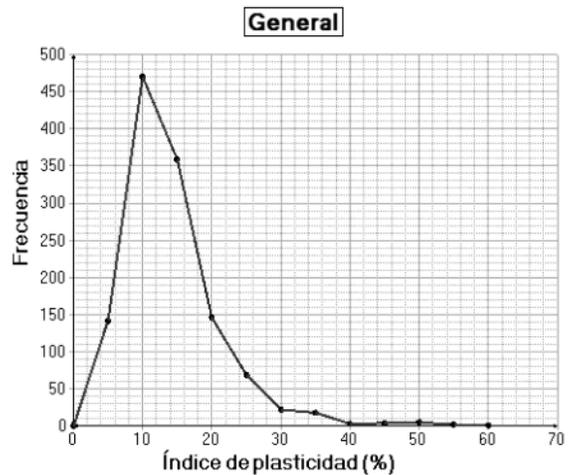


Figura 58. General - Índice de plasticidad Vs Frecuencia



En el gráfico de la figura 56 se puede observar que en la ciudad de San Juan de Pasto es más probable encontrar en los primeros estratos índices de plasticidad entre el 10% y el 20%.

Figura 59. General - Peso unitario seco Vs Frecuencia

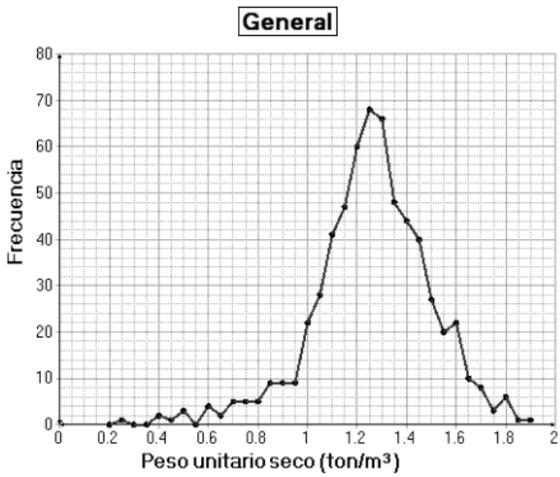


Figura 61. General - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

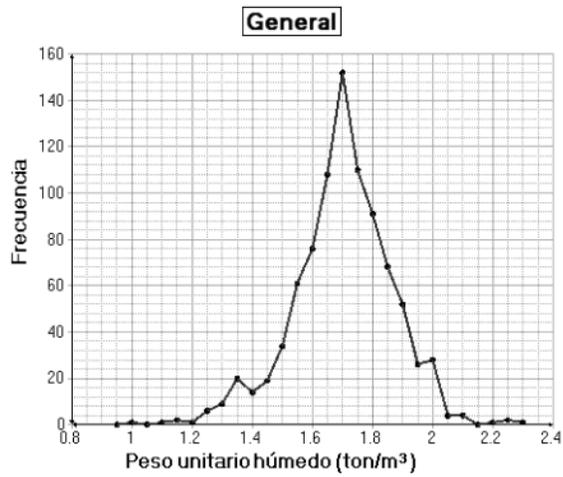


Figura 60. General - Humedad natural Vs Frecuencia

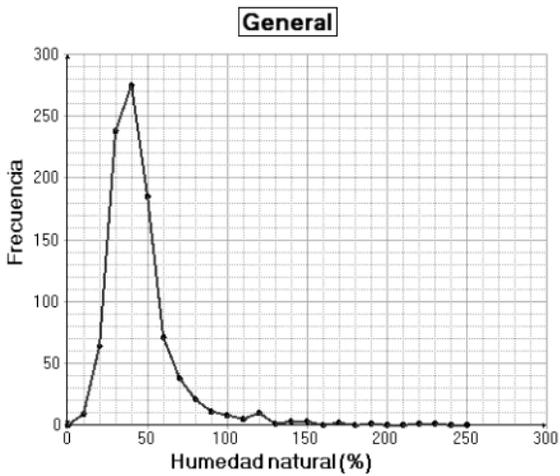


Figura 62. General - Gravedad específica Vs Frecuencia

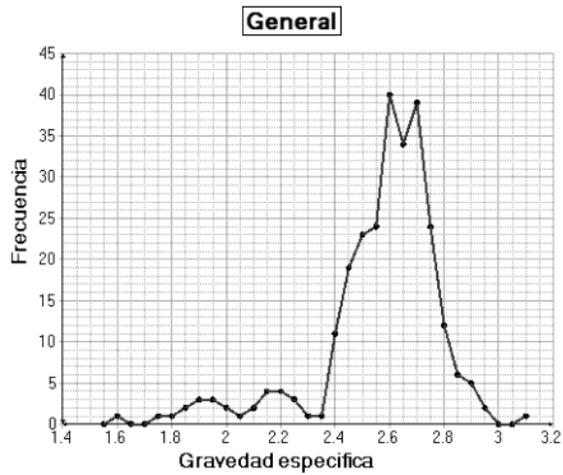


Figura 63. General - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

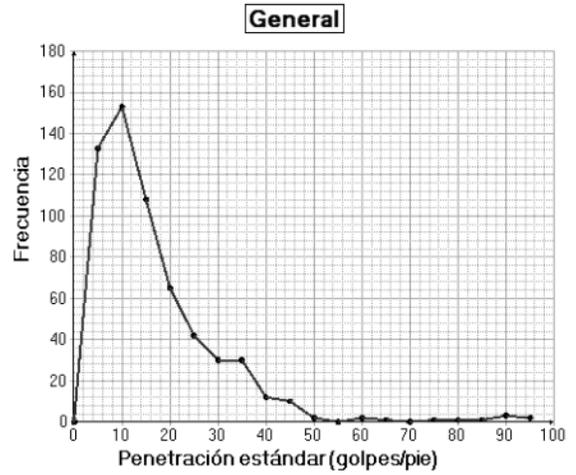
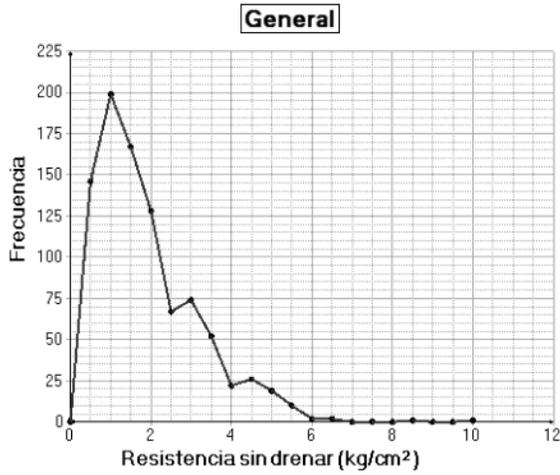


Figura 64. General - Penetración estándar Vs Frecuencia

10.1.2 Primer Estrato – Arcillas

En éste numeral se muestran los gráficos obtenidos para el primer estrato, analizando los parámetros de las arcillas.

Figura 65. Primer estrato –Gráfico de plasticidad de las Arcillas - Límite líquido Vs Índice de plasticidad

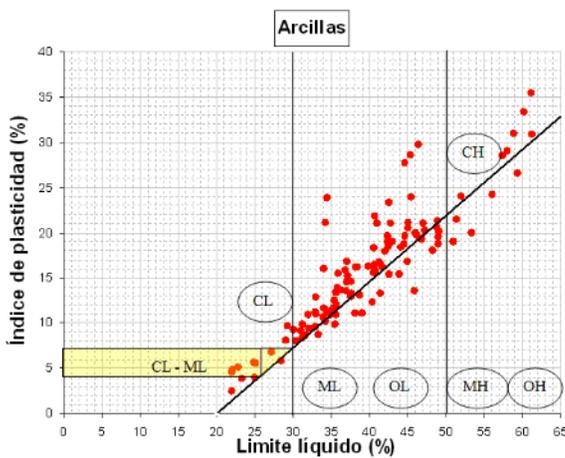


Figura 66. Primer estrato - Arcillas - Límite líquido Vs Frecuencia

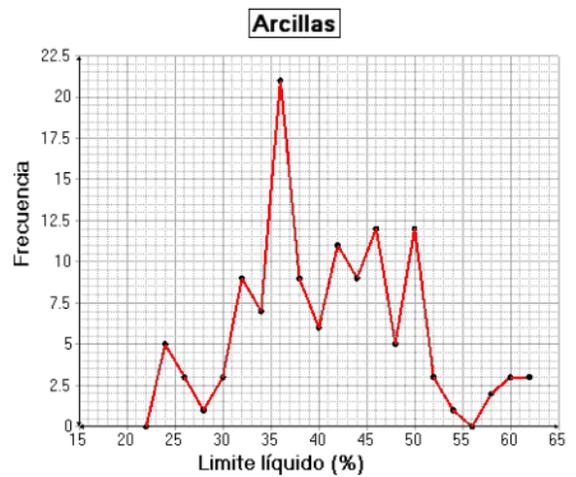


Figura 67. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

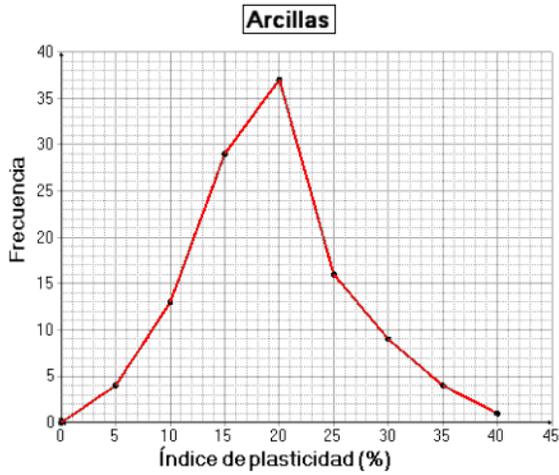


Figura 69. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Frecuencia

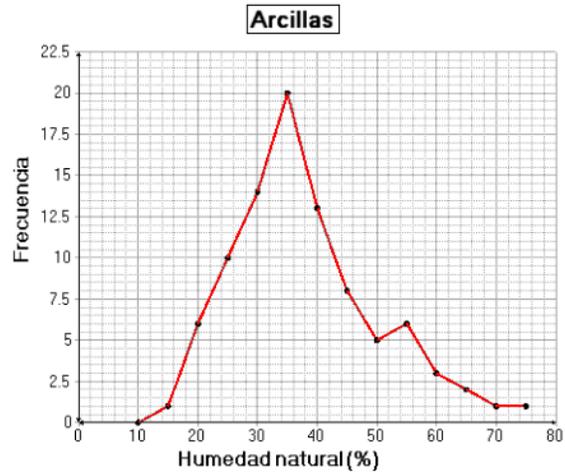


Figura 68. Primer estrato - Arcillas - Peso unitario seco Vs Frecuencia

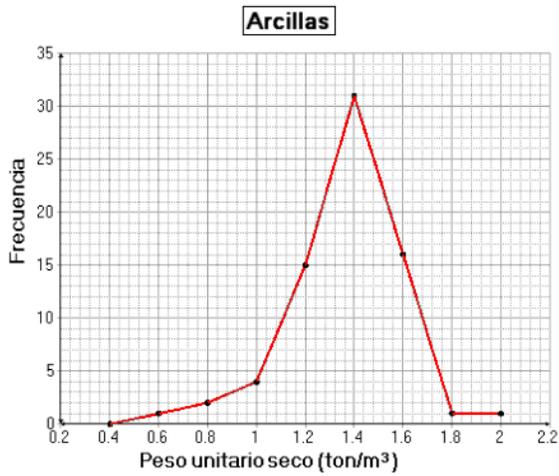


Figura 70. Primer estrato - Arcillas - Gravedad específica Vs Frecuencia

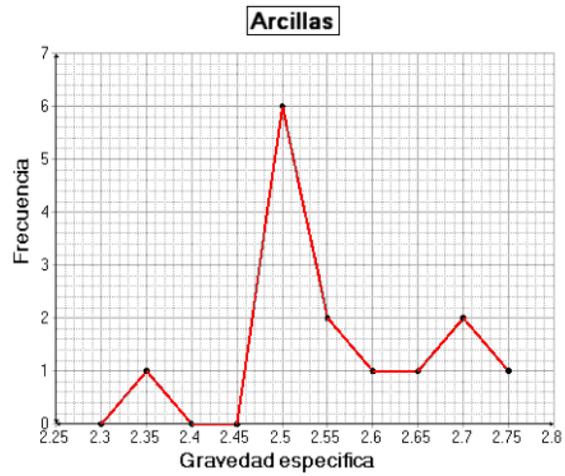


Figura 71. Primer estrato - Arcillas - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

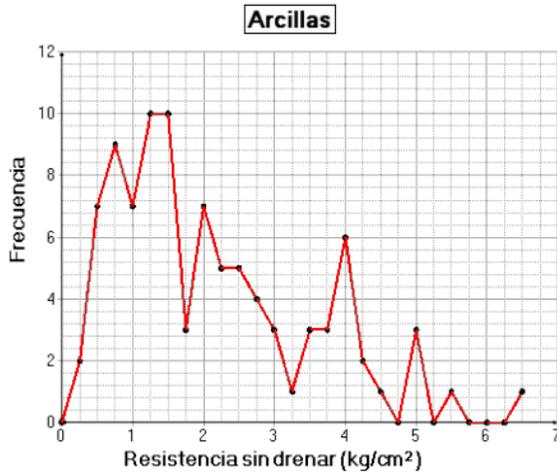


Figura 73. Primer estrato - Arcillas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

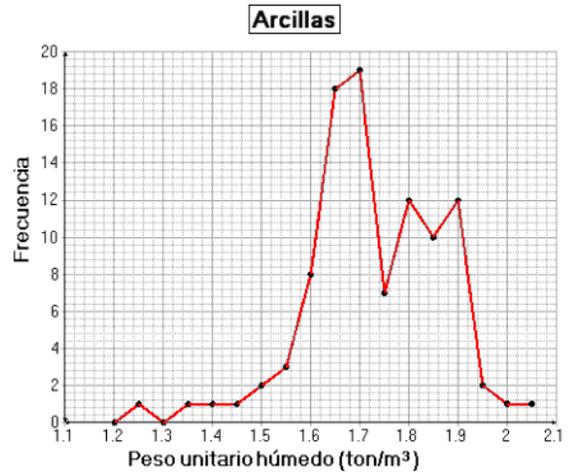


Figura 72. Primer estrato - Arcillas - Penetración estándar Vs Frecuencia

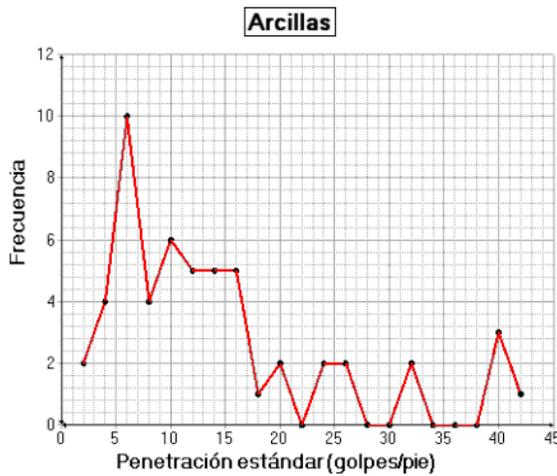


Figura 74. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo

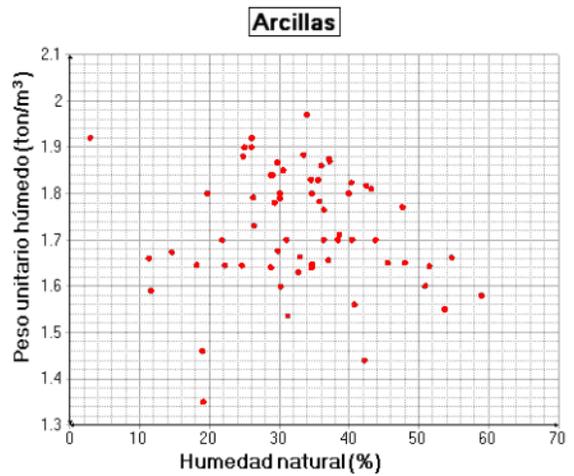


Figura 75. Primer estrato - Arcillas - Humedad natural Vs Límite líquido

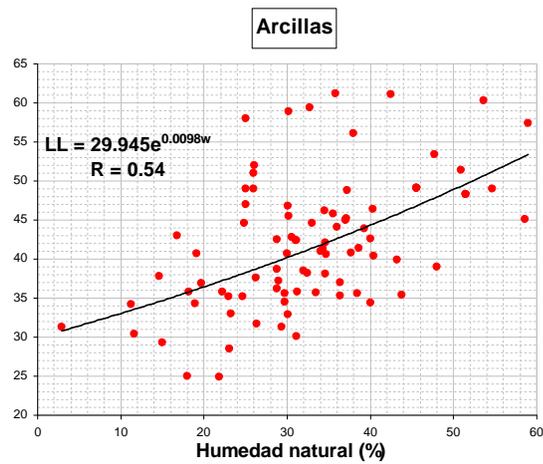


Figura 77. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo

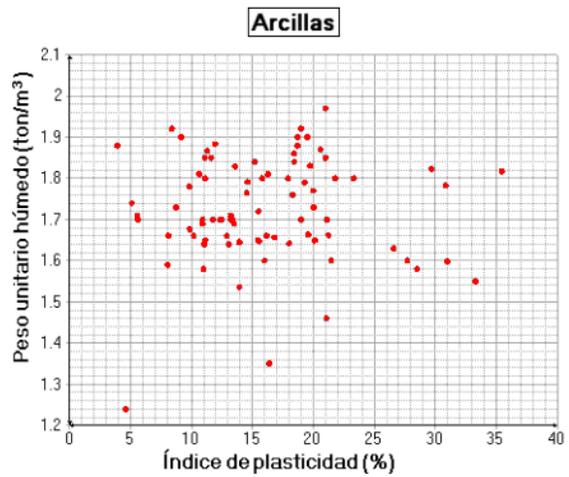
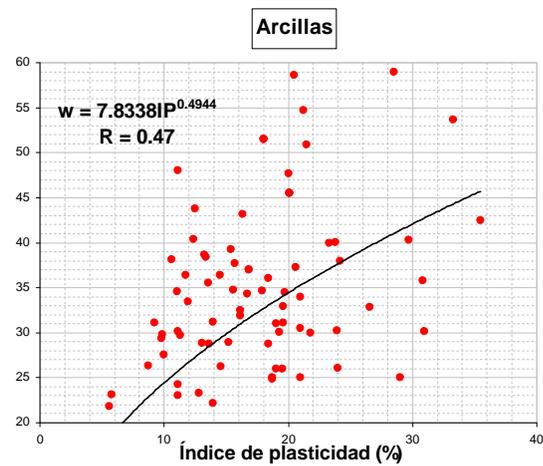


Figura 76. Primer estrato - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Humedad natural



10.1.3 Primer Estrato – Arenas

En éste numeral se muestran los gráficos obtenidos para el primer estrato, analizando los parámetros de las arenas.

Figura 78. Primer estrato – Material fina de las arenas (pasante del tamiz No. 40) - Límite líquido Vs Frecuencia

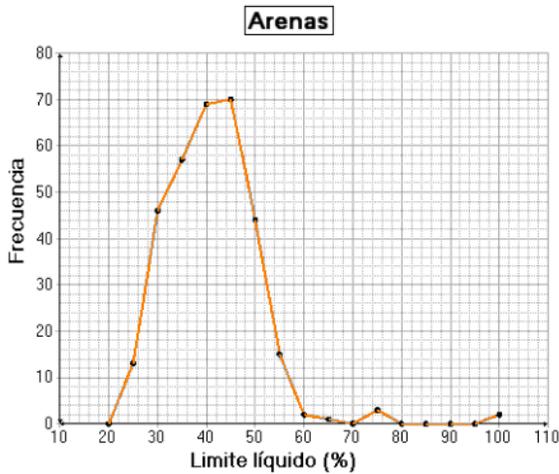


Figura 80. Primer estrato - Arenas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

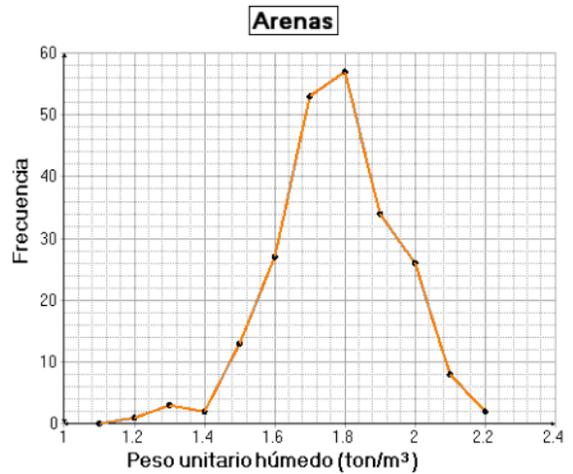


Figura 79. Primer estrato - Arenas - Peso unitario seco Vs Frecuencia

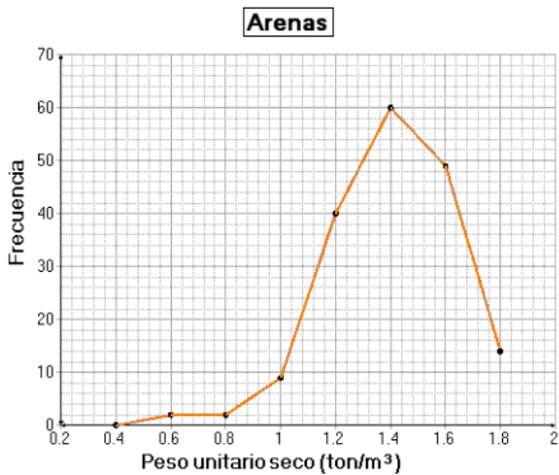


Figura 81. Primer estrato - Arenas - Humedad natural Vs Frecuencia

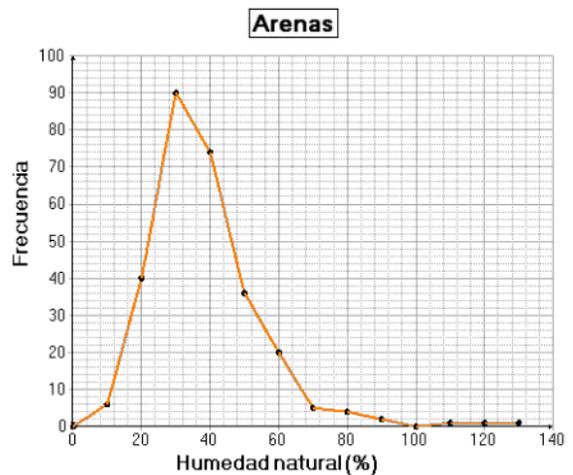


Figura 82. Primer estrato – Fracción fina de las arenas (pasante del tamiz

No. 40) - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

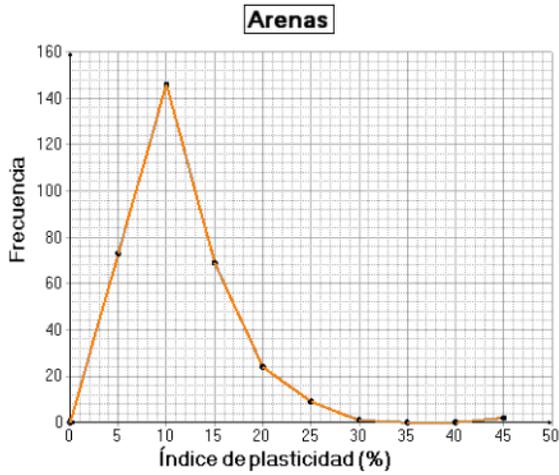


Figura 83. Primer estrato - Arenas - Gravedad específica Vs Frecuencia

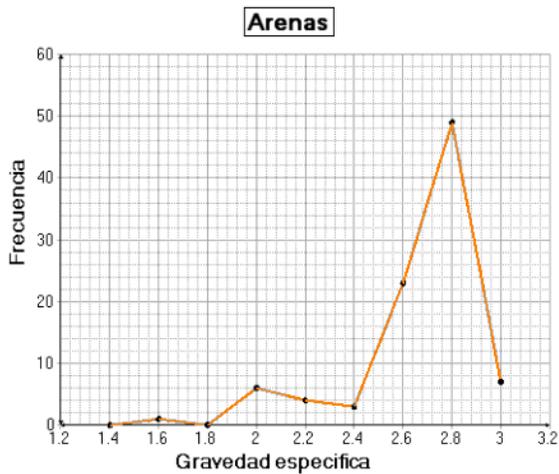


Figura 84. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

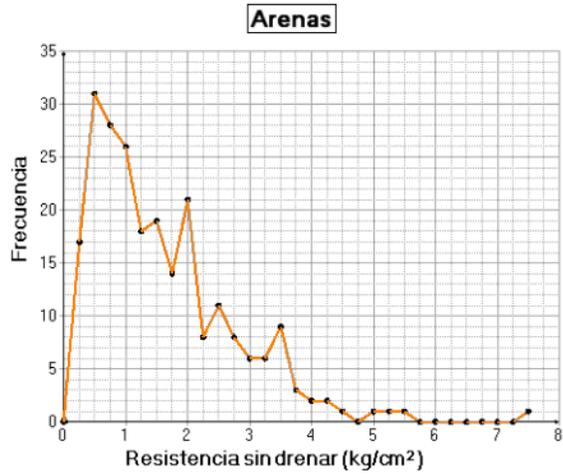


Figura 85. Primer estrato - Arenas - Penetración estándar Vs Frecuencia

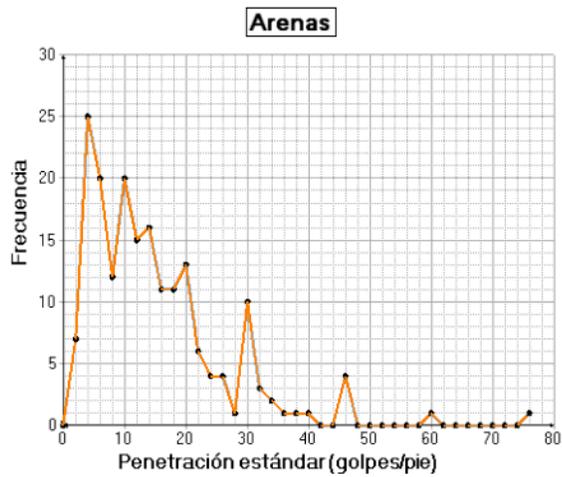


Figura 86. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar

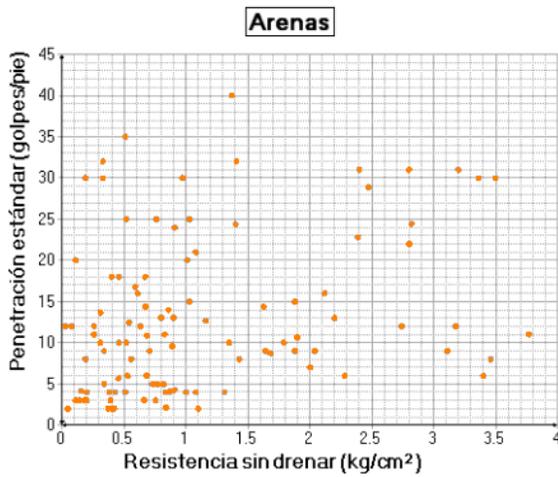


Figura 87. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo

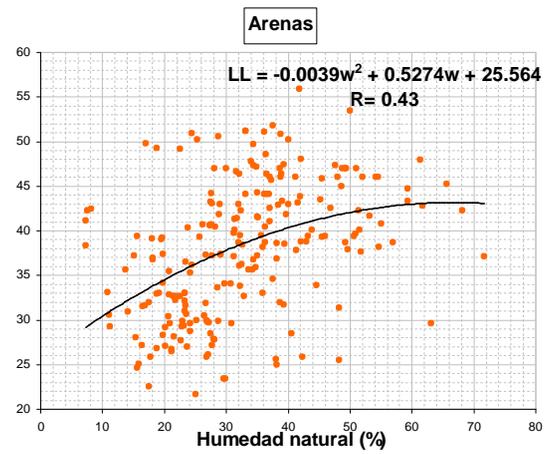


Figura 89. Primer estrato - Arenas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo

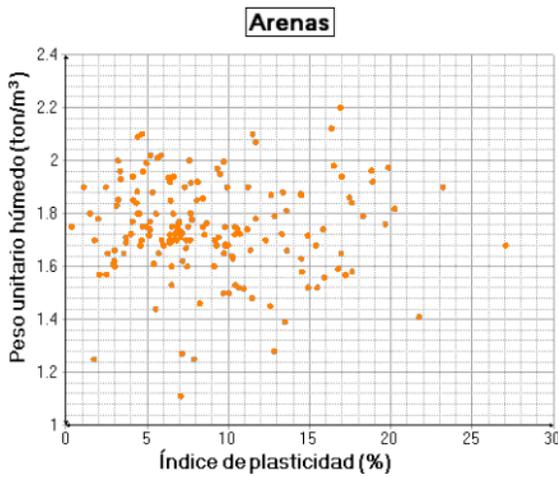


Figura 88. Primer estrato – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Humedad natural Vs Límite líquido

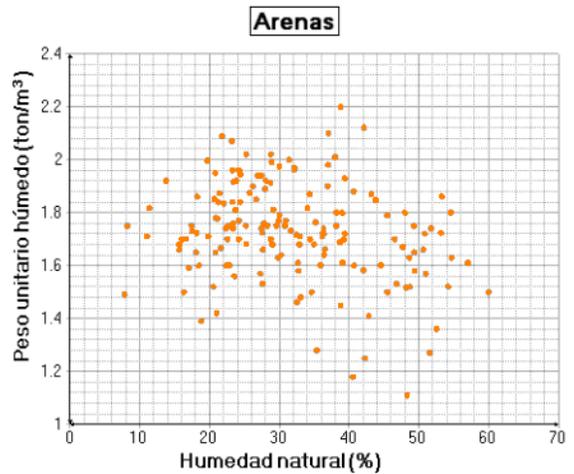
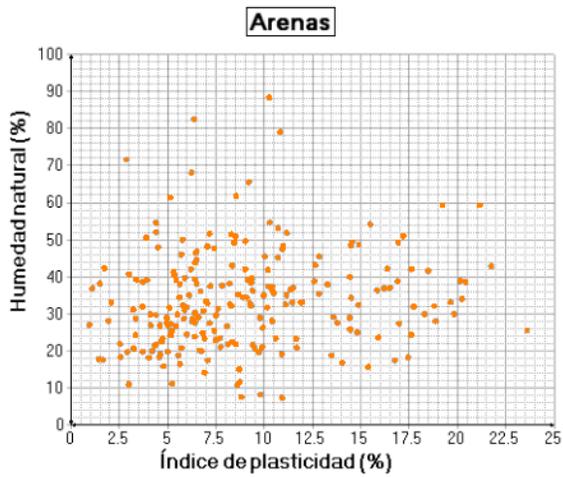


Figura 90. Primer estrato - Arenas Pasante tamiz No. 40- Índice de plasticidad Vs Humedad natural



10.1.4 Primer Estrato – Gravas

En éste numeral se analizan los parámetros de las gravas del primer estrato.

Figura 91. Primer estrato - Gravas -
Peso unitario seco Vs Frecuencia

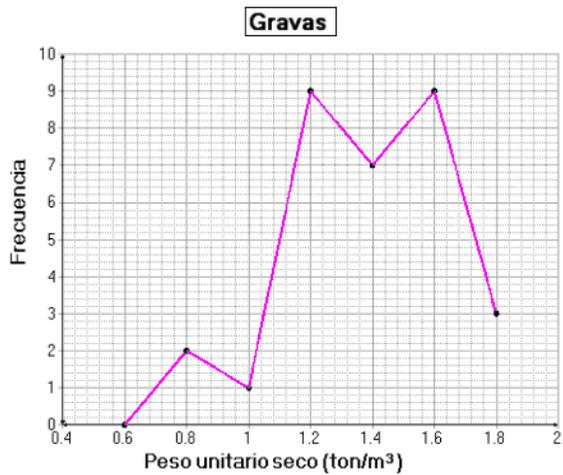


Figura 92. Primer estrato - Gravas -
Humedad natural Vs Frecuencia

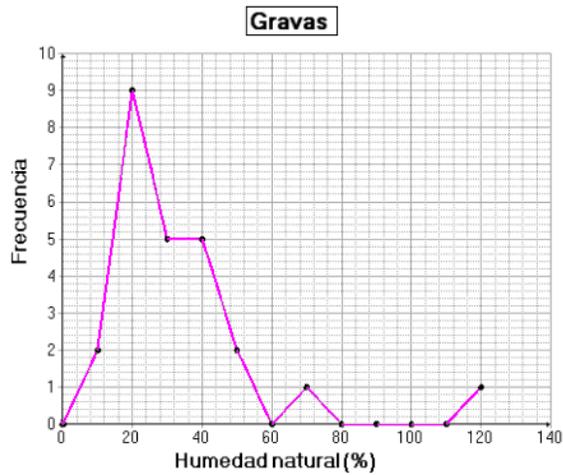


Figura 93. Primer estrato - Gravas -
Penetración estándar Vs Frecuencia

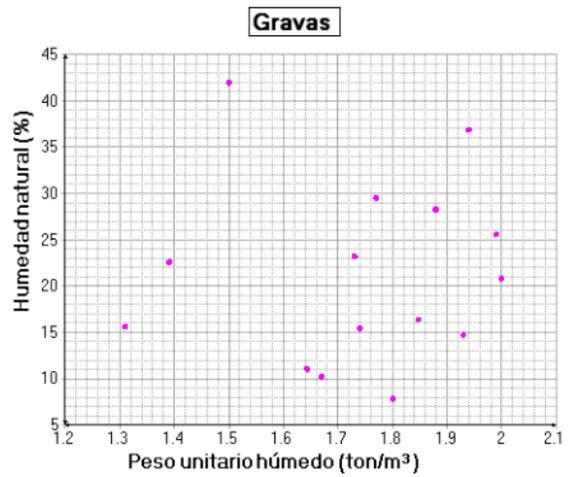
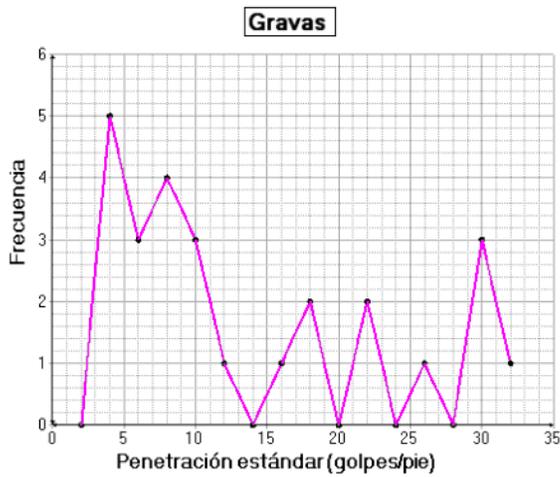


Figura 94. Primer estrato – Gravas
Peso unitario húmedo Vs Humedad natural

10.1.5 Primer Estrato – Limos

En éste numeral se analizan parámetros de los limos del primer estrato.

Figura 95. Primer estrato Gráfico de plasticidad - Limos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad

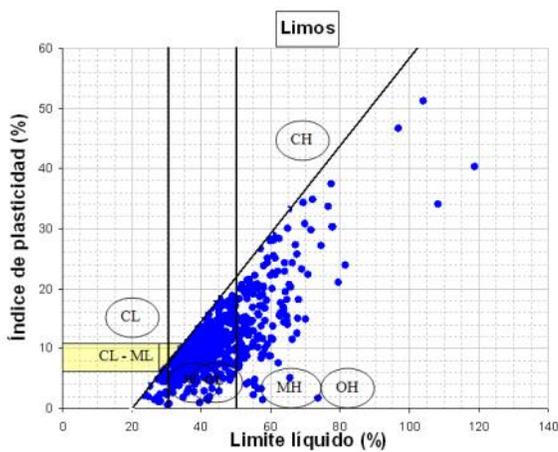


Figura 96. Primer estrato - Limos - Límite líquido Vs Frecuencia

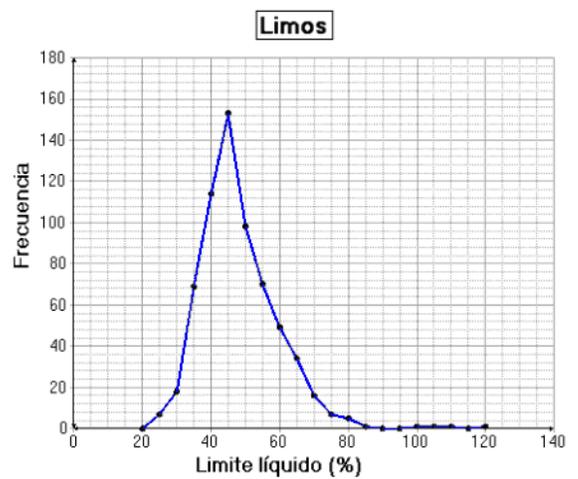


Figura 97. Primer estrato - Limos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

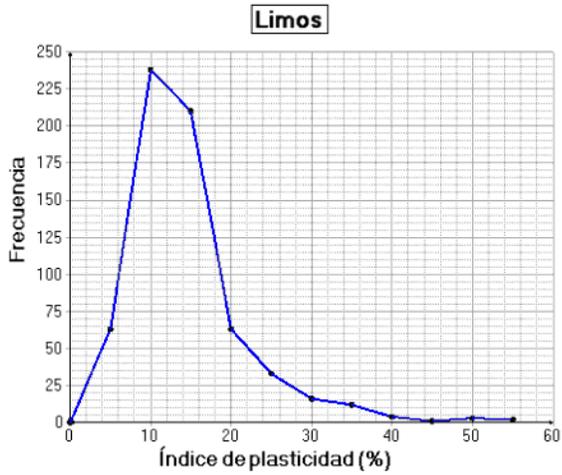


Figura 99. Primer estrato - Limos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

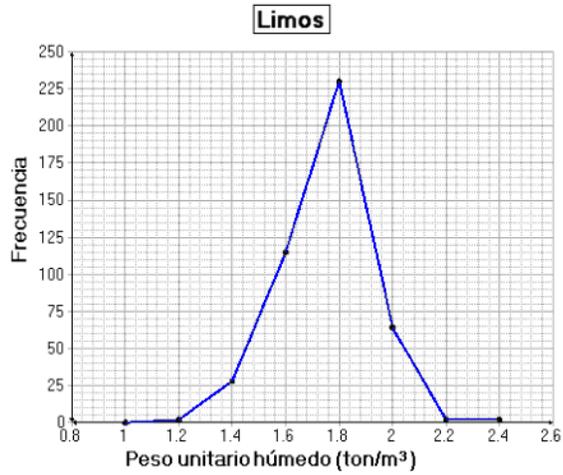


Figura 98. Primer estrato - Limos - Peso unitario seco Vs Frecuencia

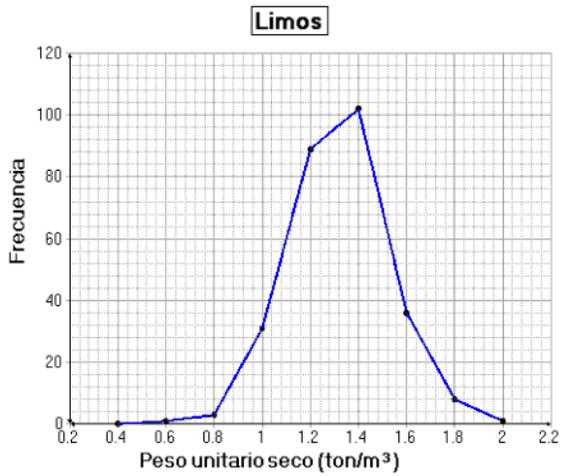


Figura 100. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Frecuencia

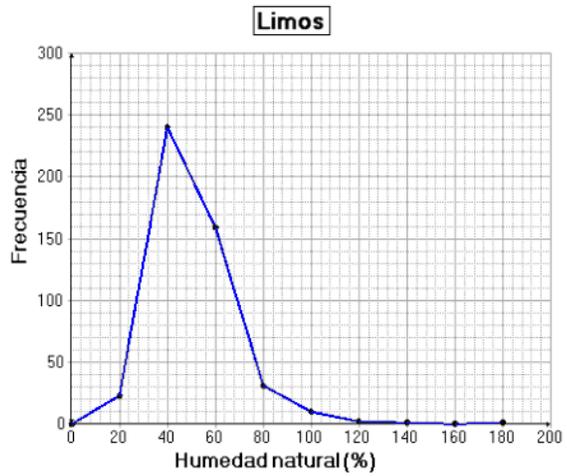


Figura 101. Primer estrato - Limos - Gravedad específica Vs Frecuencia

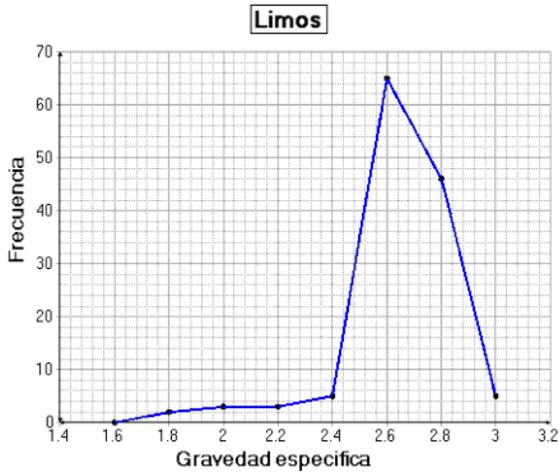


Figura 103. Primer estrato - Limos - Penetración estándar Vs Frecuencia

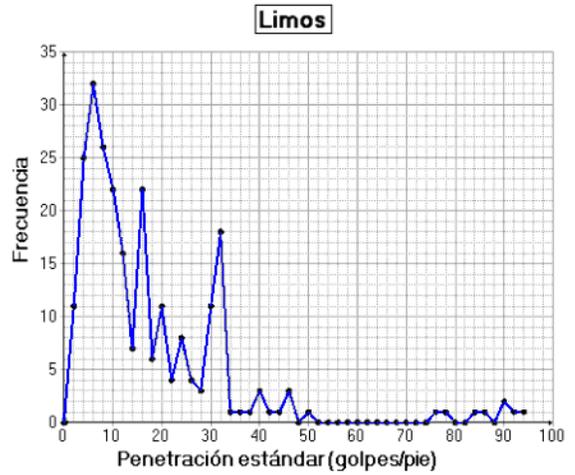


Figura 102. Primer estrato - Limos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

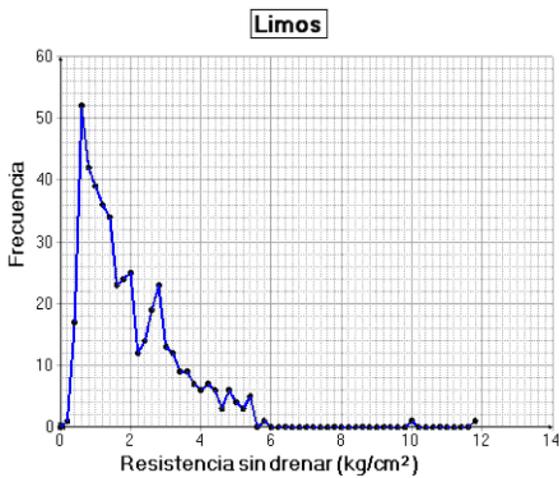


Figura 104. Primer estrato - Limos - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar

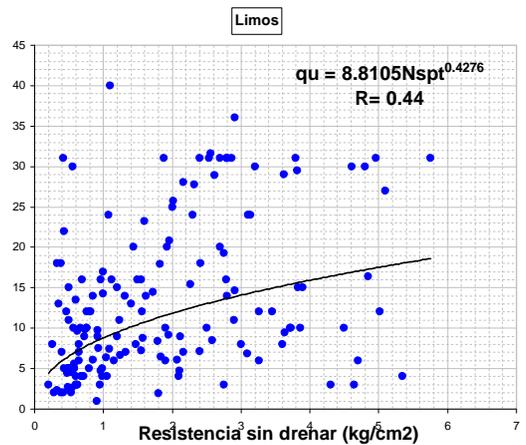


Figura 105. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Resistencia sin drenar

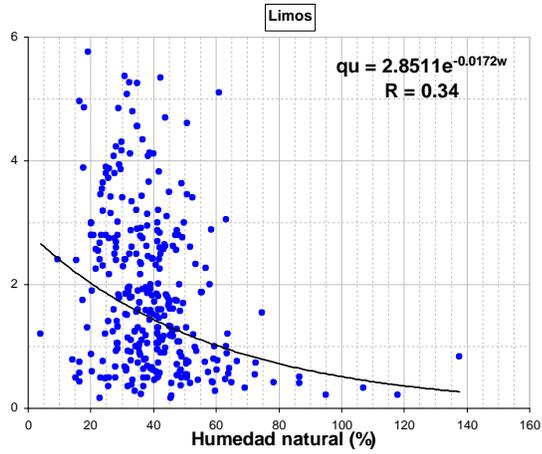


Figura 107. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Límite líquido

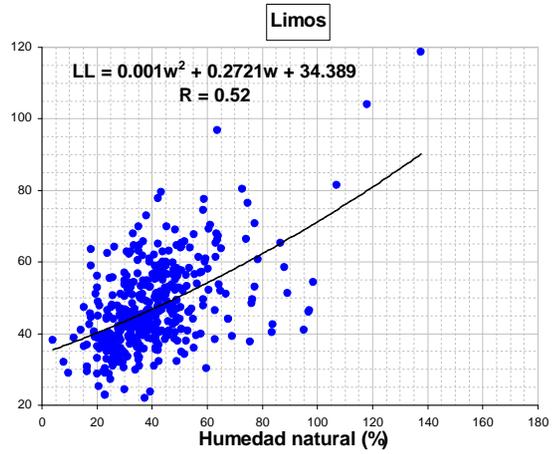
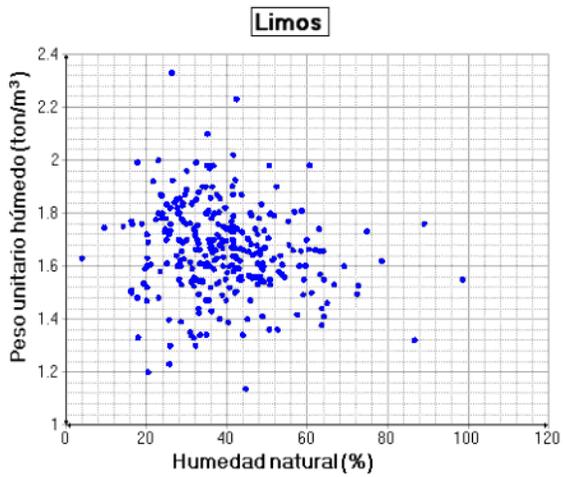


Figura 106. Primer estrato - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo



10.1.6 Primer Estrato – Rellenos

En éste numeral se analizan parámetros de los rellenos del primer estrato.

Figura 108. Primer estrato – Rellenos
Gráfico de plasticidad – Límite líquido
Vs Índice de plasticidad

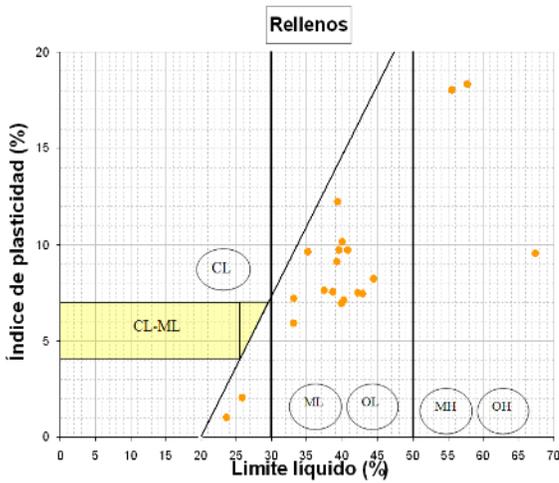


Figura 110. Primer estrato - Rellenos -
Índice de plasticidad Vs Frecuencia

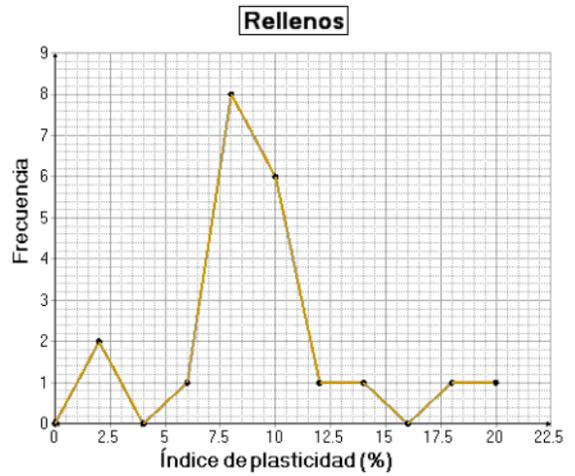


Figura 109. Primer estrato - Rellenos -
Límite líquido Vs Frecuencia

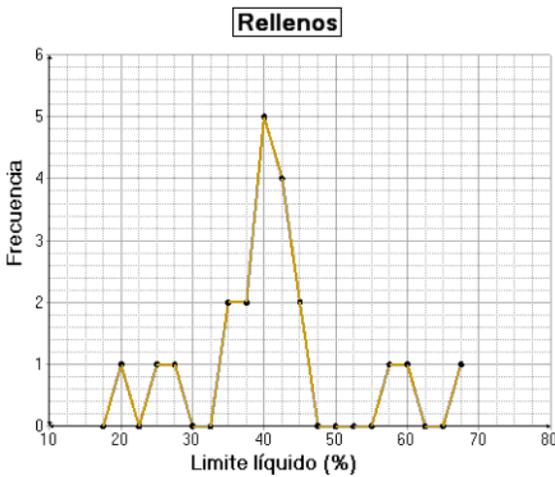


Figura 111. Primer estrato - Rellenos -
Peso unitario seco Vs Frecuencia

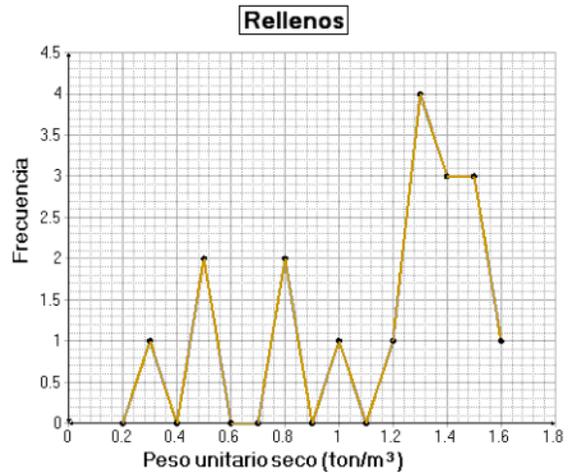


Figura 112. Primer estrato - Rellenos -
Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

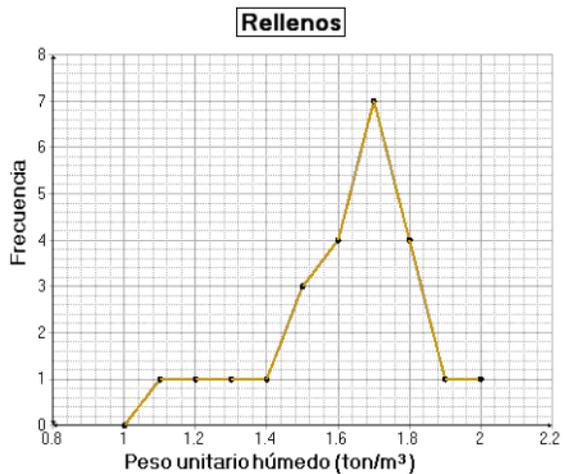


Figura 114. Primer estrato - Rellenos -
Penetración estándar Vs Frecuencia

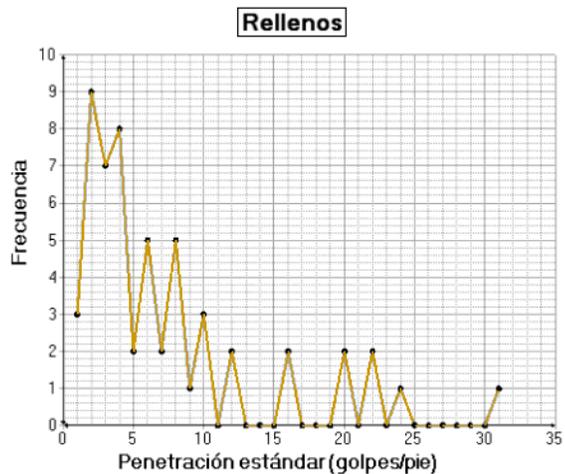


Figura 113. Primer estrato - Rellenos -
Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

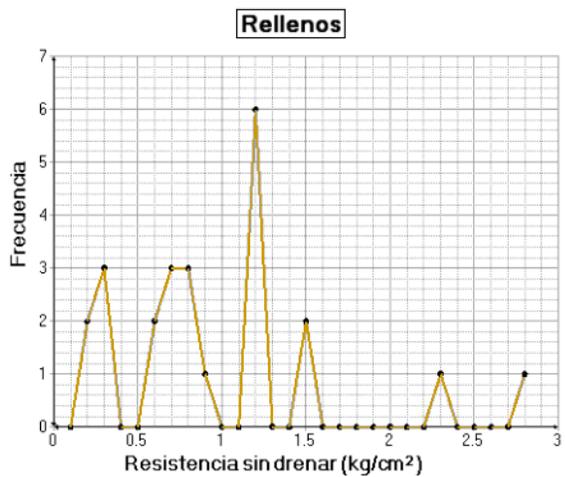


Tabla 17. Tabla resumen de los valores más frecuentes del primer estrato

PROPIEDAD	LIMOS	ARCILLAS	ARENAS	GRAVAS	RELLENOS	ORGANICOS
Límite líquido (%)	45	36	44 **		40	35
Índice de plasticidad (%)	10	20	7.5 **		7.6	10
Peso unitario húmedo (t/m ³)	1.7	1.7	1.75	1.65	1.65	1.65
Peso unitario seco (t/m ³)	1.3	1.4	1.4 *	1.2, 1.6 *	1.3	1.2
Humedad (%)	40	35	30	20	30	40
Gravedad específica	2.6	2.5	2.7	2.45, 2.6 *		2.4
Penetración estándar (golpes/pie)	5	6	4	4	2	4
Resistencia sin drenar (k/cm ²)	0.6	1.25, 1.5*	0.5 **		1.2	0.3

*Valores obtenidos de polígonos de frecuencia bimodal

**Valores obtenidos de muestras de suelos granulares cuyo pasante del tamiz N° 40 tiene comportamiento cohesivo.

Comentarios acerca del primer estrato:

- En el gráfico de plasticidad del primer estrato de las arcillas, se aprecia en mayor frecuencia a las arcillas inorgánicas de mediana plasticidad. Véase figura 65.
- En algunos gráficos de las arenas como los de las figuras 82, 90 se puede apreciar un comportamiento cohesivo el cual se debe a la fracción fina o pasante del tamiz N° 40 en particular de estas arenas.
- Las arenas no tienen resistencia sin drenar, pero es posible que la fracción fina de estas arenas tenga comportamiento de cohesión.
- En los gráficos de las figuras 86, 87 y 89 no se observa ninguna correlación, porque los datos están muy dispersos.
- Según el gráfico de plasticidad de los limos, existen en un mayor número los limos inorgánicos de mediana a alta compresibilidad. Véase figura 95.
- La humedad de los limos se encuentra entre el 20 y el 50%.
- Según el gráfico de plasticidad de los rellenos del primer estrato, estos, presentan características limosas, esto puede deberse a que los limos predominan en mayor parte de la ciudad y el suelo sobrante de las obras se ha venido utilizando para realizar estos rellenos. Véase figura 108.

10.1.8 Estrato Predominante – General

En éste numeral se analizan parámetros de los rellenos del estrato predominante.

Figura 115. Estrato predominante - General - Límite líquido Vs Frecuencia

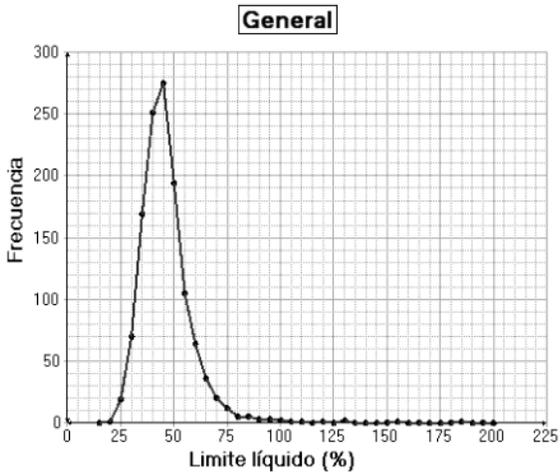


Figura 117. Estrato predominante - General - Peso unitario seco Vs Frecuencia

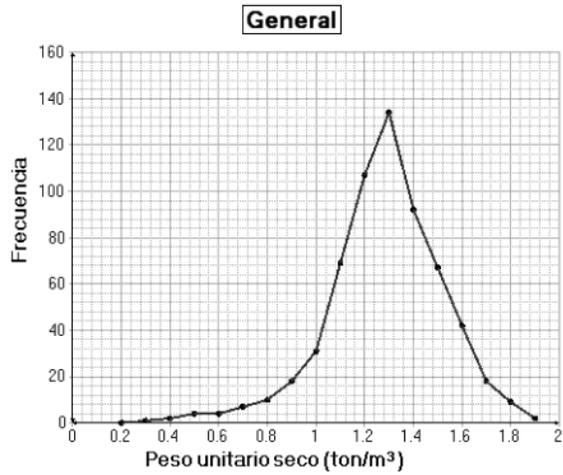


Figura 116. Estrato predominante - General - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

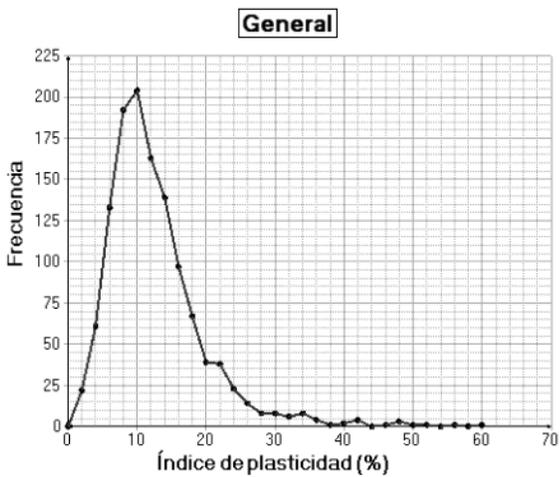


Figura 118. Estrato predominante - General - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

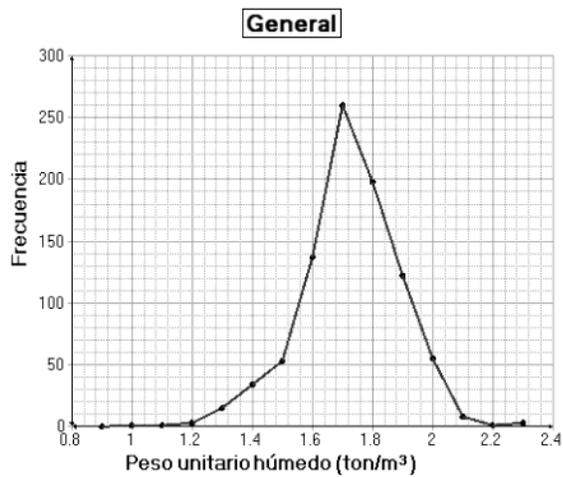


Figura 119. Estrato predominante - General - Humedad natural Vs Frecuencia

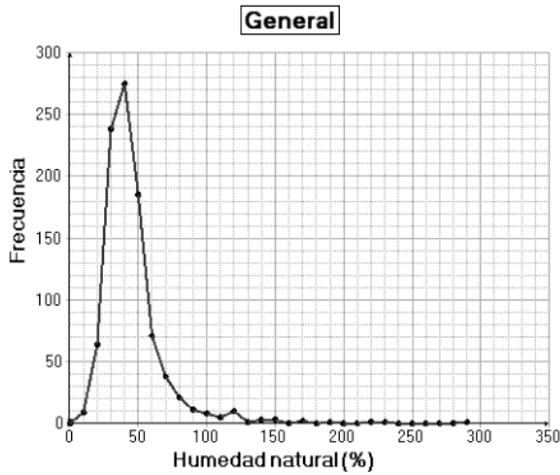


Figura 121. Estrato predominante - General - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

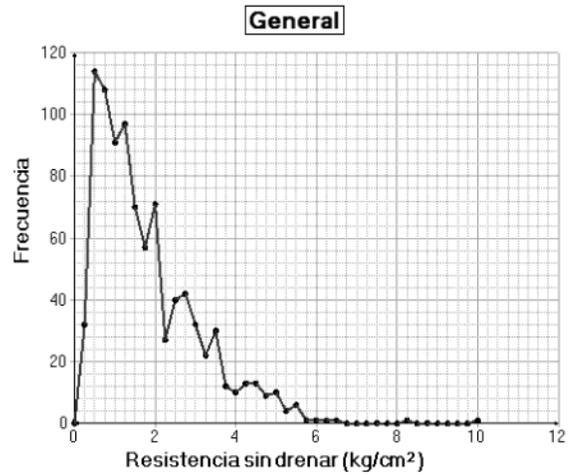


Figura 120. Estrato predominante - General - Gravedad especifica Vs Frecuencia

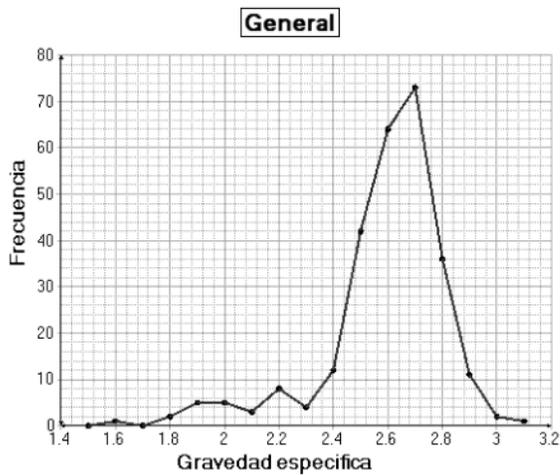


Figura 122. Estrato predominante - General - Penetración estándar Vs Frecuencia

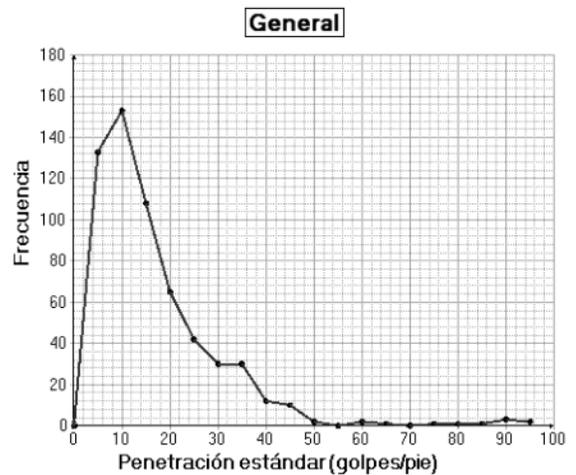
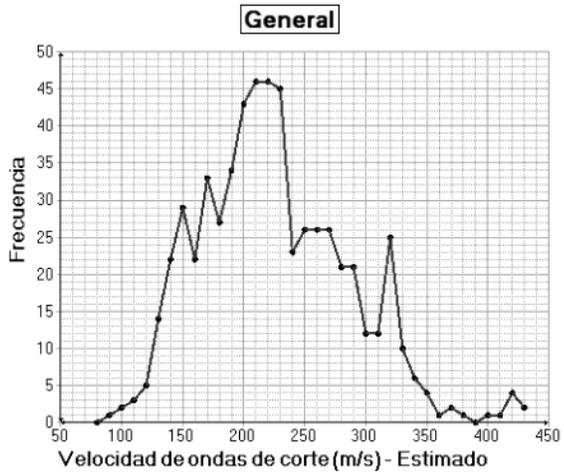


Figura 123. Estrato predominante - General - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia



10.1.9 Estrato Predominante – Arcillas

En éste numeral se analizan parámetros de las arcillas del estrato predominante.

Figura 124. Estrato predominante – Arcillas Gráfico de plasticidad - Límite líquido Vs Índice de plasticidad

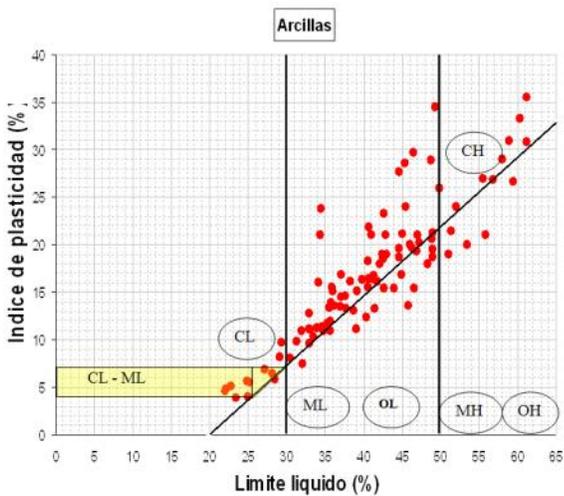


Figura 125. Estrato predominante - Arcillas - Límite líquido Vs Frecuencia

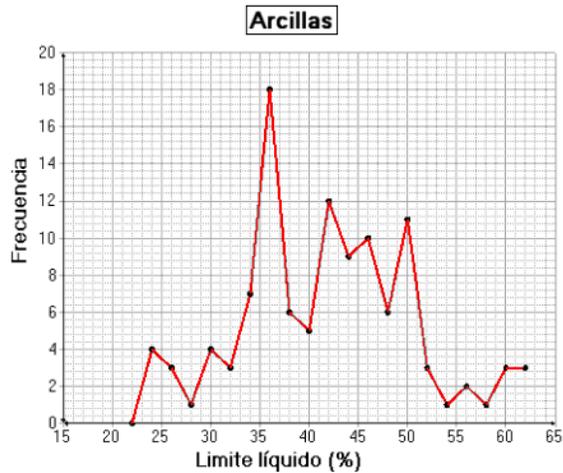


Figura 126. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

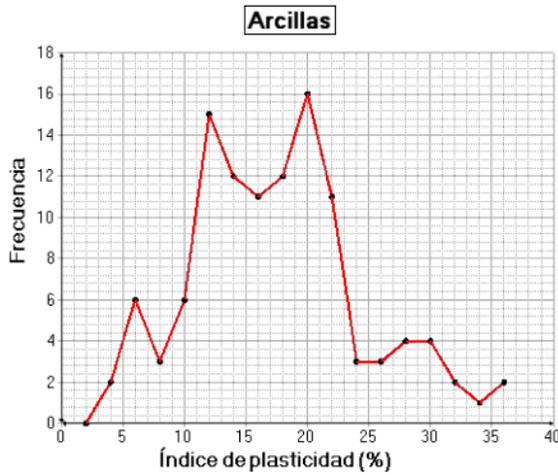


Figura 128. Estrato predominante - Arcillas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

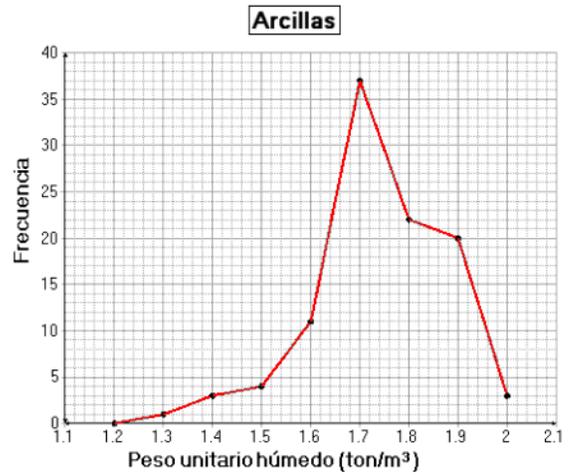


Figura 127. Estrato predominante - Arcillas - Peso unitario seco Vs Frecuencia

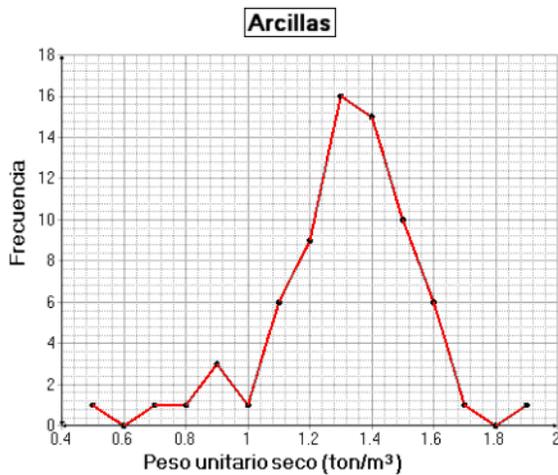


Figura 129. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Frecuencia

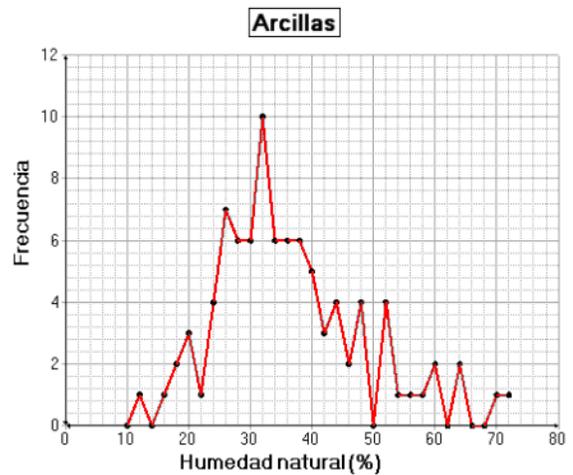


Figura 130. Estrato predominante - Arcillas - Gravedad específica Vs Frecuencia

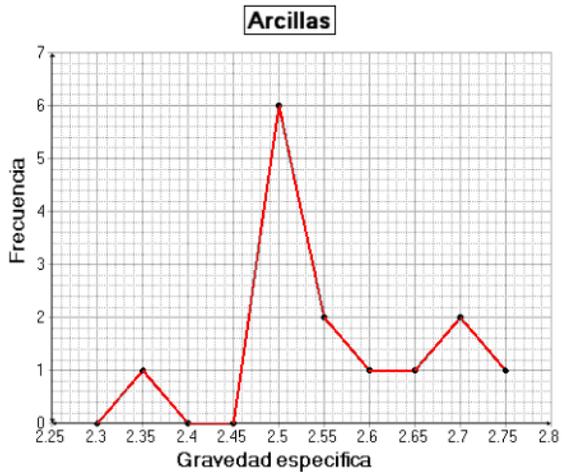


Figura 132. Estrato predominante - Arcillas - Penetración estándar Vs Frecuencia

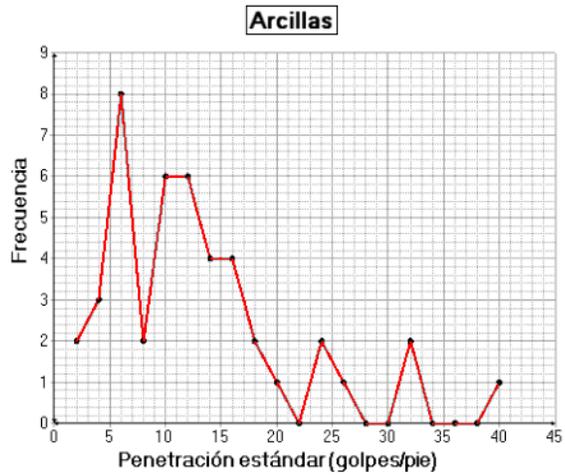


Figura 131. Estrato predominante - Arcillas - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

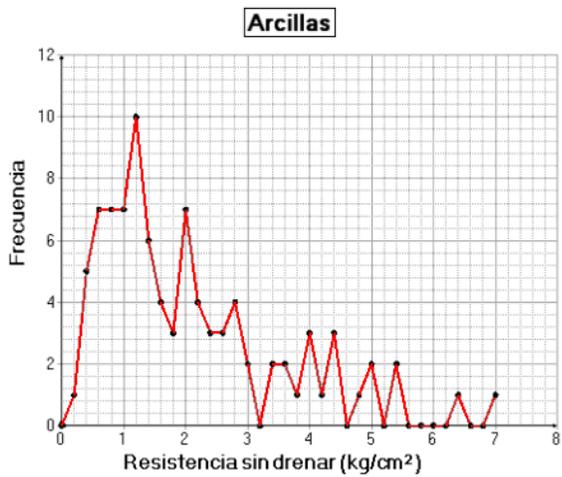


Figura 133. Estrato predominante - Arcillas - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia

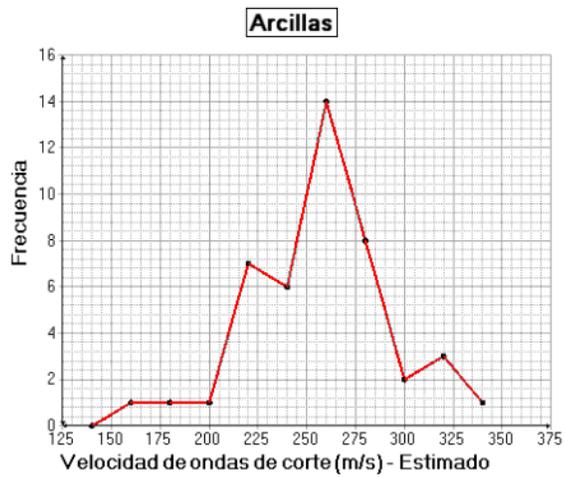


Figura 134. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo

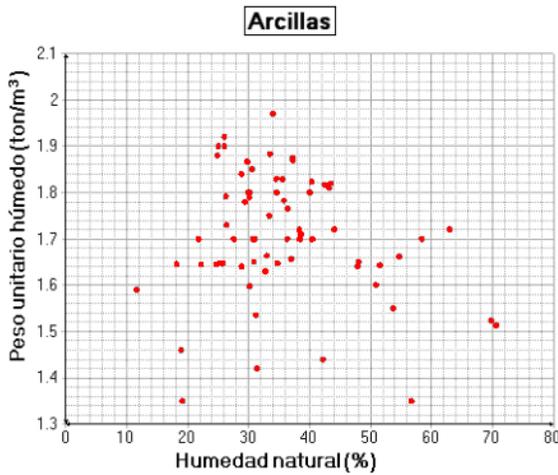


Figura 136. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo

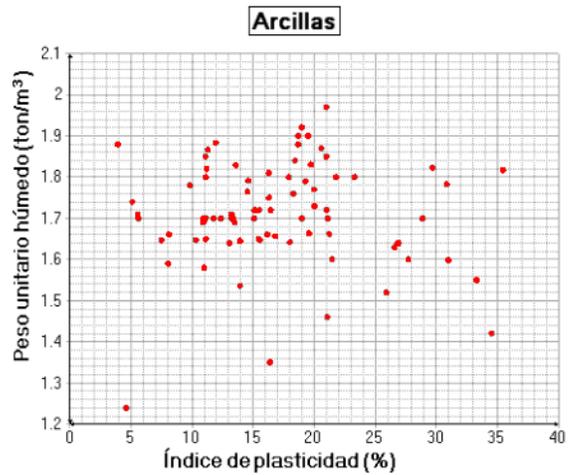


Figura 135. Estrato predominante - Arcillas - Índice de plasticidad Vs Humedad natural

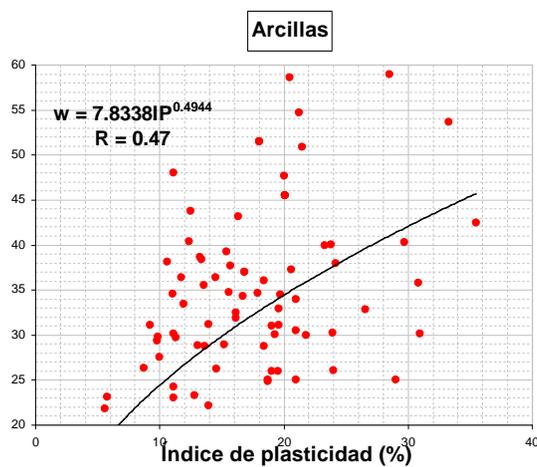


Figura 137. Estrato predominante - Arcillas - Humedad natural Vs Límite líquido

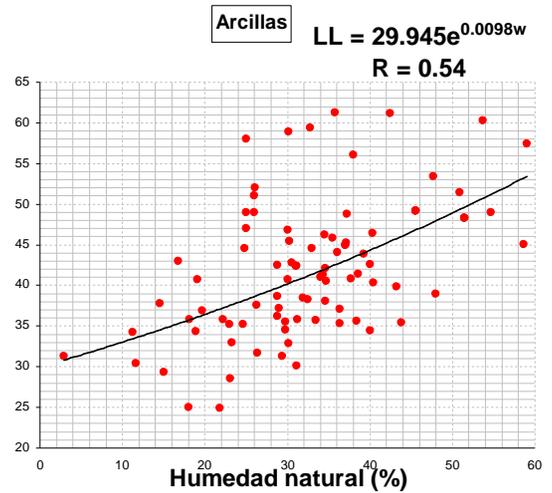
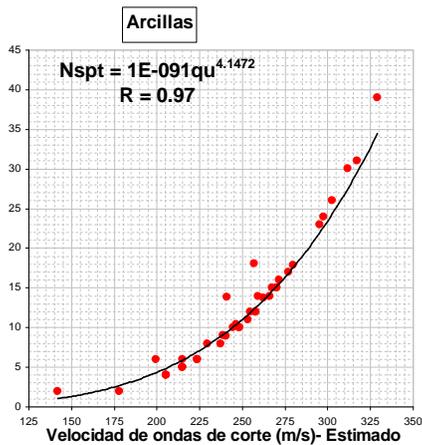


Figura 138. Estrato predominante - Arcillas - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar



10.1.10 Estrato Predominante – Arenas

En éste numeral se analizan parámetros de las arenas del estrato predominante.

Figura 139. Estrato predominante – Arenas Pasante tamiz No. 40 - Límite líquido Vs Frecuencia

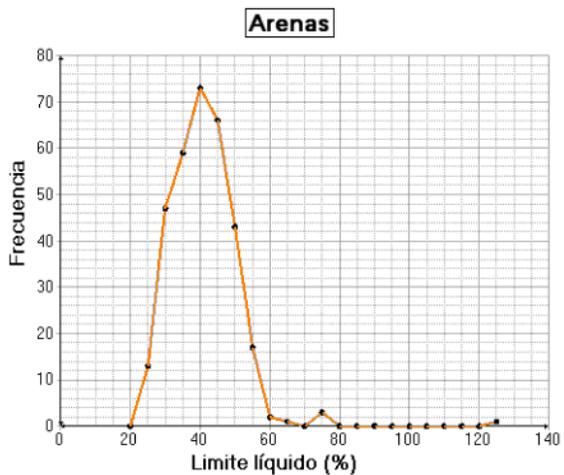


Figura 140. Estrato predominante - Arenas - Peso unitario seco Vs Frecuencia

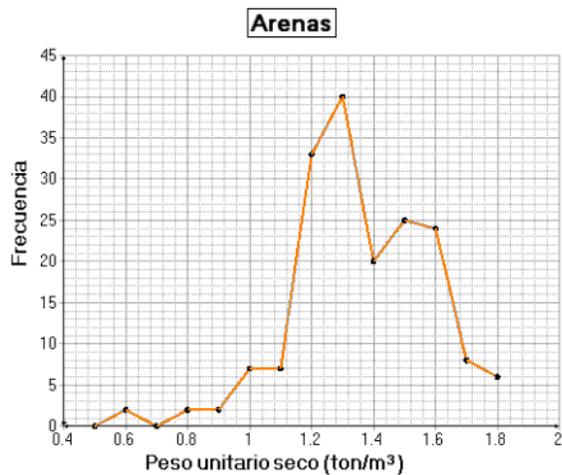


Figura 141. Estrato predominante - Arenas - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

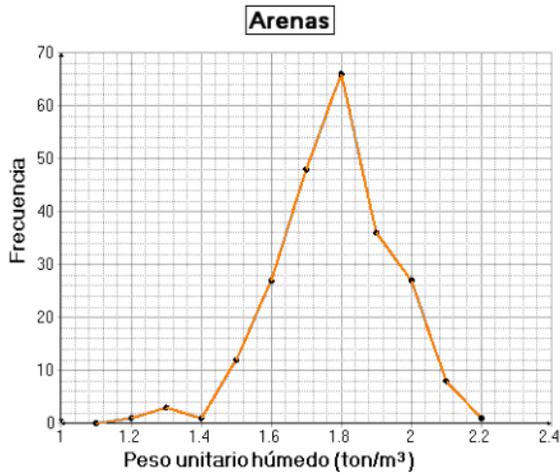


Figura 143. Estrato predominante - Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

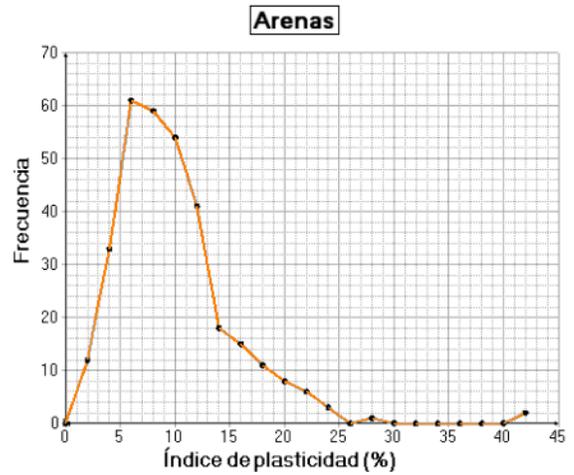


Figura 142. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Frecuencia

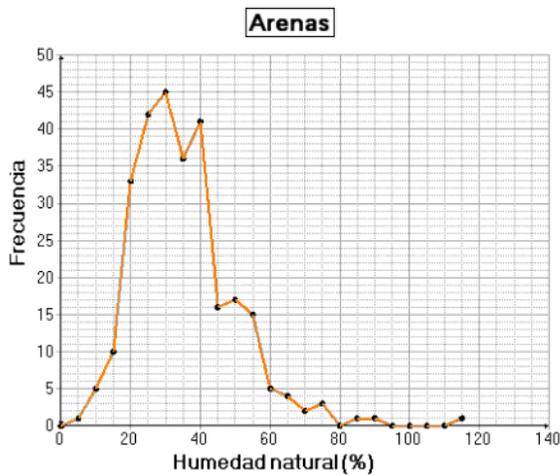


Figura 144. Estrato predominante - Arenas - Gravedad específica Vs Frecuencia

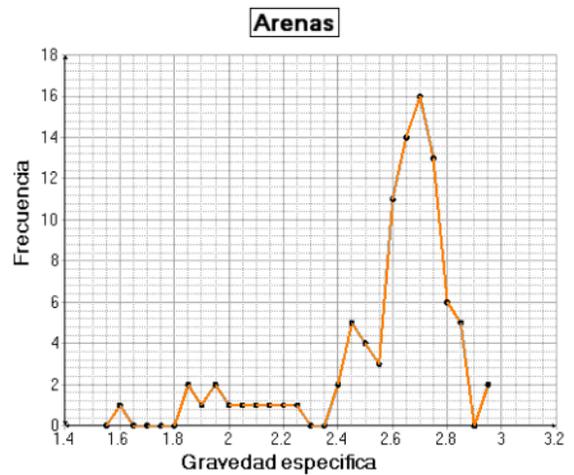


Figura 145. Estrato predominante - Arenas Pasante tamiz No. 40- Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

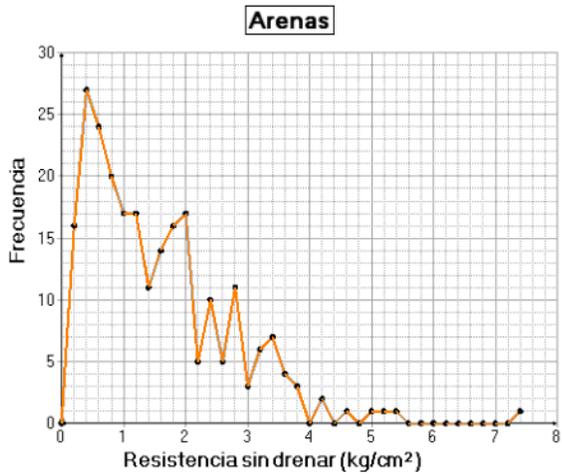


Figura 147. Estrato predominante - Arenas - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia

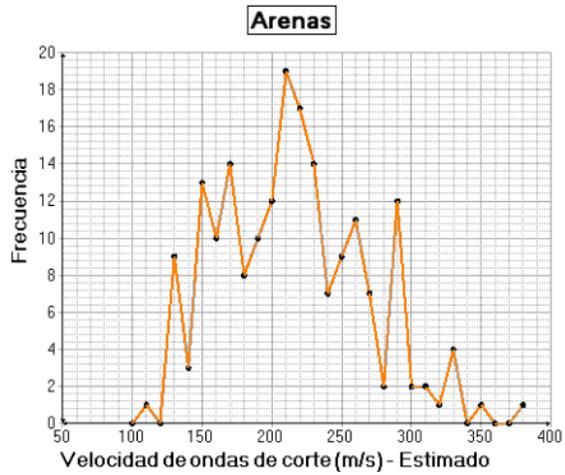


Figura 146. Estrato predominante - Arenas - Penetración estándar Vs Frecuencia

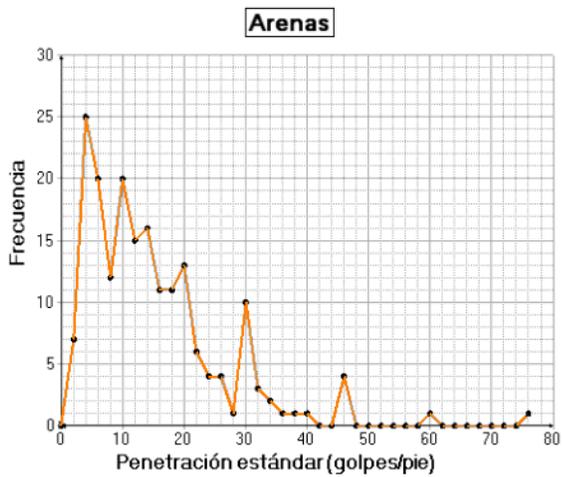


Figura 148. Estrato predominante - Arenas - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar

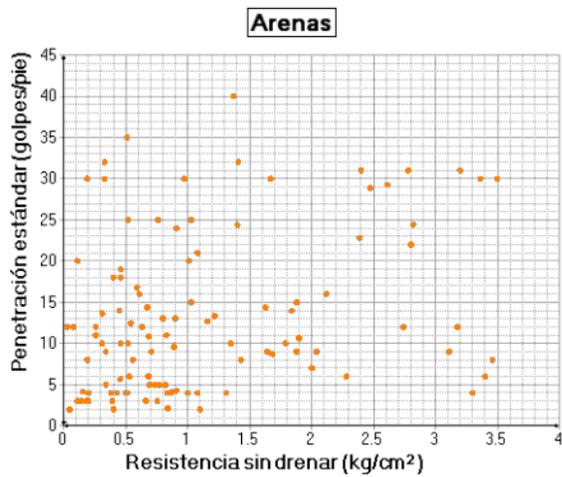


Figura 149. Estrato predominante - Arenas - Índice de plasticidad Vs Peso unitario húmedo

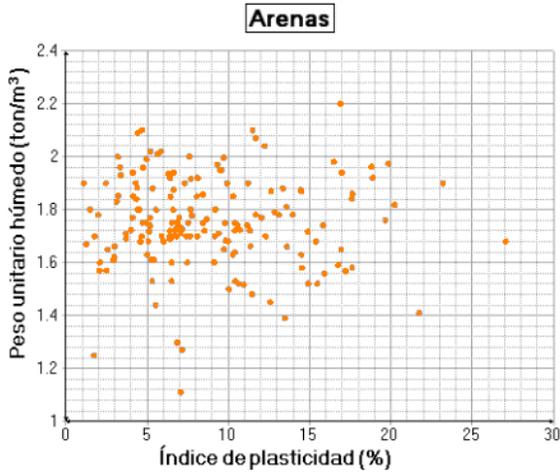


Figura 151. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo

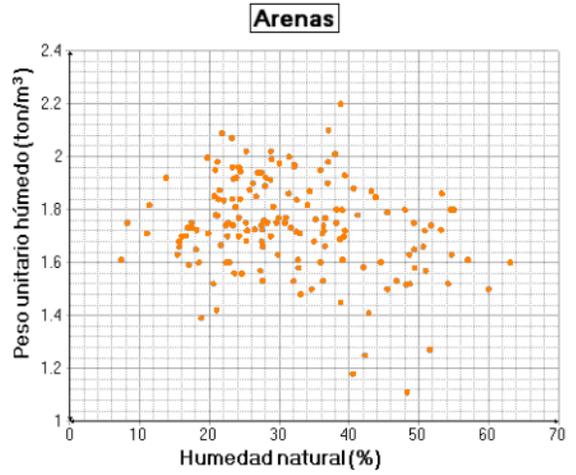


Figura 150. Estrato predominante - Arenas - Humedad natural Vs Límite líquido

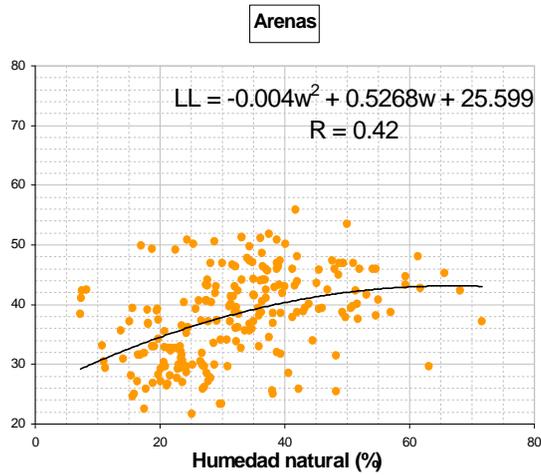


Figura 152. Estrato predominante - Arenas Pasante tamiz No. 40 - Índice de plasticidad Vs Humedad natural

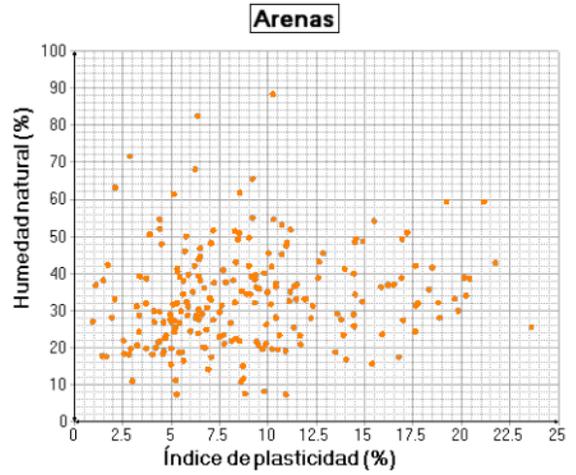
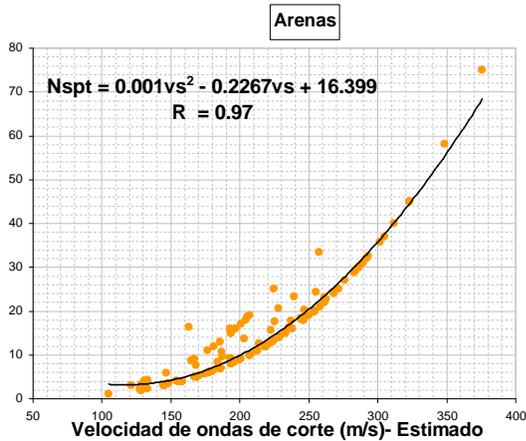


Figura 153. Estrato predominante - Arenas – Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar



10.1.11 Estrato Predominante – Gravas

En éste numeral se analizan parámetros de los rellenos del estrato predominante.

Figura 154. Estrato predominante - Gravas - Peso unitario seco Vs Frecuencia

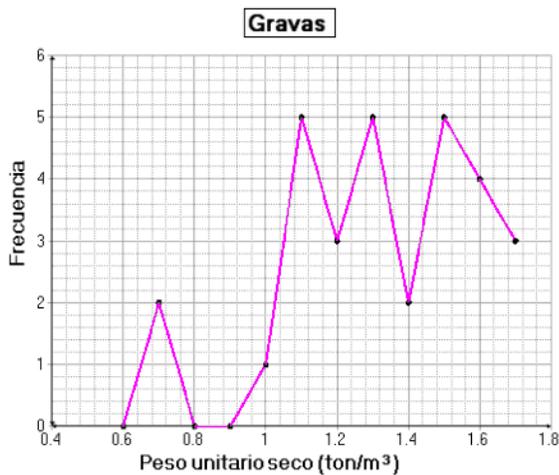


Figura 155. Estrato predominante - Gravas - Humedad natural Vs Frecuencia

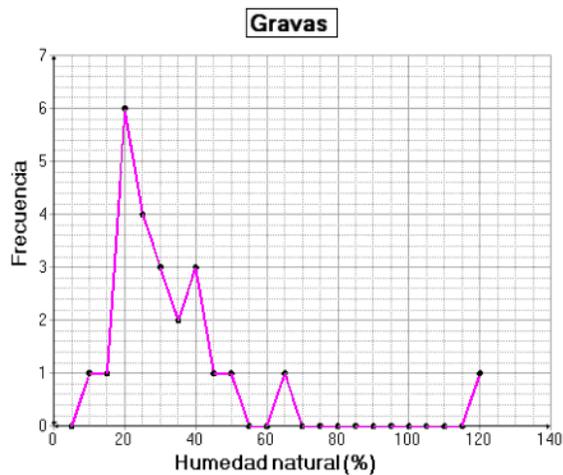


Figura 156. Estrato predominante - Gravas - Penetración estándar Vs Frecuencia

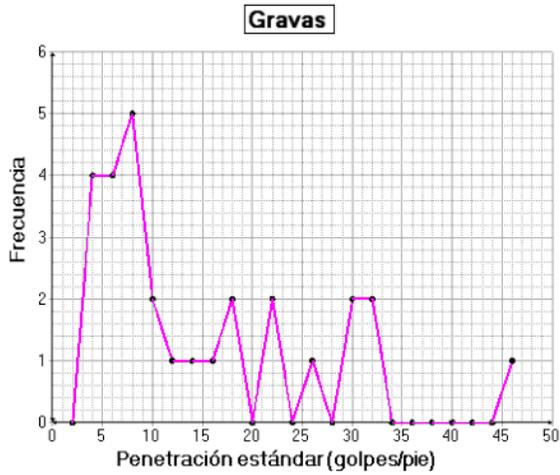


Figura 158. Estrato predominante - Gravas - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar

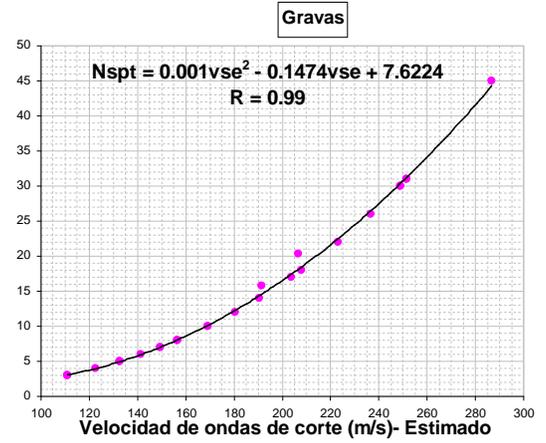
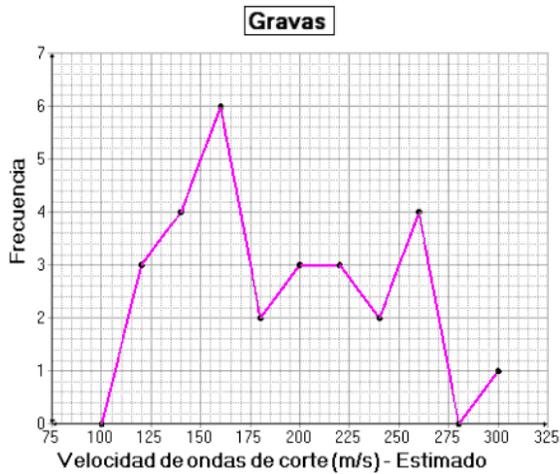


Figura 157. Estrato predominante - Gravas - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia



10.1.12 Estrato Predominante – Limos

En éste numeral se analizan parámetros de los limos del estrato predominante.

Figura 159. Estrato predominante - Limos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad

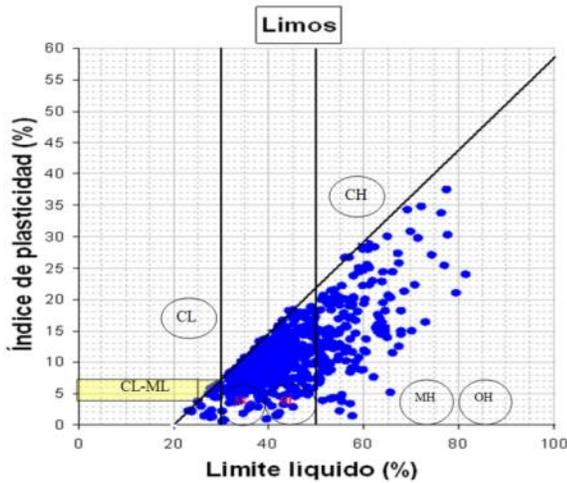


Figura 161. Estrato predominante - Limos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

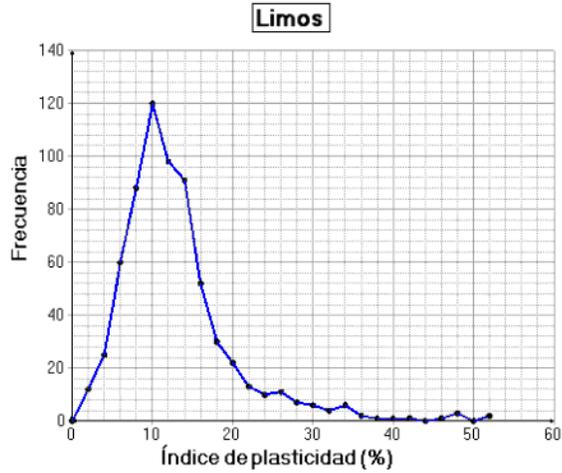


Figura 160. Estrato predominante - Limos - Límite líquido Vs Frecuencia

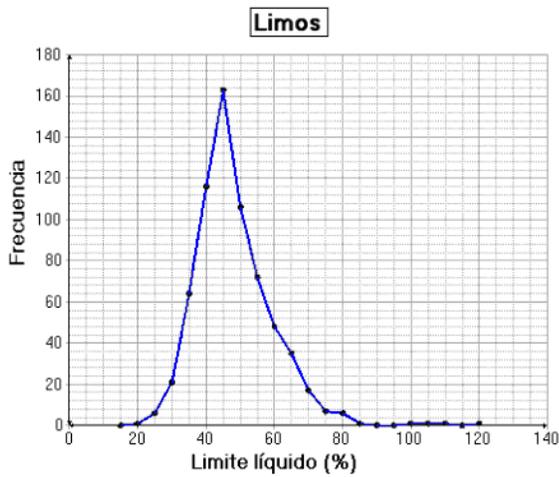


Figura 162. Estrato predominante - Limos - Peso unitario seco Vs Frecuencia

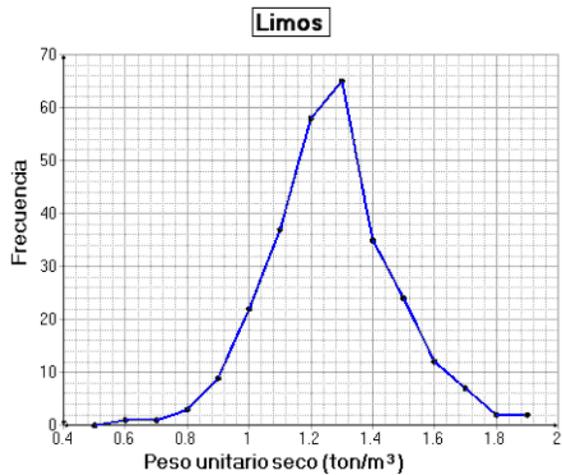


Figura 163. Estrato predominante - Limos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

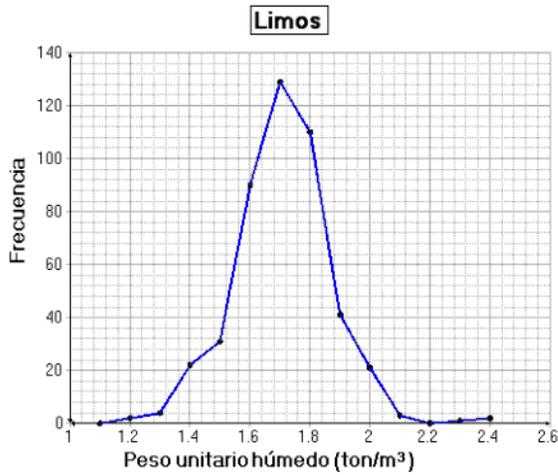


Figura 165. Estrato predominante - Limos - Gravedad específica Vs Frecuencia

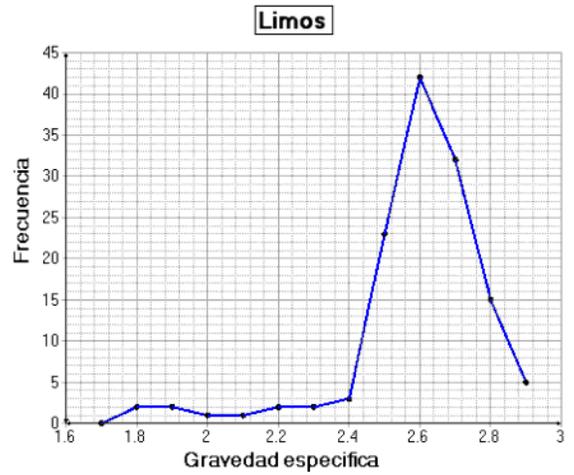


Figura 164. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Frecuencia

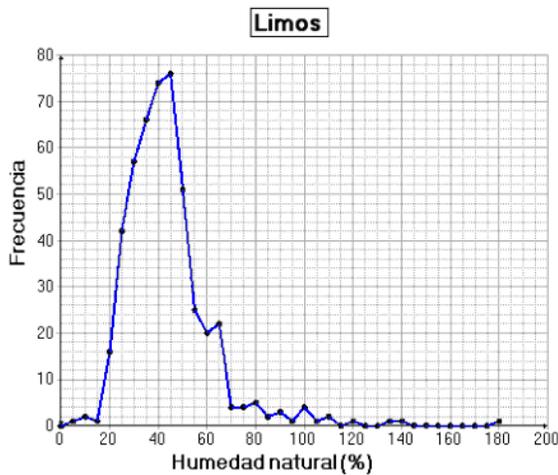


Figura 166. Estrato predominante - Limos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

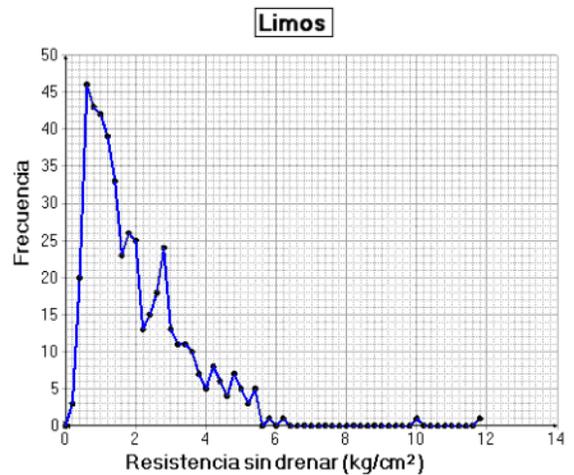


Figura 167. Estrato predominante - Limos - Penetración estándar Vs Frecuencia

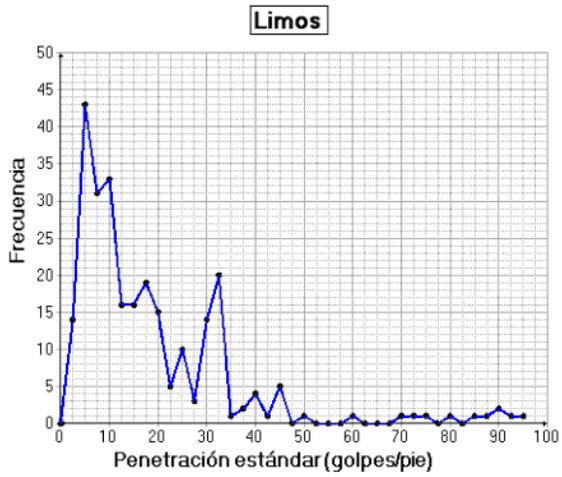


Figura 169. Estrato predominante - Limos - Resistencia sin drenar Vs Penetración estándar

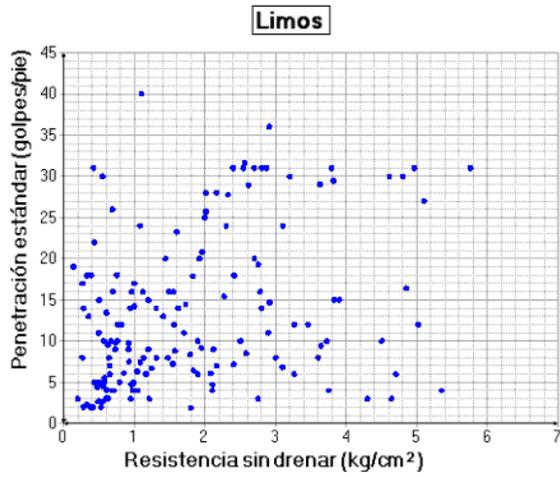


Figura 168. Estrato predominante - Limos - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia

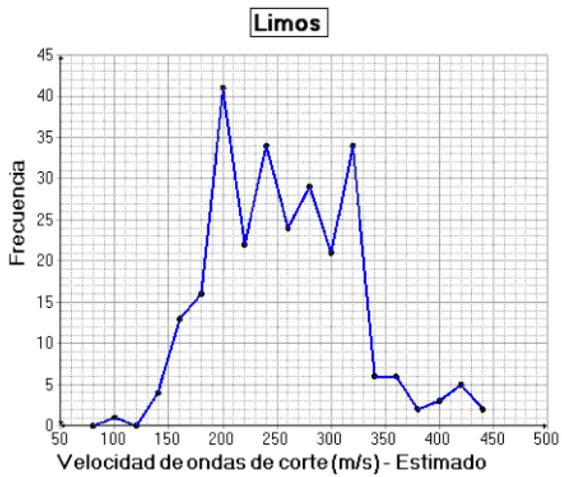


Figura 170. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Resistencia sin drenar

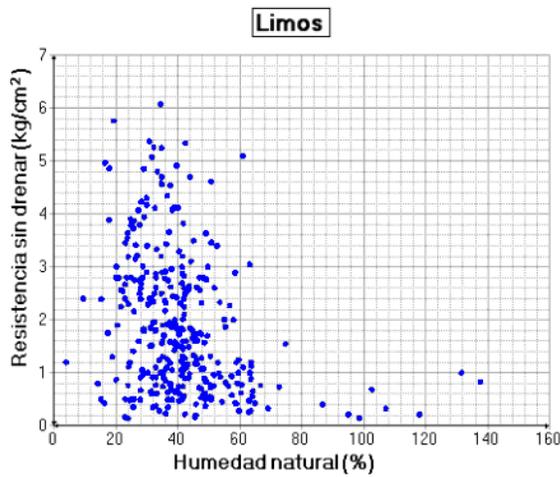


Figura 171. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario seco

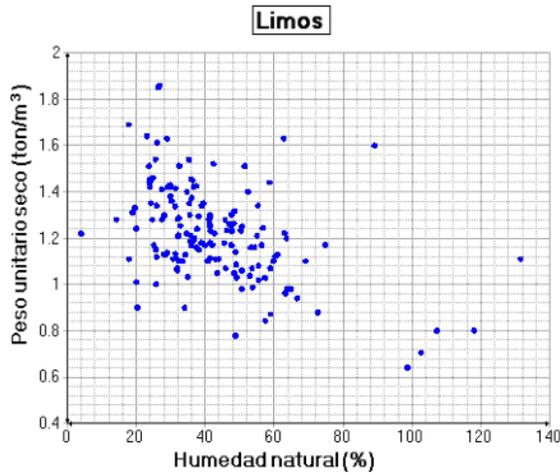


Figura 173. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Límite líquido

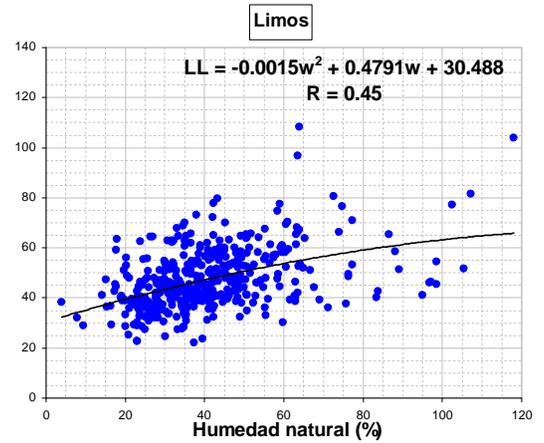


Figura 172. Estrato predominante - Limos - Humedad natural Vs Peso unitario húmedo

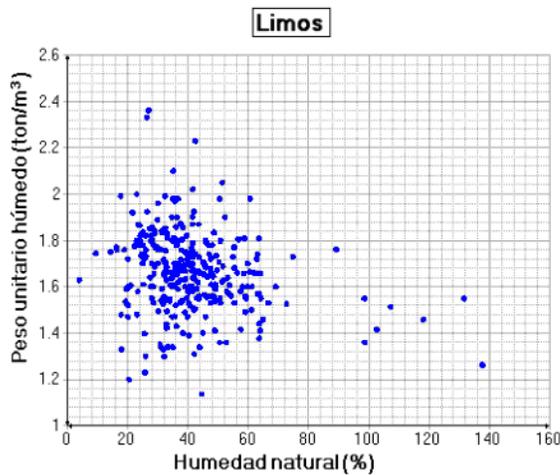
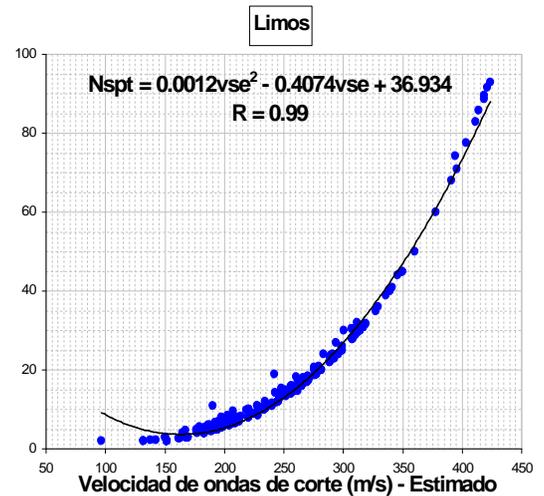


Figura 174. Estrato predominante - Limos - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar



10.1.13 Estrato Predominante – Rellenos

En éste numeral se analizan parámetros de los rellenos del estrato predominante.

Figura 175. Estrato predominante - Rellenos - Límite líquido Vs Frecuencia

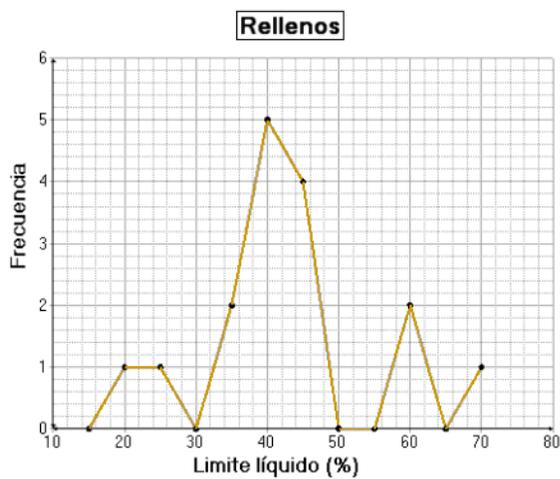


Figura 177. Estrato predominante - Rellenos - Peso unitario húmedo Vs Frecuencia

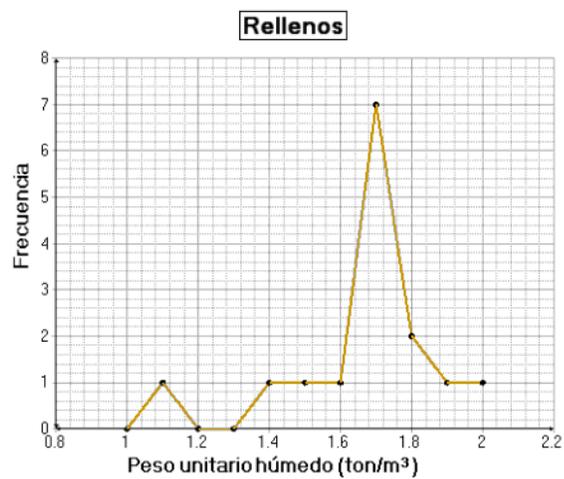


Figura 176. Estrato predominante - Rellenos - Índice de plasticidad Vs Frecuencia

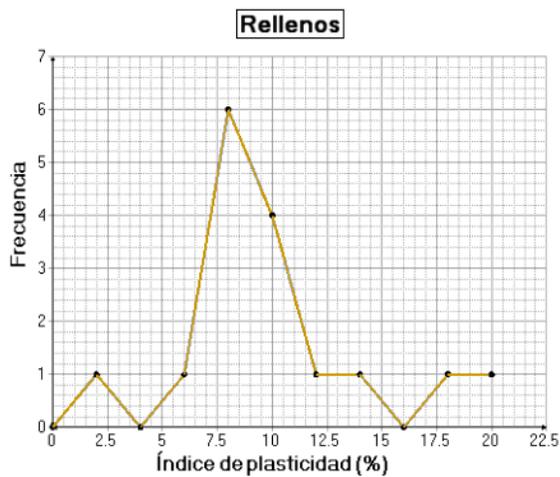


Figura 178. Estrato predominante - Rellenos - Resistencia sin drenar Vs Frecuencia

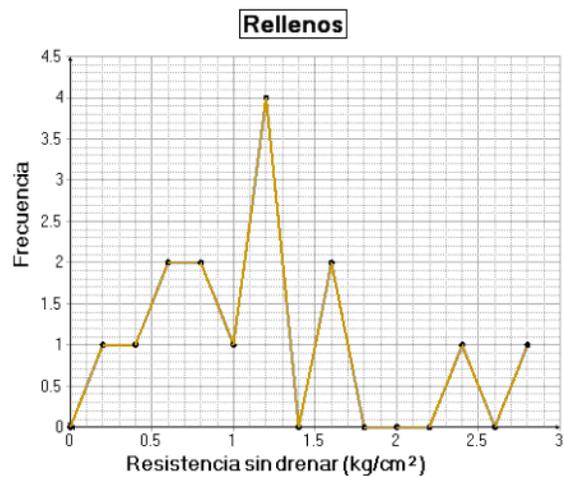


Figura 179. Estrato predominante - Rellenos - Penetración estándar Vs Frecuencia

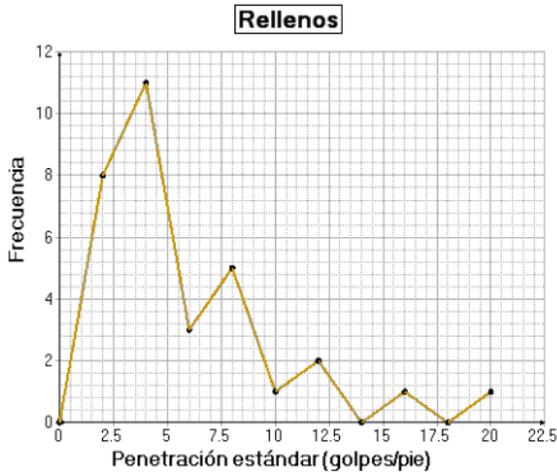


Figura 181. Estrato predominante - Rellenos - Velocidad de ondas de corte Vs Penetración estándar

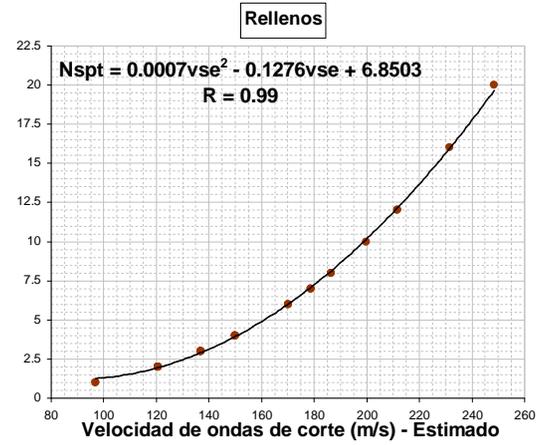


Figura 180. Estrato predominante - Rellenos - Velocidad de ondas de corte Vs Frecuencia

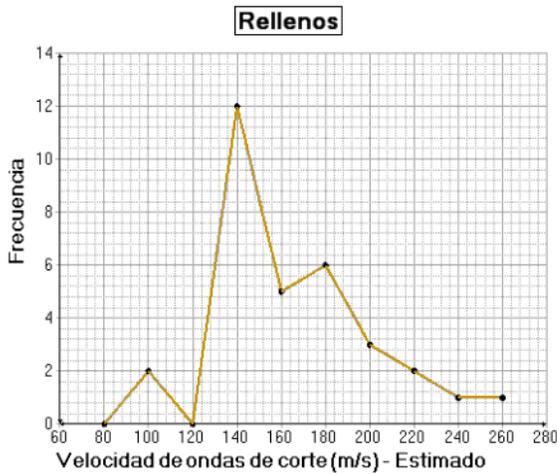


Figura 182. Estrato predominante - Rellenos - Límite líquido Vs Índice de plasticidad

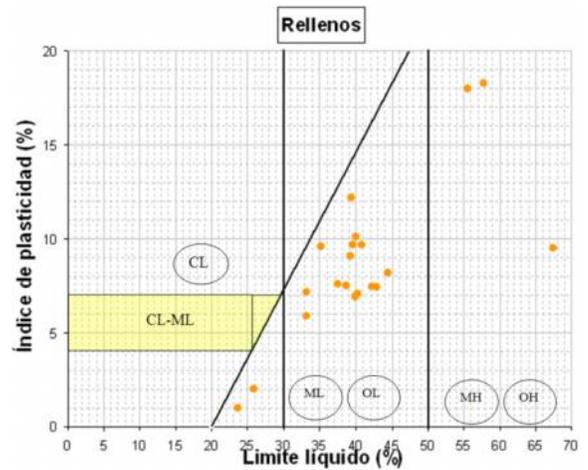


Tabla 18. Tabla resumen de los valores más frecuentes obtenidos del análisis de los gráficos del estrato predominante

PROPIEDAD	LIMOS	ARCILLAS	ARENAS	GRAVAS	RELLENOS	ORGANICOS
Límite líquido (%)	45	36	40 **		40	50
Índice de plasticidad (%)	10	20	6 **		8	12
Peso unitario húmedo (t/m3)	1.7	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6
Peso unitario seco (t/m3)	1.3	1.3	1.3	1.1, 1.5 *	1.45	1.1, 1.3 *
Humedad (%)	45	32	30	20		40
Gravedad específica	2.6	2.5	2.7			2.4
Penetración estándar (gol/pie)	5	6	4	8	4	4
Resistencia sin drenar (k/cm2)	0.6	1.2	0.4 **		1.2	0.3
Velocidad de ondas de corte (m/seg)	200	260	210	160	140	140

*Valores obtenidos de polígonos de frecuencia bimodal

**Valores obtenidos de muestras de suelos granulares cuyo pasante del tamiz N° 40 tiene comportamiento cohesivo.

Comentarios del estrato predominante:

- Al igual que en el primer estrato, las arenas no tienen índice de plasticidad ni resistencia sin drenar, pero en algunos casos es posible realizar ensayos para encontrar estos parámetros porque la fracción fina o pasante del tamiz N° 40 de estas arenas en particular presentan la característica de cohesión.
- Se encontró que entre las arcillas, las de mediana plasticidad se encuentran en mayor número en la ciudad de San Juan de Pasto.
- Entre los limos, los que más se encuentran en la ciudad de San Juan de Pasto son los de mediana a alta compresibilidad.
- Analizando la figura 170, la humedad natural de los limos del estrato predominante está entre el 20 y el 60%.

Comentarios generales:

- No se realizó un análisis minucioso de los suelos orgánicos, debido a que no representan mucha importancia en las obras civiles, salvo en casos muy particulares.
- Los limos del estrato predominante tienen velocidades de ondas de corte entre 200 y 320 m/s, lo que indica que se esperan en mayoría amplificaciones altas de las ondas sísmicas. Siendo que los limos

predominan en la ciudad de San Juan de pasto, estos valores confirman la urgente necesidad de una microzonificación sísmica.

- La penetración estándar de los rellenos es de 2 a 4 golpes/pie en primer estrato y estrato predominante, lo que los clasifica según la tabla 4, como rellenos muy sueltos y por lo tanto son de mucho cuidado en las obras civiles. Esto se debe a que la mayoría de los rellenos son producto de desechos de construcción y no han sido elaborados para tal fin.
- Para una correlación directa el factor R se puede clasificar.
 - Si $0,75 \leq R < 1$ correlación muy alta.
 - Si $0,40 \leq R < 0,75$ correlación baja.
 - Si $R < 0,4$ la correlación es casi despreciable.

Pero, para el caso de suelos puede tomarse un coeficiente de correlación R mayor a 0,5 como medianamente aceptable, debido a que en este campo, la heterogeneidad de los suelos hace que la dispersión de los datos en las correlaciones sea muy amplia.

Sin embargo, se deja a juicio del lector la utilización de las correlaciones obtenidas en el presente trabajo de grado y presentadas en los gráficos que tienen menor dispersión de los datos.

10.2 MAPAS GEOTÉCNICOS

Para la realización de los mapas geotécnicos se inventariaron un total de 428 estudios de suelos, en los cuales se encontró 1360 exploraciones geotécnicas, de estas 1081 son apiques, 215 perforaciones y 64 sondeos. En estos estudios de encontró que en la ciudad de San Juan de Pasto predominan las construcciones de dos y tres pisos...Véase tabla 19...., entre las cuales se destacan 55 edificaciones indispensables y 13 de atención a la comunidad.

Tabla 19. Relación entre número de pisos y número de edificios encontrados en los estudios.

Número de pisos	Número de edificios
>8	4
6 y 7	17
5 y 6	80
4	58
3	73
2	114

En los estudios de suelos se encontraron profundidades que oscilan entre 1 y 32.5 metros, y las mas frecuentes se varían entre 2 y 6 metros. Los estudios a grandes profundidades únicamente se han realizado para estructuras especiales o para detectar la presencia de túneles en algunos sectores de la ciudad.

Tabla 20. Relación profundidad número de exploraciones.

Profundidad	Número de exploraciones
>20	7
15.01 - 20	6
10.01 - 15	76
8.01 - 10	76
6.01 - 8	118
4.01 - 6	288
3.01 - 4	292
2.01 - 3	326
< 2.01	158

Figura 183. Puntos del nivel freático

Figura 184. Diagramas de Voronoi del nivel freático

Figura 185. Mapa de nivel freático

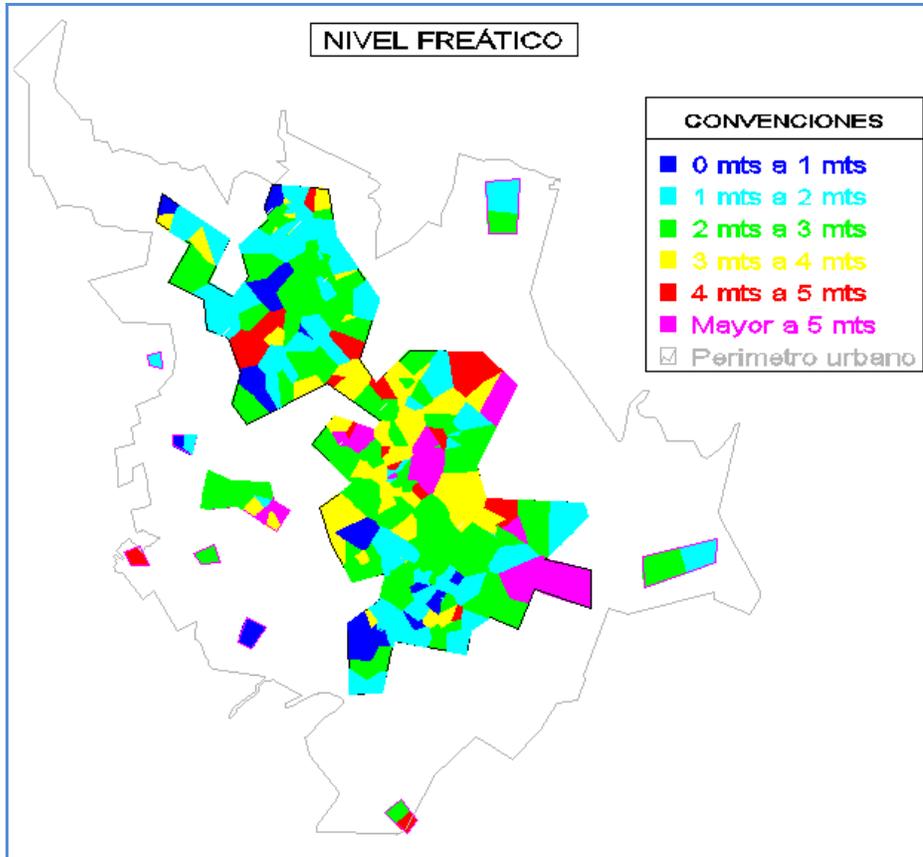


Figura 186. Puntos del primer estrato

Figura 187. Diagramas de Voronoi combinados del primer Estrato

Figura 188. Mapa del primer Estrato

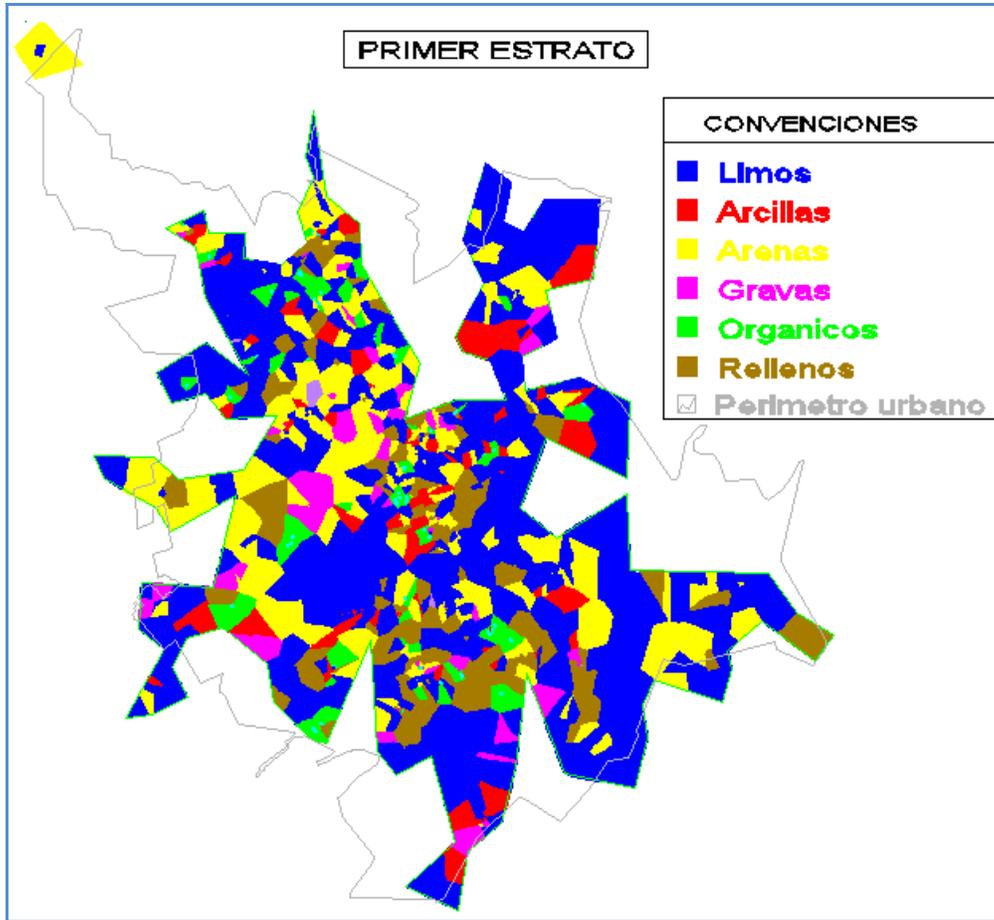


Figura 189. Puntos del estrato predominante

Figura 190. Diagramas de Voronoi combinados del estrato predominante

Figura 191. Mapa del estrato predominante

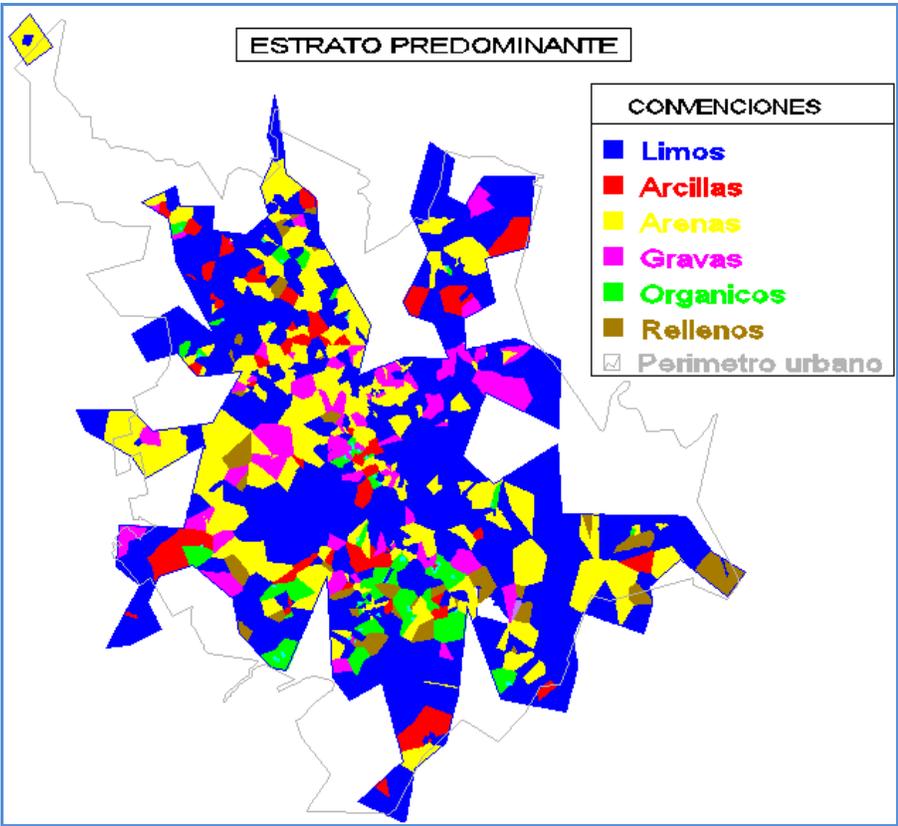
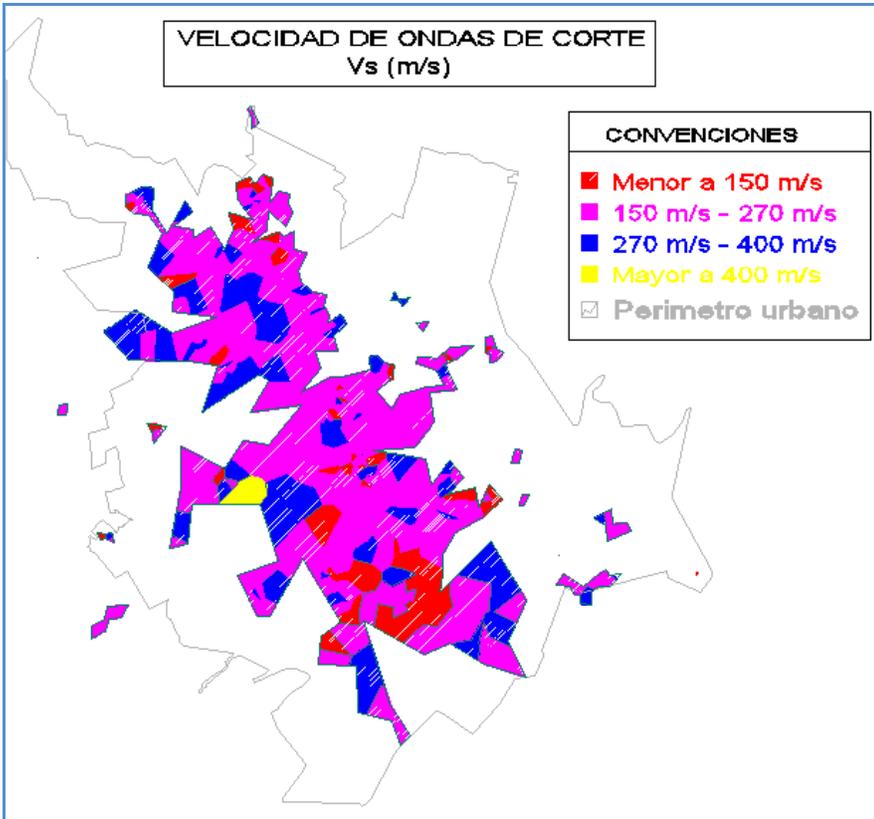


Figura 192. Puntos de la velocidad de ondas de corte

Figura 193. Diagramas de Voronoi de velocidad de ondas de corte

Figura 194. Mapa de la velocidad de ondas de corte



10.2.1 Mapa de zonificación del nivel freático en el mapa de la figura 185 se puede observar que en las zonas analizadas (coloreadas), el nivel freático se encuentra en su mayoría de dos a tres metros de profundidad, seguido por niveles entre uno y dos metros, en menor proporción de tres a cuatro metros y en áreas más reducidas el nivel freático se encuentra en la superficie. Esto, es de gran importancia debido que la mayoría de las edificaciones se cimentan a estas profundidades, teniendo en cuenta que el predominio de edificaciones en la ciudad es de uno y dos pisos. El nivel freático se encuentra a una profundidad mayor a cuatro metros en pocas zonas.

Tabla 21. Relación de profundidad del nivel freático vs. Número de exploraciones

Profundidad (mts)	Número de exploraciones
0 a 1	41
1 a 2	98
2 a 3	147
3 a 4	67
4 a 5	24
>5	21
Total	398

Estas exploraciones se colocaron en la figura 183 con ayuda del programa **GeoZonifica**, asignándole a cada rango de profundidades de la tabla 21, un color como se indica en la tabla 15.

El mapa de zonificación del nivel freático se presentó en la figura 185 y se puede detallar mejor en el anexo B a escala 1:12.500.

10.2.2 Mapa de zonificación del primer estrato el primer estrato es de gran importancia, ya que en éste se cimentan la mayoría de las edificaciones. En el mapa de la figura 188 se observa que en la mayoría de zonas de la ciudad de San Juan de Pasto se encuentran limos, seguido por arenas, arcillas, rellenos, gravas y estratos orgánicos en menor cantidad; también se observa que se encuentran suelos de características muy variadas, situación por la cual se insiste en la necesidad de realizar estudios geotécnicos muy puntuales y detallados para las diferentes construcciones.

Tabla 22. Número de exploraciones según el tipo de suelo, para el primer estrato.

Tipo de suelo	Número de exploraciones
Limos	581
Arcillas	113
Arenas	296
Gravas	56
Orgánicos	84
Rellenos	178
Otros	6
Total	1314

La figura 186 fue generada por el programa GeoZonifica, la cual fue realizada utilizando las 1314 exploraciones detalladas en la tabla 22. A cada exploración se le asignó un color dependiendo del tipo de suelo según la tabla 14.

El mapa de zonificación del primer estrato se presentó en la figura 188 y se puede observar en más detalle en el Anexo C a escala 1:12.500.

10.2.3 Mapa de zonificación del estrato predominante el estrato predominante es de mucha utilidad e importancia en el momento de realizar la microzonificación sísmica, debido a que este estrato, es el que tiene mayor influencia en el cambio frecuencial y amplitud de las ondas sísmicas cuando se propagan a través del suelo.

Tabla 23. Número de exploraciones según el tipo de suelo, para el estrato predominante.

Tipo de suelo	Número de exploraciones
Limos	653
Arcillas	110
Arenas	354
Gravas	55
Orgánicos	83
Rellenos	3
Otros	56
Total	1314

En el mapa de la figura 189 se colocaron 1314 exploraciones, asociando a cada punto un color dependiendo del tipo de suelo según la tabla 14, estas exploraciones se detallan en la tabla 23.

Observando el mapa del estrato predominante de la figura 191, al igual que en el primer estrato, se puede observar que en la mayoría de los sectores de la ciudad se encuentran limos, seguido por arenas y en menores proporciones gravas, arcillas, estratos orgánicos y rellenos; estos tipos de suelo están distribuidos de una manera “desordenada” en la ciudad, esta situación puede verse reflejada en la microzonificación sísmica, presentando un grado alto de dificultad para su análisis.

El mapa de zonificación del estrato predominante se presentó en la figura 191 y se puede observar en más detalle en el anexo D a escala 1:12.500.

10.2.4 Mapa de zonificación de la velocidad de ondas de corte aunque la velocidad de ondas de corte da una orientación para estimar el coeficiente de sitio, se deja a juicio del lector la utilización de los mapas y valores obtenidos en el presente trabajo de grado, en cuanto a este parámetro. Para la microzonificación sísmica de la ciudad de San Juan de Pasto servirá como un estimativo, hasta tanto se tengan parámetros reales a partir de pruebas dinámicas.

Tabla 24. Velocidad de ondas de corte V_s y Coeficiente de Sitio S .

Rangos de Velocidad de ondas de corte en m/s	Coeficiente de sitio S	Color
Menor a 150	S_4	
150 - 270	S_3	
270 – 400 o Mayor a 400	S_2	 o 
Mayor a 400 o Mayor a 750	S_1	

A pesar que las velocidades de ondas de corte en el presente trabajo fueron obtenidas con correlaciones empíricas, en el mapa de la figura 194 se observa claramente que existe un predominio de velocidades que están entre 150 y 270 m/s; y hay sectores críticos de la ciudad que poseen velocidades de onda de corte menores a 150 m/s.

En el mapa de la figura 192 se colocaron las 517 exploraciones anotadas en la tabla 25, asociándole a cada punto un color dependiendo del rango de velocidades según la tabla 16.

Tabla 25. Número de exploraciones para cada rango de velocidad de ondas de corte.

Velocidad de ondas de corte (m/s)	Número de exploraciones
< 150	60
150 a 270	344
270 a 400	106
>400	7
Total	517

Estas velocidades fueron obtenidas promediando las velocidades de ondas de corte entre los estratos de cada exploración; las 517 exploraciones contienen valores de penetración estándar y los valores de las velocidades de ondas de corte fueron obtenidas utilizando las correlaciones escogidas en el numeral 5.4.1.

El mapa de zonificación las velocidades de ondas de corte V_s se presentó en la figura 194 y se puede observar en más detalle en el anexo E a escala 1:12.500.

De cada una de las zonas coloreadas en el mapa de velocidades de ondas de corte se puede decir:

Zona I: en esta zona se esperan las más bajas amplificaciones de las ondas sísmicas, debido a que se estimaron velocidades de ondas de corte mayores a 400 m/s, teniendo en cuenta los tipos de materiales y las condiciones topográficas existentes.

Zona II: en esta zona se esperan amplificaciones moderadas de las ondas sísmicas. Se encuentran distribuidos en distintas zonas de la ciudad, por tal razón deben considerarse individualmente analizando los tipos de materiales y las condiciones topográficas existentes. Se encuentra caracterizada en mayor proporción por limos, en zonas con efectos topográficos variados, con velocidades de ondas entre 270 y 400 m/s. Es indispensable hacer uso de las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente y se recomienda hacer estudios geotécnicos detallados.

Zona III: en esta zona se esperan amplificaciones altas de las ondas sísmicas, debido a la diversidad de tipos de materiales con velocidades de ondas de corte de 150 a 270 m/s. Para la construcción de cualquier obra es indispensable realizar un estudio geotécnico detallado y seguir las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente.

Zona IV: en esta zona se esperan las más altas amplificaciones de las ondas sísmicas, porque los tipos de suelo presentan velocidades de ondas de corte menores a 150 m/s. Para la construcción de cualquier obra es indispensable, además de seguir las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente, realizar un estudio geotécnico detallado y sería de gran utilidad un análisis de respuesta sísmica del subsuelo.

10.3 MODELOS DE ISOLINEAS

10.3.1 Diagrama de iso - velocidades de ondas de corte en la figura 195 se puede observar que el predominio de la velocidad de ondas de corte está entre 150 y 310 m/s, según esto, en la mayor parte de la ciudad se esperan amplificaciones de las ondas sísmicas altas (Zona III) y moderadas (Zona II) en menor proporción...véase figura 194 o Anexo E....

Este tipo de mapa es de mucha importancia debido a que para su obtención, el programa **GeoZonifica** interpola linealmente entre velocidades de ondas de corte de exploraciones circundantes. Esto, en la microzonificación sísmica podría utilizarse para analizar detalladamente el comportamiento de las velocidades de ondas de corte en las diferentes zonas de la ciudad.

10.3.2 Diagramas de iso - humedad el valor de la humedad en algunos sectores de la ciudad, se ve afectado por la presencia de materia orgánica en el suelo, la cual se quema al secar las muestras de suelo, dando resultados muy altos de humedad, por tal razón, se debe tener especial cuidado teniendo en cuenta la gran variación de la humedad en las zonas en donde existen curvas de isohumedad demasiado juntas. El porcentaje de humedad en las zonas en donde existen curvas isométricas separadas varía de una manera uniforme.

En el mapa de la figura 196 se observa que la gran mayoría de sectores de la ciudad, posee humedades menores al 70 % y en algunos sectores se observan humedades de mayor valor, esta situación puede deberse a la presencia de materia orgánica en los suelos y/o a la influencia del nivel freático que se ve afectado a su vez por condiciones topográficas de cada zona en particular.

Figura 195. Distribución de velocidad de ondas de corte (General).

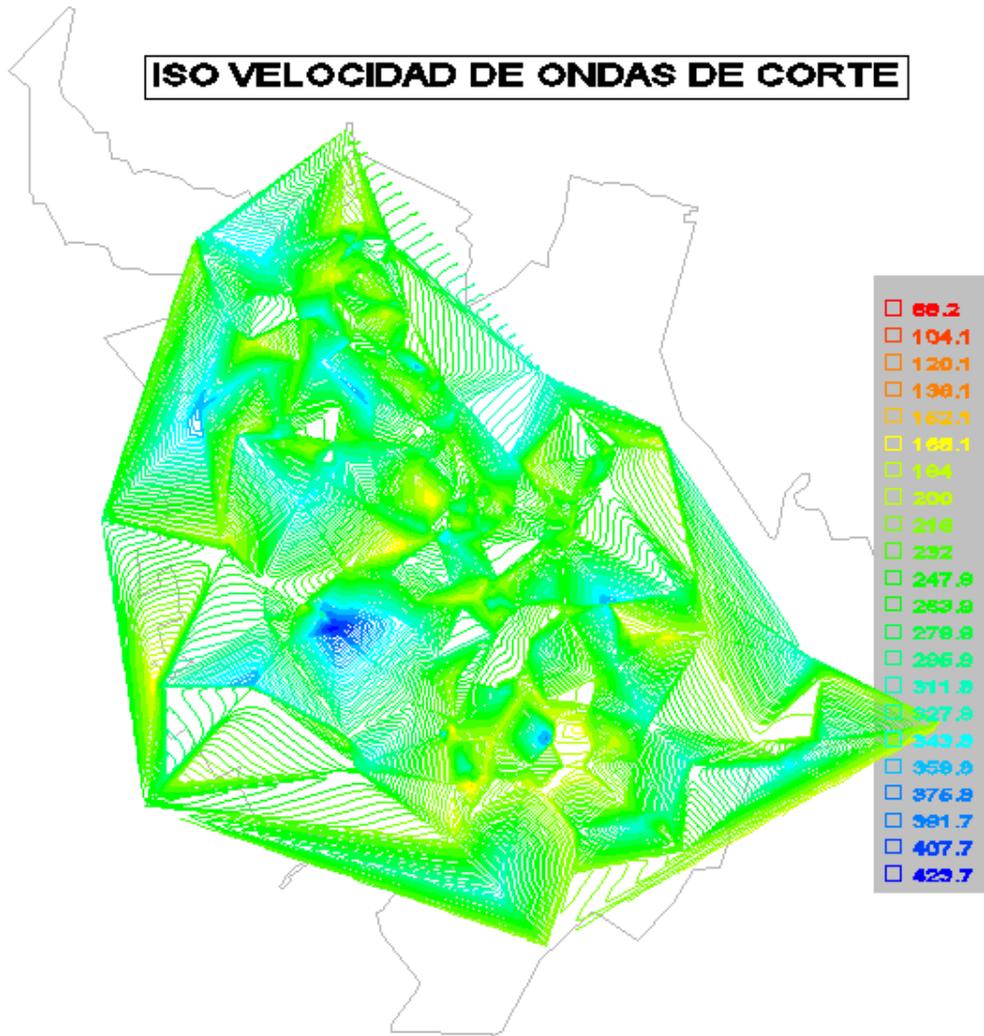
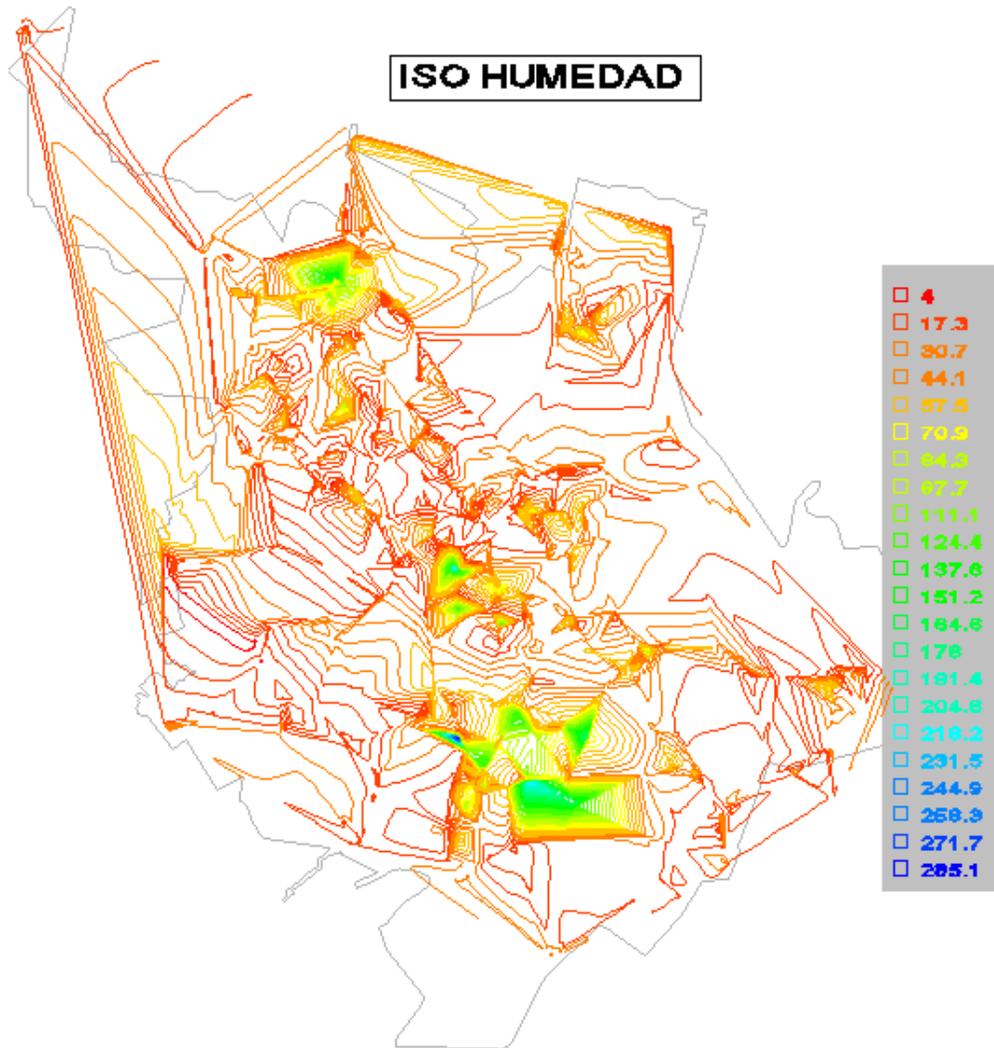


Figura 196. Curvas isométricas de Humedad (general)



11. CONCLUSIONES

1. Las profundidades de las exploraciones de los estudios de suelos oscilan entre 1 y 32.5 metros, y las más frecuentes varían entre 2 y 6 metros. Los estudios a grandes profundidades únicamente se realizan para estructuras especiales o para detectar la presencia de túneles en algunos sectores de la ciudad.
2. La precisión de los mapas geotécnicos elaborados con los diagramas de Voronoi, es proporcional a la densidad de los estudios realizados; para el caso del presente trabajo de grado se inventariaron 1360 exploraciones en un área de 24.24 kilómetros cuadrados (56 exploraciones por kilómetro cuadrado), valor muy aceptable para el propósito de una zonificación geotécnica.
3. Para la realización de los mapas geotécnicos se inventariaron un total de 428 estudios de suelos, en los cuales se encontró 1360 exploraciones geotécnicas, de estas 1081 son apiques, 215 perforaciones y 64 sondeos. A partir del trabajo de investigación realizado se encontró que en la ciudad de San Juan de Pasto predominan las construcciones de dos y tres pisos (véase tabla 19), entre las cuales se destacan 55 edificaciones indispensables y 13 de atención a la comunidad.
4. Las obras civiles de la ciudad de San Juan de Pasto se han desarrollado sobre suelos con características físico mecánicas muy variables. En algunos casos como en el sector del Potrerillo, el barrio las Lunas y la avenida las Américas, se presentan graves problemas estructurales debido a una insuficiente información geotécnica o por su desconocimiento.
5. Los valores más frecuentes encontrados en el primer estrato fueron:

PROPIEDAD	LIMOS	ARCILLAS	ARENAS	GRAVAS	RELLENOS	ORGANICOS
Límite líquido (%)	45	36	44 **		40	35
Índice de plasticidad (%)	10	20	7.5 **		7.6	10
Peso unitario húmedo (t/m ³)	1.7	1.7	1.75	1.65	1.65	1.65
Peso unitario seco (t/m ³)	1.3	1.4	1.4	1.2, 1.6	1.3	1.2
Humedad (%)	40	35	30	20	30	40
Gravedad específica	2.6	2.5	2.7	2.45, 2.6		2.4
Penetración estándar (golpes/pie)	5	6	4	4	2	4
Resistencia sin drenar (k/cm ²)	0.6	1.25, 1.5	0.5 **		1.2	0.3

** Valores obtenidos de muestras de arenas cuyo pasante del tamiz N° 40 tiene comportamiento cohesivo.

6. En el estrato predominante se encontraron los siguientes valores más frecuentes:

PROPIEDAD	LIMOS	ARCILLAS	ARENAS	GRAVAS	RELLENOS	ORGANICOS
Límite líquido (%)	45	36	40 **		40	50
Índice de plasticidad (%)	10	20	6 **		8	12
Peso unitario húmedo (t/m3)	1.7	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6
Peso unitario seco (t/m3)	1.3	1.3	1.3	1.1, 1.5	1.45	1.1, 1.3
Humedad (%)	45	32	30	20		40
Gravedad específica	2.6	2.5	2.7			2.4
Penetración estándar (gol/pie)	5	6	4	8	4	4
Resistencia sin drenar (k/cm2)	0.6	1.2	0.4 **		1.2	0.3
Velocidad de ondas de corte (m/seg)	200	260	210	160	140	140

**Valores obtenidos de muestras arena cuyo pasante del tamiz N° 40 tiene comportamiento cohesivo.

7. La presente zonificación geotécnica proporcionara una herramienta útil para proyectar la microzonificación sísmica, tomando como referente parámetros dinámicos estimados; la base de datos se actualizara constantemente y el programa GeoZonifica podrá utilizarse para realizar y analizar los mapas de una manera fácil y oportuna.
8. Comparando los trabajos realizados sobre actualizaciones geotécnicas con el actual, se podrá apreciar que existen diferencias en la sectorización de los suelos, debido a las densidades de exploraciones, a los métodos de recolección de información o al sistema de procesamiento de información utilizado; lo anterior desde la dimensión práctica se mejorara aplicando las metodologías actuales.
9. La presente actualización geotécnica se realizó en un 90% mediante procesos sistematizados; disminuyendo los errores de localización y de procesamiento de datos que suceden utilizando otros métodos.
10. Los resultados presentados en la actual zonificación geotécnica son dependientes de la calidad de los estudios de suelos recopilados. Algunos datos erróneos se detectaran en el momento de realizar los gráficos y deberán corregirse o eliminarse.

11. A medida que se aumenta el desarrollo urbano, la tendencia en la gran mayoría de las ciudades es la de desarrollarse verticalmente (Aumento de la propiedad horizontal), por lo tanto, se crea la exigencia de realizar estudios geotécnicos a mayor profundidad y una Microzonificación geotécnica y sísmica adecuada.
12. En el mapa de nivel freático (figura 185 y anexo B), se puede observar que el predominio de niveles es proporcional al número de exploraciones, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Profundidad (mts)	Número de exploraciones
0 a 1	41
1 a 2	98
2 a 3	147
3 a 4	67
4 a 5	24
>5	21
Total	398

13. El primer estrato es de gran importancia porque en éste se cimientan la mayoría de las edificaciones de la ciudad. En el mapa de primer estrato (Figura 188 y anexo C) se observa que la ciudad de San Juan de Pasto presenta gran variedad de tipos de suelo, que exhiben en su mayoría la presencia de limos, destacándose también, la gran cantidad de rellenos y arenas, además se observan en menor cantidad arcillas, gravas y suelos orgánicos.
14. Al igual que en el primer estrato, en el mapa del estrato predominante (Figura 191 y anexo D) existe mayor presencia de limos de media plasticidad, además de grandes cantidades de arenas, gravas y arcillas; en menores cantidades se encuentran orgánicos y rellenos. Estos tipos de suelos están distribuidos de una manera “caótica” en la ciudad, la anterior situación puede verse reflejada en la microzonificación sísmica y presentar un alto grado de dificultad para su análisis.
15. En el estrato predominante, el valor de resistencia sin drenar de las arcillas oscila entre 0.4 y 1.5 k/cm², y para los limos están en torno a 0.6 k/cm².

16. En los gráficos de resistencia vs. penetración estándar de las arenas, cuya fracción fina presenta un comportamiento cohesivo, no se observa una relación debido a la gran dispersión de los datos.
17. Según el mapa de velocidades de ondas de corte estimada, la mayoría de sectores de la ciudad de San Juan de Pasto posee velocidades entre 150 y 270 m/s, valores que según la norma NSR 98 clasifica al suelo como tipo S3 y proporciona un coeficiente de sitio de 1.5. El tipo de suelo S4 (V_s menor a 150m/s) se presenta en menor frecuencia, pero se debe tener especial cuidado en el momento de realizar los diseños de las cimentaciones en estos lugares.
18. En la figura 195 se observa en su mayoría curvas de iso-velocidad de ondas de corte juntas, lo cual representa grandes variaciones en los valores con respecto a los circundantes, esto puede deberse a la gran diversidad de suelos y condiciones físico mecánicas que poseen los suelos de la ciudad de San Juan de Pasto.
19. Observando las curvas de iso-humedad de la figura 196, se puede concluir que en la mayoría de sectores de la ciudad de San Juan de Pasto existe un comportamiento uniforme de las humedades, estando ésta alrededor de un 40%, aunque en ciertos lugares presenta grandes variaciones debido a condiciones topográficas del lugar y a la influencia del nivel freático (Comparar figuras 196 y 185).

12. RECOMENDACIONES

1. Actualizar de forma periódica la base de datos que contiene el presente trabajo de grado debido a que la calidad de los mapas geotécnicos variara según el número de estudios que existan hasta el momento.
2. Instalar en lo posible, el programa GeoZonifica en las curadurías de la ciudad con el propósito de que se mantenga actualizada y así obtener una información más acorde a la realidad. Esta actualización permitirá realizar la microzonificación sísmica con mayor precisión.
3. Crear una página web, a través de la cual se ingresen aquellos datos de los nuevos estudios de suelos desde las curadurías, hasta la base de datos localizada en un servidor de internet.
4. Fomentar la implementación de herramientas que permitan el manejo de sistemas de información geográfica o de bases de datos confiables y depuradas.
5. Dejar a juicio del lector la utilización de los mapas y valores obtenidos de las velocidades de ondas de corte para estimar el coeficiente de sitio según la NSR – 98 realizado en el presente trabajo de investigación debido a que fueron obtenidos mediante correlaciones empíricas.
6. Obtener los parámetros reales a partir de pruebas dinámicas realizadas a las diferentes unidades geotécnicas y tomar las velocidades de ondas de corte deducidas en el presente trabajo de grado como un estimativo que conlleven a la microzonificación sísmica de la ciudad de San Juan de Pasto.

13. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MUNICIPAL DE PASTO, PLANEACION MUNICIPAL. PLANEACION MUNICIPAL. Planos de la ciudad organizados según el POT. Pasto, 2007.

ALVA HURTADO, Jorge E. Dinámica de Suelos. Perú: Universidad Nacional De Ingeniería. 1998. 220 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-98: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente. Bogotá: 3r Editores, 1998. Tomo I, P 12-23.

Auburn University, jGRASP versión 1.8.6_01 [CD-ROM]. Compilado en 16 may., 2007 [citado en ago., 2007]. 140 p.

BENITO, Belén y MUÑOZ, Dolores. Física de la Tierra. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE, 1989. p.117-124.

BLANCO, Luis Miguel. Programación en Visual Basic .NET [Documento pdf consecutivo en línea] [Madrid]: Grupo EIDOS, 2006 [citado en 21 de abril, 2007]. Disponible en <www.grupoeidos.com/www.eidos.es>.

BOURKE, Paul. Perform triangulation on a set of 'N' points [Archivo zip de código fuente en Visual Basic 6.0], Agosto de 2002 [citado en 23 de mayo, 2007]. Disponible en <<http://www.Planet-Source-Code.com/vb/scripts/ShowCode.asp?txtCodeId=27390&lngWId=1>>.

CASTAÑEDA CÓRDOVA, Erick y PERALES NOLE, David E. Sistemas de Información Geográfica, 2004, 30 p. Universidad Nacional de Trujillo. Escuela Académico Profesional de Informática.

CASTRO-CUBA, Milagro E.; CHANG, Luis y A. SALAS, Leonardo R. Zonificación Geotécnica Sísmica de la ciudad de Moquegua, En CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL. (14o.: 2003: Perú). Memorias del XIV congreso nacional de ingeniería civil - IQUITOS 2003. Perú. 2003. 10 p.

CID RAMOS, Javier. Estimación de los parámetros dinámicos de los suelos, procedimiento y aplicación a Barcelona, 1996. 71 p. Tesis de Maestría. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona.

Centro Atómico Bariloche; Comisión Nacional de Energía Atómica; Instituto Balseiro; Universidad Nacional de Cuyo y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Construcción de mallas Delaunay en tres dimensiones [en línea] [Argentina], 2000 [citado en 01 julio, 2007]. Disponible en <<http://209.85.165.104/search?q=cache:167ybu19li0J:cabmec1.cnea.gov.ar/darie/cmdtd.ps.gz+triangulacion+delaunay&hl=es&ct=clnk&cd=9&gl=co>>.

CORAL MONCAYO, Hugo. Clasificación de los Suelos. En: _____. Manual de laboratorio de geotecnia I. Pasto, 2004, p. 47 – 55.

_____. Zonificación Geotécnica Urbana Preliminar para Pasto. Bogotá, 1993, 265 p. Trabajo de grado (Magister en Geotecnia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Área de Geotecnia.

CROSS, James H. y BAROWSKI, Larry A. jGRASP, Tutorials* for the jGRASP™ 1.8.6. [Documento pdf], 5 mar. 2007 [citado 3 abr., 2007].

DELGADO M. José. Zonificación Sísmica de la Vega Baja del Río Segura: Análisis de la respuesta del suelo. Provincia de Alicante: 1995, 307 p.

DILLA SALVADOR, Félix y CANO CASTILLO, Juan. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Construcciones, ISPJAE. p. 414.

DUNN, Irving S. Fundamentals of Geotechnical Analysis. New York: Jonh Wiley & Sons, p. 276 – 279.

FELICÍSIMO, Angel Manuel. El modelo digital de elevaciones [Documento pdf consecutivo en línea] [España], Abril de 1999 [citado en 4 de mayo, 2007]. Disponible en <<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>>.

FELICÍSIMO, Angel Manuel. La utilización de los MDT en los estudios del medio físico [Documento pdf consecutivo en línea] [España], Abril de 1999 [citado en 4 de mayo, 2007]. Disponible en <<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>>.

GUERRERO ACOSTA, G. A. E IMUEZ MAZO C. C. Actualización de la Zonificación Geotécnica Urbana para la ciudad de San Juan de Pasto. Pasto, 1999, 2 Vol. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Área de Suelos.

GOMEZ, Idalgo Ismael. Algoritmo para la construcción de grandes mallas mediante la triangulación de Delaunay. 2002, Trabajo de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Informática.

HERMELIN, Michel. Un Método de Zonificación para Poblaciones. En: Memorias VI Jornadas Geotécnicas. Bogotá, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES MINERAS - INGEOMINAS. Plancha 429. Pasto, 1990.

J. A. Rodríguez. Comportamiento dinámico de suelos blandos de Bogotá. En: Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica (Nov., 2005: Chile). Memorias de IX Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Chile, 2005, 15 p.

JIMENEZ SALAS, José Antonio. Cimentaciones Profundas. En _____. Geotecnia y Cimientos III: Cimentaciones, Excavaciones Y Aplicaciones De La Geotecnia. Madrid, 1980, p. 185.

LEONI, Augusto José. Apunte de coeficiente de balasto. Facultad de ingeniería - U.N.L.P. Perú, 2007, 30 p.

MARTÍNEZ R., Juan M.; PIÑEROS CALA, J. D. Y PUBIANO VARGAS, D. M. Propuesta de Zonificación Geotécnica para Bogotá. En: Memorias VI jornadas Geotécnicas. Bogotá: 1990.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA E INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN CIENTÍFICA, MINERO - AMBIENTAL Y NUCLEAR – INGEOMINAS. SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOAMBIENTALES. Zonificación geotécnica del sitio el fuerte para la reubicación de la población de Bojayá – Choco. Bogotá. 2002.

_____. Memoria explicativa del mapa de zonificación Geotécnica por licuación del área urbana del Municipio de Tumaco y sus zonas aledañas. Bogotá. 2003.

_____. Zonificación de amenazas geológicas para los municipios del eje cafetero afectados por el sismo del 25 de enero de 1999. Bogotá. Dic., 1999.

MUSÁS LABAD, Fernando. Consideraciones sobre la elección de coeficientes de Balasto, Revista de Obras Públicas, Madrid: (Nov., 2002): p. 7–14.

OJEDA, Aníbal. Sociedad Colombiana de Geotecnia: Evaluación de Efectos de Sitio Para la Microzonificación Sísmica de Pereira. En: IX Jornadas Geotécnicas. Tomo II, Pereira: 1997.

RODRIGUEZ O., Jose Maria; SERRA G., Jesus y OTEO M., Carlos. CURSO APLICADO DE CIMENTACIONES. 4 ed. Barcelona, España: s.n., 2002. p. 60.

SANTANDER BURITICA, Isabel Carolina y AYALA BURBANO, Rolando Fabio, (1999). UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Determinación del coeficiente de balasto k, a partir del ensayo de placa.

Triangulación de Delaunay [en línea], 12 mayo 2007 [citado en 01 junio, 2007], Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Triangulaci%C3%B3n_de_Delaunay>.

YAMIN, Luis. Sociedad Colombiana de Geotecnia: Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. En: III Foro Sobre Geotecnia de la Sabana de Bogotá. Bogotá: 1997.

ZEEVAERT, Leonardo. Interacción Suelo - Estructuras de Cimentación. LIMUSA. P.11-12.

Anexo A

**Mapa de áreas de actuación urbana de la ciudad de San Juan de Pasto.
Ajuste al acuerdo 007 de junio del 2000, POT (Actualización consultada en
mayo de 2007).**

Ver Mapa en planos adjuntos.

Anexo B

Mapa de zonificación del nivel freático.

Ver mapa en planos adjuntos.

Anexo C

Mapa de zonificación del primer estrato.

Ver mapa en planos adjuntos.

Anexo D

Mapa de zonificación del estrato predominante

Ver mapa en planos adjuntos.

Anexo E.

Mapa de zonificación de la velocidad de ondas de corte.

Ver mapa en planos adjuntos.

Anexo F.

Mapa geológico de la ciudad de San Juan de Pasto.

Ver mapa en planos adjuntos.