

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Asentamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal debidos al abatimiento
del nivel freático**

Proyecto Final de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Gabriel Jesús Corrales Jiménez

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Sergio Sáenz Aguilar

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Hoja de aprobación

Ing. Sergio Sáenz Aguilar
Director

Ing. Gastón Laporte Molina
Asesor

Ing. Rafael Baltodano Goulding
Asesor

Gabriel Corrales Jiménez
Estudiante

Fecha: 2012, Mayo, 11

El suscrito, Gabriel Jesús Corrales Jiménez, cédula 1-1272-0838, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A51740, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Asentamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático,** bajo la Dirección del **Ing. Sergio Sáenz Aguilar, M. Sc,** quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adicionales editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

A Pucho que me dio la oportunidad de llegar hasta aquí y por todo lo que me ha enseñado. A mis hermanas por aguantarme y acompañarme en el camino. A mis abuelos, tías y tíos que me han ayudado en todo momento. A la memoria de mi mamá, quien estaría hasta más orgullosa que yo por este paso de mi vida.

Agradecimientos

A mis amigos y compañeros de estudio. Sin ustedes no lo hubiera logrado, (vosotros sabéis quienes sois).

Al resto de mis amigos que estuvieron a mi lado durante esta etapa.

A Laura. Gracias por la ayuda, la paciencia y por ser mi compañera de la vida.

A todos los que de diferentes formas me ayudaron en este proyecto:

Los miembros del Comité Asesor, Sergio Sáenz, Gastón Laporte y Rafael Baltodano.

Alejandro Navas, Óscar Valerio, Melissa Rojas y los muchachos de LanammeUCR: Manrique, Reyner y Alfredo.

Luis Zamora y todos mis amigos de ProDUS.

Ing. Carlos Arroyo del MOPT.

Johnny López y Stephanie Calvo de Insuma S.A.

Berny Quirós de IMNSA Ingenieros consultores.

Rafael León y Miguel Bolaños del ICE.

William Elizondo, Óscar Abarca y Freddy Porras del Cuerpo de Bomberos de Puriscal.

Wendy Alvarado de la Escuela Darío Flores.

Don Jorge Barquero Hernández.

Eduardo Rodríguez.

Natalia Chacón por la ayuda técnica.

José Francisco Garro, Karol del Auditorio de Lanamme y Gabriela de la Escuela de Ingeniería Civil.

Eduardo Vega.

Índice de contenido

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Ubicación del sitio y datos generales.....	1
1.2 Problema específico	2
1.3 Justificación	5
1.3.1 Daños y riesgos causados por el deslizamiento	6
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo general	11
1.4.2 Objetivos específicos.....	11
1.5 Metodología.....	12
1.5.1 Recopilación de información	13
1.5.2 Visitas de campo.....	13
1.5.3 Extracción de muestras	13
1.5.4 Elaboración del modelo geotécnico.....	14
1.5.5 Ensayos de laboratorio	14
1.5.6 Cálculo de asentamientos	14
1.5.7 Elaboración de mapas de distribución de asentamientos.....	15
1.5.8 Proyección de asentamientos en el tiempo	15
1.6 Alcances	15
1.7 Limitaciones	16
1.8 Marco teórico.....	17
1.8.1 Consolidación de suelos.....	17
1.8.2 Suelos normalmente consolidados.....	18
1.8.3 Consolidación y cambio de esfuerzo efectivo.....	20
1.8.4 Cálculo de asentamientos por consolidación.....	21

1.8.5 Metodología aproximada para el cálculo de asentamientos	22
1.8.6 Corrección al método obtenido mediante el ensayo de consolidación unidimensional	25
1.8.7 Tasa de consolidación	26
1.9 Antecedentes prácticos del problema	27
1.9.1 Presa Tablachaca, Mantaro, Perú	27
1.9.2 Carretera Bogotá - Villavicencio, Colombia	27
1.9.3 Campo Vallemaggia, Suiza	28
1.9.4 Autopista Tijuana - Ensenada, México	28
Capítulo 2. Caracterización geológica y geotécnica	29
2.1 Geología local	29
2.1.1 Formación La Cruz	31
2.1.2 Formación Grifo Alto	32
2.2 Geofísica	32
2.2.1 Perfil geoelectrico de Escuela Darío Flores	32
2.2.2 Perfil geoelectrico de Polideportivo	33
2.3 Estratigrafía	35
2.4 Propiedades físicas	37
2.4.1 Tamaño de partículas	37
2.4.2 Peso volumétrico	37
2.4.3 Relación de vacíos	38
2.4.4 Saturación	38
2.5 Consistencia del suelo	39
2.5.1 Resistencia a penetración estándar	39
2.5.2 Índice de fluidez	40

2.6 Hidrogeología	41
2.6.1 Permeabilidad	42
Capítulo 3. Ensayos de laboratorio	43
3.1 Obtención de las muestras	43
3.1.1 Punto de Muestreo 1	44
3.1.2 Punto de Muestreo 2	45
3.1.3 Punto de Muestreo 3	46
3.1.4 Punto de Muestreo 4	46
3.1.5 Punto de Muestreo 5	47
3.1.6 Punto de Muestreo 6	47
3.1.7 Punto de Muestreo 7	48
3.2 Gravedad específica	51
3.2.1 Resultados de ensayos de Gravedad Específica	52
3.3 Límites de Atterberg	53
3.3.1 Resultados de Límite Líquido	55
3.3.2 Resultados de Límite Plástico	55
3.4 Consolidación	56
3.4.1 Propiedades de Carga - Deformación	57
3.4.2 Propiedades de Tiempo - Deformación	70
Capítulo 4. Asentamientos	75
4.1 Esfuerzos efectivos	76
4.2 Cálculo de asentamientos	82
4.2.1 Asentamientos en P1 (Parque Central) NF=3,5 m	82
4.2.2 Resumen de asentamientos	89

4.3 Proyecciones en el tiempo	99
4.3.1 Proyección en P1 (Parque).....	99
4.3.2 Proyección en P3 (Antiguo Aserradero)	105
4.3.3 Proyección en P8 (Mercado)	108
4.3.4 Proyección en P9 (Bomberos)	110
4.3.5 Proyección en P10 (Banco de Costa Rica).....	113
4.3.6 Proyección en P12 (Estación de servicios)	115
4.3.7 Asentamientos al final de la vida útil.....	117
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	119
5.1 Conclusiones	119
5.2 Recomendaciones	121
Referencias bibliográficas	123
Apéndice A: Datos y cálculos iniciales de ensayos de consolidación.....	1
Apéndice B: Esfuerzos efectivos para los distintos niveles freáticos presentes en la zona de estudio	15
Apéndice C: Cálculo de asentamientos.....	35
Anexos: Resumen de Perforaciones.....	63

Índice de cuadros

Cuadro 2.1 Perfil geoelectrico de la Escuela Darío Flores.....	33
Cuadro 2.2 Perfil geoelectrico del Polideportivo.....	34
Cuadro 2.3 Porcentaje de finos en las muestras de perforaciones del MOPT	37
Cuadro 2.4 Peso volumetrico de las muestras en las perforaciones del MOPT	37
Cuadro 2.5 Relación de vacíos de las muestras en las perforaciones del MOPT	38
Cuadro 2.6 Grado de Saturación (S) de las muestras en las perforaciones del MOPT	39
Cuadro 2.7 Consistencia del suelo según su N_{SPT} para perforaciones del MOPT	40
Cuadro 2.8 Valores utilizados para el cálculo del If en muestras de perforaciones del MOPT	40
Cuadro 2.9 Mediciones de nivel freático en perforaciones del MOPT	41
Cuadro 3.1 Resultados de ensayos de gravedad específica	53
Cuadro 3.2 Límite líquido de todas las muestras	55
Cuadro 3.3 Límite plástico e índice de plasticidad de todas las muestras	56
Cuadro 3.4 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 1	58
Cuadro 3.5 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 2	60
Cuadro 3.6 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 3	61
Cuadro 3.7 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 4	63
Cuadro 3.8 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 5	64
Cuadro 3.9 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 6	66
Cuadro 3.10 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 7.....	67

Cuadro 3.11 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos de la Curva promedio	70
Cuadro 3.12 Propiedades de Tiempo-Deformación para la carga de 2,0 kg de la Muestra 4 .	71
Cuadro 4.1 Niveles freáticos encontrados en las perforaciones	77
Cuadro 4.2 Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 2,5 m	78
Cuadro 4.3 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 4.....	82
Cuadro 4.4 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 4	83
Cuadro 4.5 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 7.....	85
Cuadro 4.6 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 7	85
Cuadro 4.7 Asentamientos en P1, Curva promedio	87
Cuadro 4.8 Resumen de asentamientos.....	89
Cuadro 4.9 Tiempo para distintos grados de consolidación en P1, Punto de Muestreo 4	101
Cuadro 4.10 Tiempo para distintos grados de consolidación en P1, Punto de Muestreo 7...	103
Cuadro 4.11 Tiempo para distintos grados de consolidación en P3, Punto de Muestreo 6...	106
Cuadro 4.12 Tiempo para distintos grados de consolidación en P8, Punto de Muestreo 4...	108
Cuadro 4.13 Tiempo para distintos grados de consolidación en P9, Punto de Muestreo 2...	111
Cuadro 4.14 Tiempo para distintos grados de consolidación en P10, Punto de Muestreo 7.	113
Cuadro 4.15 Tiempo para distintos grados de consolidación en P12, Punto de Muestreo 6.	115
Cuadro 4.16 Asentamientos al final de la vida útil de edificaciones en la zona de mayores asentamientos	117

Índice de figuras

Figura 1.1 Distribución de las galerías filtrantes propuestas	5
Figura 1.2 Agrietamientos frente a Iglesia Nueva	7
Figura 1.3 Esquema metodológico	12
Figura 1.4 Aumento en los esfuerzos efectivos debido a un abatimiento del nivel freático....	20
Figura 1.5 Ejemplo de aumento en los esfuerzos efectivos debido a un abatimiento del nivel freático	21
Figura 2.1 Perfil de terreno de la Iglesia de Santiago de Puriscal	30
Figura 2.2 Modelo geotécnico.....	36
Figura 3.1 Remoción de sección de 50 cm de material superficial	43
Figura 3.2 Introducción de <i>tubo Shelby</i>	44
Figura 3.3 Punto de Muestreo 1.....	45
Figura 3.4 Punto de Muestro 2	45
Figura 3.5 Punto de Muestreo 3.....	46
Figura 3.6 Punto de Muestreo 4.....	46
Figura 3.7 Punto de Muestreo 5.....	47
Figura 3.8 Punto de Muestreo 6.....	47
Figura 3.9 Punto de Muestreo 7.....	48
Figura 3.10 Muestras para gravedad específica	52
Figura 3.11 Muestras para Límites de Atterberg	54
Figura 3.12 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 1.....	59

Figura 3.13 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 1.....	59
Figura 3.14 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 2.....	60
Figura 3.15 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 2.....	61
Figura 3.16 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 3.....	62
Figura 3.17 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 3.....	62
Figura 3.18 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 4.....	63
Figura 3.19 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 4.....	64
Figura 3.20 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 5.....	65
Figura 3.21 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 5.....	65
Figura 3.22 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 6.....	66
Figura 3.23 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 6.....	67
Figura 3.24 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 7.....	68
Figura 3.25 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 7.....	68
Figura 3.26 Gráficos Relación de Vacíos - Esfuerzo (Resumen).....	69
Figura 3.27 Gráfico Deformación - Raíz cuadrada del tiempo para la carga de 2,0 kg de la Muestra 4.....	72
Figura 4.1 Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 2,5 m.....	80
Figura 4.2 Estado final de esfuerzos después de un abatimiento del nivel freático a 20 m de profundidad.....	80
Figura 4.3 Variación en el esfuerzo efectivo para un nivel freático a 2,5 m.....	81
Figura 4.4 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 4 (129 kPa).....	100

Figura 4.5 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 7 (126 kPa)	102
Figura 4.6 Proyección de asentamientos en el tiempo para P1 suponiendo dos fronteras drenantes.....	104
Figura 4.7 Proyección de asentamientos en el tiempo para P1 suponiendo una frontera drenante	104
Figura 4.8 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 6 (106 kPa)	105
Figura 4.9 Proyección de asentamientos en el tiempo para P3 suponiendo dos fronteras drenantes.....	107
Figura 4.10 Proyección de asentamientos en el tiempo para P3 suponiendo una frontera drenante	107
Figura 4.11 Proyección de asentamientos en el tiempo para P8 suponiendo dos fronteras drenantes.....	109
Figura 4.12 Proyección de asentamientos en el tiempo para P8 suponiendo una frontera drenante	109
Figura 4.13 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 3 (198 kPa).....	110
Figura 4.14 Proyección de asentamientos en el tiempo para P9 suponiendo dos fronteras drenantes.....	112
Figura 4.15 Proyección de asentamientos en el tiempo para P9 suponiendo una frontera drenante	112
Figura 4.16 Proyección de asentamientos en el tiempo para P10 suponiendo dos fronteras drenantes.....	114
Figura 4.17 Proyección de asentamientos en el tiempo para P10 suponiendo una frontera drenante	114
Figura 4.18 Proyección de asentamientos en el tiempo para P12 suponiendo dos fronteras drenantes.....	116

Figura 4.19 Proyección de asentamientos en el tiempo para P12 suponiendo una frontera drenante..... 116

Índice de mapas

Mapa 1.1 Localización de la Ciudad de Santiago de Puriscal	3
Mapa 1.2 Deslizamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal.....	9
Mapa 3.1 Ubicación de perforaciones y puntos de muestreo	49
Mapa 4.1 Asentamientos utilizando curvas de relación de vacíos – esfuerzo de puntos de muestreo cercanos.....	91
Mapa 4.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos - esfuerzo	93
Mapa 4.3 Asentamientos mínimos calculados.....	95
Mapa 4.4 Asentamientos máximos calculados.....	97

Abreviaturas

°C: grados centígrados

C_c: índice de compresión

cm: centímetros

C_r: índice de recompresión

e: relación de vacíos

g: coeficiente de gravedad (9,81 m/s²), gramos

km: kilómetros

l/s: litros por segundo

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

LL: Límite líquido

m: metros

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MH: Limo inorgánico de mediana a alta plasticidad

mm: milímetros

NF: nivel freático

N_{SPT}: número de golpes necesarios para penetrar 30 cm del terreno en el Ensayo de Penetración Estándar.

OCR: razón de consolidación

S: saturación

S.U.C.S: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

SENARA: Servicio Nacional de Aguas, Riego y Avenamiento

SIG: Sistema de Información Geográfica

SPT: Standard Penetration Test (Prueba de Penetración Estándar)

t: tiempo

ton: toneladas

w_n: humedad natural

γ_T: peso volumétrico

Δu: cambio en la presión de poro

Δσ': cambio en los esfuerzos efectivos del suelo

σ'_{pc}: esfuerzo de preconsolidación

σ'_{v0}: esfuerzo efectivo vertical

Ω/m: ohmios por metro (medida de resistividad eléctrica)

Corrales Jiménez, Gabriel Jesús
Asentamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático
Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.
G. Corrales J., 2012
xxv, 119, [91]h; ils. col. – 20 refs.

Resumen

Santiago de Puriscal está afectado por un deslizamiento que ha provocado daños importantes en su infraestructura y que representa un riesgo constante, al tener potencial para provocar el colapso de la ciudad, en caso de un evento sísmico o de lluvias torrenciales. En trabajos anteriores se llegó a la conclusión de que la solución más apta para su estabilización, consiste en la implementación de galerías filtrantes para abatir el nivel freático y aumentar así la resistencia cortante del suelo. Sin embargo, un abatimiento del nivel freático causa un aumento en los esfuerzos efectivos del suelo, lo que provoca asentamientos por consolidación. El propósito de este trabajo fue realizar una estimación de los asentamientos que se producirían al aplicar esta solución al deslizamiento, proyectar los asentamientos a través del tiempo y elaborar mapas para representar su distribución en la ciudad.

Los datos utilizados para realizar los cálculos de asentamientos fueron obtenidos a partir de informes de perforaciones hechos por distintas empresas e instituciones, y de los resultados de ensayos de laboratorio, de donde se obtuvieron los parámetros de compresibilidad de las capas superficiales de distintos puntos de la ciudad. Las muestras para estos ensayos fueron extraídas de sitios cercanos a las perforaciones, de forma que fueran representativas de la capa más superficial de los sitios de perforación, para posteriormente calcular los asentamientos en todo el espesor de la capa compresible, realizando ajustes basados en los valores de N_{SPT} de las perforaciones. Las proyecciones de los asentamientos en el tiempo se realizaron en los mismos puntos que los cálculos de asentamientos, a partir de los coeficientes de consolidación de los sitios de muestreo más cercanos. Los mapas de la distribución de los asentamientos fueron elaborados con el Sistema de Información Geográfica *ArcGIS*, mediante el cual se realizó una interpolación espacial, utilizando el método del inverso de la distancia.

Los resultados de los cálculos de asentamientos varían en diferentes áreas de la ciudad, debido principalmente a los distintos niveles freáticos presentes, ya que de esto depende el aumento en los esfuerzos efectivos que provoque el abatimiento. Los asentamientos máximos rondan los 40 cm y se darían en los alrededores del Parque y del Mercado. La consolidación se completaría en aproximadamente 60 años; sin embargo, en los primeros 5 años se experimentarían asentamientos mayores a los 10 cm. Por lo tanto, es necesario tomar esto en cuenta para elaborar un plan de mitigación de los daños. Pese a todo, se recomienda la aplicación de la solución de estabilización propuesta, dado el riesgo que corre la ciudad. G.C.J.

CONSOLIDACIÓN; ASENTAMIENTOS; ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO; SANTIAGO DE PURISCAL; ESTABILIZACIÓN DE DESLIZAMIENTOS.

Ing. Sergio Sáenz Aguilar, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Civil

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se incluyen los elementos necesarios para facilitar la comprensión del presente informe, los objetivos del trabajo, su importancia y otros aspectos generales mediante los que se deja planteado el problema que dio origen a este proyecto.

Se presenta además una descripción detallada de la metodología que se siguió para alcanzar los objetivos propuestos y el sustento teórico del trabajo.

1.1 Ubicación del sitio y datos generales

Puriscal es el cuarto cantón de San José, se ubica al oeste de dicha provincia, entre los cantones josefinos de Mora y Acosta y el cantón de Parrita de la Provincia de Puntarenas. Puriscal se divide a su vez en nueve distritos, a saber: Santiago, Mercedes Sur, Barbacoas, Grifo Alto, San Rafael, Candelaria, Desamparaditos, San Antonio y Chires.

La cabecera del cantón se encuentra en Santiago, distrito ubicado al noreste de Puriscal, cuyo casco urbano (en adelante se referirá a este como "Ciudad de Santiago") se encuentra a aproximadamente 41 km al suroeste de San José, en las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 496 508 y 199 207, y es justamente el sitio donde se desarrolla este estudio.

Santiago presenta elevaciones entre los 700 y los 2 000 m.s.n.m y tiene una extensión total de aproximadamente 36,37 km². Cuenta con temperaturas normalmente entre 23 °C y 27 °C y una precipitación media anual entre 2 050 a 2 400 mm.

El Mapa 1.1 muestra su localización en el territorio nacional.

1.2 Problema específico

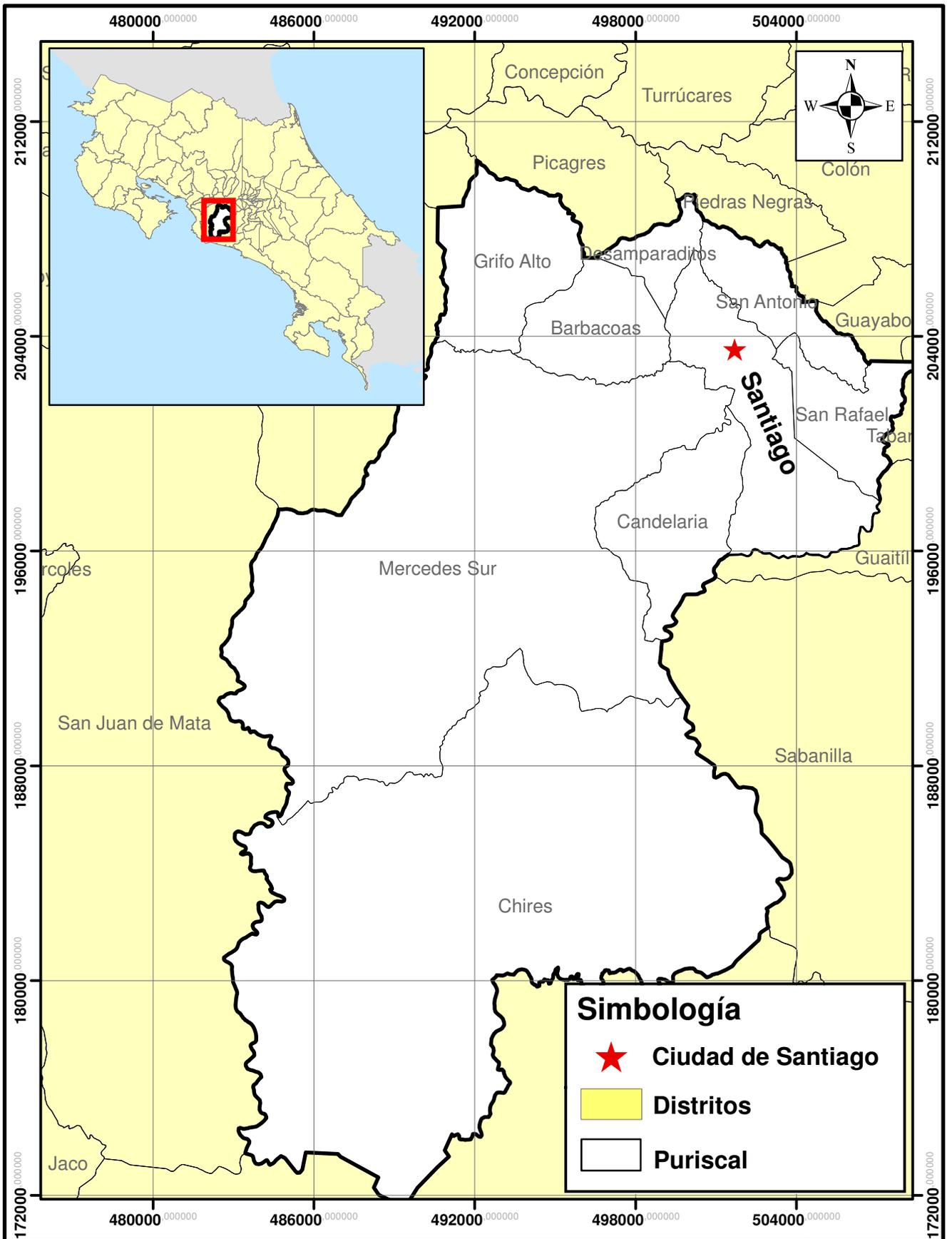
La Ciudad de Santiago ha sufrido desde sus inicios, a finales del siglo XIX, importantes daños en su infraestructura, por estar asentada sobre un deslizamiento activo que se compone de dos masas: Santiago, con un área de 225 hectáreas moviéndose al noroeste, y Cirrí-Carit, que se desplaza hacia el norte, con 195 hectáreas (Jiménez, 2004). El Mapa 1.2 muestra el área afectada del centro de la Ciudad.

Debido a que las mayores deformaciones se han presentado en las zonas donde hay más presencia de nacientes, se formuló la hipótesis de que la deformación de la masa inestable se asocia con el nivel freático. Esto se explica debido a que en presencia de nivel freático se da una reducción de la resistencia al corte del suelo.

Dicha hipótesis se comprobó en investigaciones anteriores, en las que se propuso un abatimiento del nivel freático a 20 metros de profundidad (Aymerich, 2000), que es en promedio la profundidad a la que se encuentra el plano de falla del deslizamiento.

Esa medida permitiría aumentar la resistencia al corte del suelo y alcanzar un grado de estabilidad con un factor de seguridad de 1,2 en el deslizamiento (González M. , 1996).

Con el fin de llevar a cabo el abatimiento del nivel freático, se consideraron dos tipos de obras de subdrenaje aplicables a las condiciones del sitio: trincheras de estabilización profundas y galerías filtrantes, y se concluyó que esta última era la mejor opción (González M. , 1996). Posteriormente se realizó un diseño detallado de dichas galerías (Aymerich, 2000)., cuya distribución en la ciudad se muestran en la Figura 1.1.



Mapa 1.1 Localización de la Ciudad de Santiago de Puriscal

Asentamientos causados por un abatimiento en el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Fuente: Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS)

Elaborado por:
Gabriel Corrales J.

ProDUS
Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

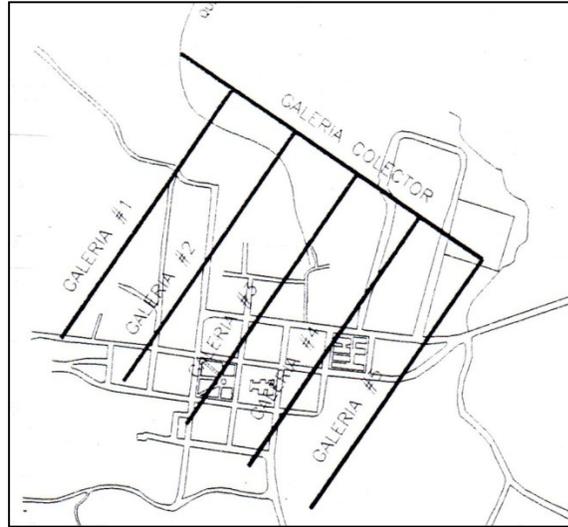


Figura 1.1 Distribución de las galerías filtrantes propuestas

Fuente: (Aymerich, 2000)

El problema que dio origen a este trabajo es que un abatimiento del nivel freático produce un aumento en los esfuerzos efectivos del suelo y consecuentemente un proceso de consolidación. Los asentamientos debidos a esta consolidación podrían provocar problemas en la infraestructura de la ciudad.

1.3 Justificación

El deslizamiento representa un riesgo constante para la ciudad y sus habitantes, ya que eventos como lluvias torrenciales o actividad sísmica podrían traer consigo consecuencias catastróficas para la ciudad.

En 2000 se realizó una evaluación económica, según la cual la posibilidad de trasladar la ciudad a un sitio estable, representaba en ese momento una inversión de más de 100 millones de dólares; mientras que el costo de las galerías filtrantes propuestas como solución al deslizamiento era más de diez veces menor.

Por lo explicado anteriormente, la opción de trasladar la ciudad no es económicamente viable, en comparación con la estabilización del deslizamiento. Además de que existe un fuerte arraigo al lugar entre sus habitantes.

Se puede concluir que la mejor opción desde los puntos de vista técnico y económico es estabilizar el deslizamiento mediante el abatimiento del nivel freático, utilizando galerías filtrantes.

La importancia de este estudio está en que, dado que dicha solución produce un aumento en los esfuerzos efectivos del suelo, era necesario realizar un estudio para determinar la magnitud de los asentamientos que se darían en la ciudad de Santiago.

1.3.1 Daños y riesgos causados por el deslizamiento

El deslizamiento de Puriscal está compuesto por dos segmentos: Santiago con un volumen de 115 millones de m³ y Cirrí – Carit con 80 millones de m³, para un total de 195 millones de m³ (Aymerich, 2000), lo que lo convierte en uno de los más grandes del mundo.

El centro de la Ciudad de Santiago se ve afectado directamente por el deslizamiento, ya que se ubica sobre la masa en movimiento. Se considera que la velocidad del movimiento superficial es de 5 a 15 cm por año; con máximos o mínimos dependiendo de la lluvia y de la actividad sísmica (Aymerich, 2000).

Varias edificaciones importantes han sido demolidas por los daños causados por el deslizamiento. Entre estas el Antiguo Hospital, el Antiguo Mercado Municipal, la Fábrica de Puros y el Gimnasio del Liceo Municipal. Además se encuentran en peligro varias otras como la Iglesia Antigua (sobre la cual existe actualmente una orden del Ministerio de Salud para su demolición), el Edificio de la Municipalidad, el Liceo de Puriscal, el Gimnasio Municipal y la Escuela Darío Flores.

En la Figura 1.2 se muestran los agrietamientos sobre la calle frente a la iglesia nueva de Santiago, situación que se da en muchos otros sitios de la ciudad.



Figura 1.2 Agrietamientos frente a Iglesia Nueva

Con respecto a la actividad sísmica, Puriscal ha sido afectada históricamente por eventos provocados por fallas locales, principalmente. En particular, la falla más cercana identificada es la de Ciudad Colón, capaz de generar sismos de magnitudes de 6,7 a 7,1 grados en la escala de Richter y aceleraciones pico considerables.

En 1990 se dio un enjambre sísmico muy importante, en el que el Terremoto de Cóbano (25 de marzo) actuó como agente disparador de la actividad sísmica ocurrida en Santiago de Puriscal.

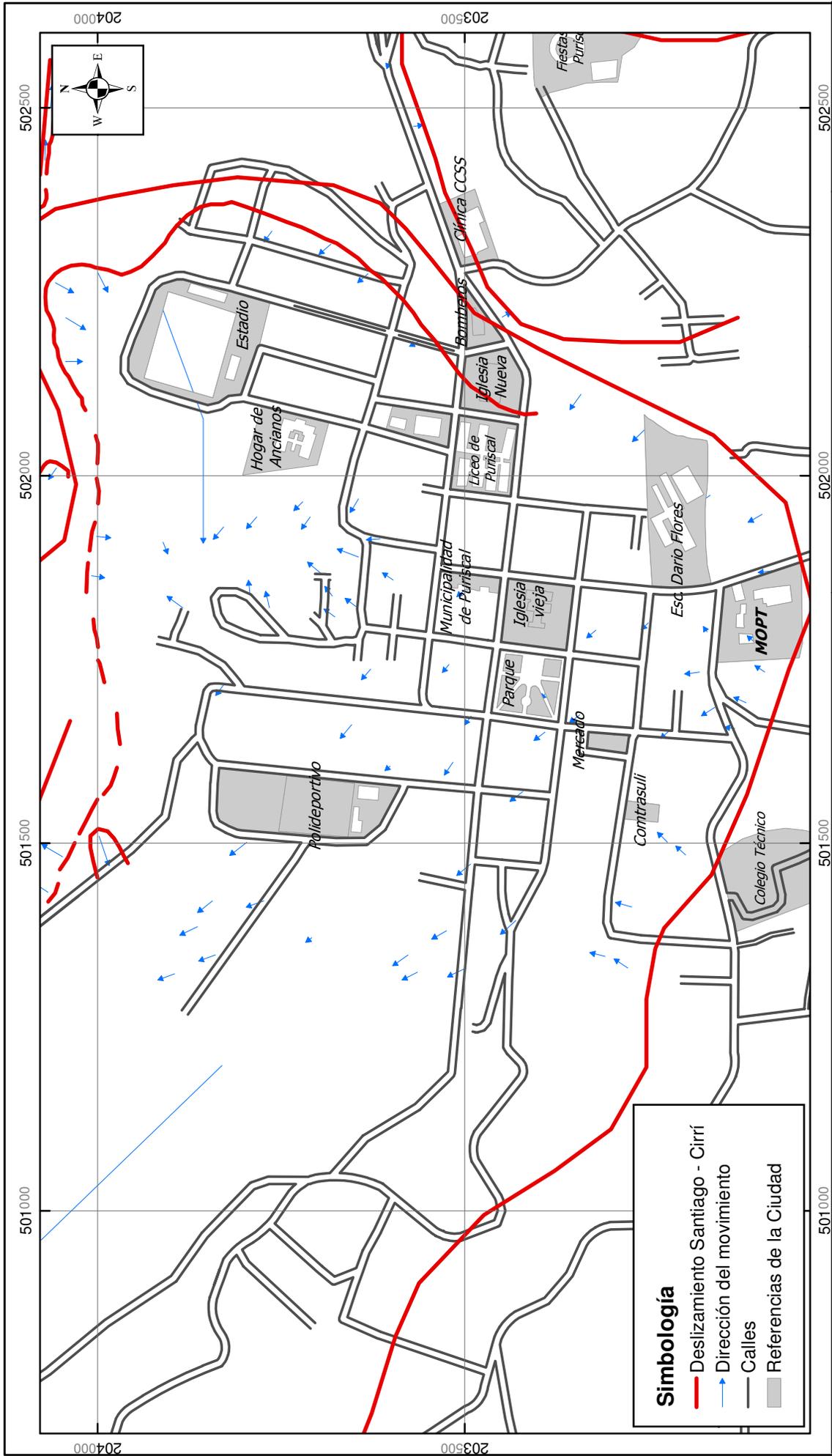
En esa ocasión se registraron sismos con magnitudes superiores a los 5 grados en la escala de Richter, que originaron aceleraciones de más de 0,2 g (Bolaños, et. al, 2007) y que obligaron a algunos habitantes de Santiago a abandonar temporalmente sus hogares (Güendel, et. al, 1990).

Recientemente (mayo, 2011) se dio un sismo de 5,9 grados en la escala de Richter, que se ubicó a 6 km al norte de Santiago (OVSICORI-UNA, 2011) y que pese haberse sentido con fuerza en todo el país, no causó daños de consideración.

Sin embargo, no hay ninguna razón lógica o científica que sugiera que el tectonismo local vaya a disminuir su magnitud en adelante, por lo que el peligro ante un movimiento se mantiene.

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

Es probable que más allá de los sismos, el principal factor de vulnerabilidad de la ciudad de Santiago sean las lluvias torrenciales (Peraldo, 1996). Sin embargo, ambos factores tienen una alta probabilidad de ocurrencia en nuestro país, y en esta zona en particular. Por lo tanto, existe la necesidad de la aplicación de una solución al deslizamiento.



Mapa 1.2 Deslizamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Asentamientos causados por un abatimiento en el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Fuente: Jiménez, 2004.

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la distribución de asentamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal producto de un eventual abatimiento del nivel freático.

1.4.2 Objetivos específicos

- Calcular los valores de asentamientos que se producirían al disminuir el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal.
- Realizar una proyección en el tiempo de los asentamientos producto del abatimiento del nivel freático.
- Elaborar mapas que ilustren la distribución de los eventuales asentamientos en la Ciudad de Santiago de Puriscal.

1.5 Metodología

La Figura 1.3 resume la metodología que se utilizó para la realización de este trabajo. El esquema inicia con la recopilación de información y finaliza con la redacción de las conclusiones y recomendaciones generales.

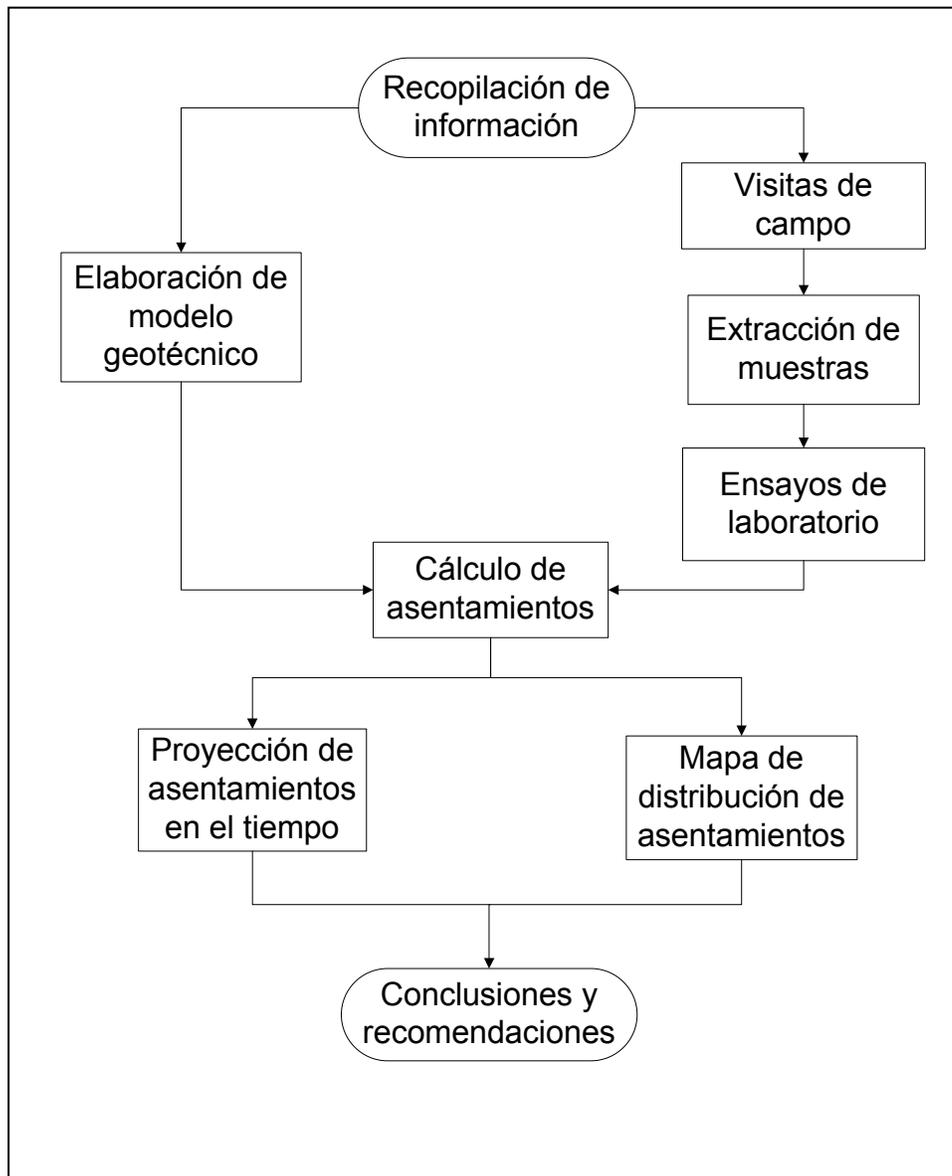


Figura 1.3 Esquema metodológico

El esquema metodológico muestra la secuencia lógica de las etapas del proyecto. A continuación se explica cada una de ellas:

1.5.1 Recopilación de información

Se llevó a cabo la búsqueda de la información inicial, compuesta principalmente por informes técnicos de estudios de suelo, de los se obtuvieron, entre otros datos, los valores de N_{SPT} de las perforaciones realizadas en varios sitios de la Ciudad de Santiago por parte distintas empresas o instituciones. En los Anexos se muestra un resumen de los datos obtenidos en las hojas de perforaciones.

1.5.2 Visitas de campo

En total se hicieron cinco visitas de campo. La primera para realizar un reconocimiento del sitio y definir, con base en las perforaciones disponibles en ese momento, los puntos de la ciudad de los que posteriormente se podían obtener las muestras para los ensayos de laboratorio. En las siguientes tres visitas se realizaron los muestreos; la idea original era realizarlos en una sola visita, sin embargo se tuvieron distintos inconvenientes por causas climáticas. La última visita se hizo con el fin de obtener la edad de algunas de las principales edificaciones que se encuentran en la zona donde se obtuvieron los mayores asentamientos.

1.5.3 Extracción de muestras

La extracción de muestras se llevó a cabo en siete puntos distintos de la Ciudad de Santiago, de los cuales en adelante se hará mención como "puntos de muestreo". En la Sección 3.1 se explica con más detalle este procedimiento. En el Mapa 3.1 se tiene tanto la ubicación de los siete puntos de muestreo (señalados con números en el mapa) como de las perforaciones que se mencionaron en la Sección 1.5.1 (señaladas en el mapa con una "P" antes del número).

1.5.4 Elaboración del modelo geotécnico

Con base en los estudios y perforaciones obtenidas, se procedió a definir los espesores de la capa de suelo compresible de acuerdo con sus valores de N_{SPT} .

El suelo saprolítico llega hasta una profundidad cercana a los 40 m, donde se encuentra la roca alterada. Se definieron también los niveles freáticos según los encontrados en cada perforación. Estos datos se explican con más detalle en la Sección 2.3 y en el Capítulo 4, debido a que con ellos se procedió a realizar los cálculos de aumento de esfuerzos efectivos y asentamientos que provocaría un abatimiento del nivel freático a 20 m de profundidad.

1.5.5 Ensayos de laboratorio

Las muestras extraídas en campo fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de LanammeUCR, donde se les realizaron ensayos de gravedad específica, límites de Atterberg y consolidación. El Capítulo 3 se dedica a la explicación detallada de los ensayos de laboratorio realizados.

El objetivo de llevar a cabo el ensayo de límites de Atterberg, además de contar con datos de importancia geotécnica básica, fue utilizar eventualmente sus resultados para el cálculo de asentamientos según la metodología explicada en la Sección 1.4.6. Sin embargo, en el proceso se determinó que esta opción no era necesaria debido a que no se encontró ningún problema con los métodos utilizados para calcular los asentamientos directamente de los ensayos de consolidación, como se explica en el Capítulo 4.

1.5.6 Cálculo de asentamientos

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio y calculados los incrementos en esfuerzos efectivos producidos por un eventual abatimiento del nivel freático, se procedió a calcular los asentamientos con los métodos explicados en la Sección 1.8.4.

La capa de suelo compresible se dividió en secciones de 50 cm, a cada una de las cuales se les calculó el asentamiento asumiendo los mismos valores de los parámetros de compresibilidad obtenidos para la sección más superficial (de donde se extrajeron las muestras ensayadas), pero aplicando una corrección basada en los valores de N_{SPT} de las perforaciones, según la Ecuación 21 del Capítulo 4.

Con esto se obtuvo un rango de valores de asentamientos totales en los puntos donde se disponía de información de perforaciones, para lo cual se utilizaron los parámetros obtenidos en laboratorio de los puntos de muestreo más cercanos a las perforaciones; así como la curva de relación de vacíos – esfuerzo general, que se obtuvo como promedio de las obtenidas en todos los puntos de muestreo. Todos estos procedimientos se explican con detalle en el Capítulo 4.

1.5.7 Elaboración de mapas de distribución de asentamientos

Se elaboraron mapas que representan gráficamente los resultados de los cálculos de asentamientos realizados en diez de las doce perforaciones disponibles y se interpoló a partir de estos para el resto de sitios de la zona de estudio, mediante el método IDW (*Inverse Distance Weighted*), o método del inverso de la distancia del Sistema de Información Geográfica (SIG) *ArcGIS*, con el que se elaboraron los mapas de este trabajo. Este método se explica en el Capítulo 4.

1.5.8 Proyección de asentamientos en el tiempo

Utilizando los coeficientes de consolidación obtenidos para cada punto de muestreo, y relacionándolos, de la misma forma que para el cálculo de asentamientos, con las perforaciones más cercanas, se hizo uso de las Ecuaciones 13, 14 y 15 de la Sección 1.8.7 para proyectar los asentamientos en el tiempo.

1.6 Alcances

- El estudio está limitado geográficamente a la Ciudad de Santiago de Puriscal, donde tendrían efectos considerables en la infraestructura los asentamientos ocasionados por el eventual abatimiento del nivel freático.

- Se realizaron únicamente un siete ensayos de consolidación, de las muestras obtenidas de distintos puntos de la ciudad.
- Se realizó el cálculo de los asentamientos ocasionados por un eventual aumento en los esfuerzos efectivos del suelo, producto del abatimiento del nivel freático, y se dejó el resto de variables en las condiciones actuales. No se consideró en ningún momento algún cambio en las condiciones de carga.
- El cálculo de los asentamientos se realizó tomando en cuenta las condiciones de saturación del suelo, presentes antes del abatimiento del nivel freático. No se pretendía realizar un análisis de las condiciones no saturadas del suelo.
- En este trabajo no se realizó una estimación económica de los efectos de los eventuales asentamientos en la infraestructura que podría verse afectada ni de los efectos de no aplicar la solución propuesta para el deslizamiento.

1.7 Limitaciones

- Las muestras de las cuales se realizaron los ensayos de laboratorio se extrajeron de la capa más superficial del suelo, todas a una profundidad de 50 cm. Los cálculos de asentamientos para las secciones inferiores debieron ser corregidos utilizando los valores de N_{SPT} de las perforaciones realizadas en la ciudad, de las que se tuviera registro.
- El medio no es uniforme ni homogéneo, por lo que la suposición de que los valores de N_{SPT} son representativos de los parámetros de compresibilidad, e inversamente proporcionales a estos, podría no cumplirse en todos los casos, debido a que en el N_{SPT} no solamente influyen los parámetros de compresibilidad, sino también algunas otras propiedades del suelo tales como su plasticidad que no necesariamente son constantes en toda la profundidad de la capa compresible.
- Los puntos de muestreo se seleccionaron de forma que fueran representativos, lo que quiere decir que debían ubicarse en los sitios donde se realizaron las perforaciones con las que más adelante se realizó la corrección con los valores de N_{SPT} . Sin embargo esto no fue posible en sentido estricto, ya que en la mayoría de los casos en los sitios

exactos de las perforaciones ya existían construcciones, por lo que las muestras tuvieron que extraerse del lugar más cercano que reuniera las condiciones para el muestreo.

- Pese a que la mayoría de las perforaciones de las que se obtuvo registro llegaron hasta la roca muy alterada, que se encuentra a profundidades de alrededor de 40 m, y que por lo tanto atravesaron la capa de suelo compresible en todo su espesor, se dispuso también de otras perforaciones con profundidades bastante menores, en el mejor de los casos de 14 m de profundidad. Por ello a partir de cierto punto se debieron asumir los valores de N_{SPT} de las perforaciones profundas más cercanas.
- Debido a la información disponible, no fue posible extrapolar los valores de asentamientos para los puntos fuera de la ciudad. Por lo tanto, las áreas que aparecen en blanco en los mapas del Capítulo 4 no indican que no vayan a darse asentamientos.

1.8 Marco teórico

1.8.1 Consolidación de suelos

La consolidación de un suelo es el proceso de cambio volumétrico (reducción de vacíos o densificación), producido por la aplicación de cargas compresivas y/o la pérdida de humedad. Esta última puede ser debida al descenso natural del nivel freático o a la extracción de agua por medios artificiales; en ambos casos genera una disminución de la presión de poro que produce un incremento del esfuerzo efectivo y un reacomodo de las partículas sólidas a las nuevas condiciones.

Durante el proceso se reduce el volumen de los vacíos y se establece un flujo de agua hasta que se produce un nuevo equilibrio en el cual el volumen (reducido) permanece constante, cesa el flujo de agua y los cambios en el esfuerzo total o la presión de poro se transfieren al esfuerzo efectivo.

Estos cambios volumétricos pueden afectar negativamente el funcionamiento de alguna obra y hasta dañar sus elementos estructurales. Si se trata de un terreno horizontal, se manifiestan como asentamientos locales (diferenciales) o generalizados (uniformes). En

el segundo caso afectaría los accesos de las edificaciones y las conexiones de tuberías de servicios tales como el suministro del agua potable, pero no afectaría a los elementos estructurales; lo cual sucedería con los asentamientos diferenciales, que producen esfuerzos y deformaciones de elementos como columnas, vigas y muros que podrían llevar a la pérdida de funcionalidad de una estructura, y hasta su falla.

“En suelos de alta permeabilidad (grano grueso), la consolidación se da casi simultáneamente con la acción ejercida, por lo que se pueden implementar soluciones inmediatas a los problemas. En suelos de baja permeabilidad (grano fino) el proceso de consolidación ocurre en forma desfasada en el tiempo, por lo que se deben considerar sus efectos a largo plazo [...] para tomar provisiones”. (Vargas, 2008).

1.8.2 Suelos normalmente consolidados

La consolidación ocurre normalmente en la formación de los suelos tanto residuales como transportados, bajo su peso propio. El peso de todo el material sobre una profundidad determinada (la sobrecarga) origina esfuerzos de compresión que en el proceso de formación natural producen el acomodo de las partículas (estructura sólida del suelo) de tal manera que se incrementa el número y áreas de contacto entre ellas y consecuentemente el esfuerzo efectivo, hasta que se alcanza el equilibrio estático con la sobrecarga.

Un suelo se denomina “**normalmente consolidado**” si el esfuerzo efectivo máximo que ha experimentado en su historia es el que produce su propio peso en la condición actual. Los suelos superficiales de nuestro país ubicados bajo el nivel freático, tanto residuales (de las zonas montañosas) como transportados (de las zonas aluviales) son en su mayor parte normalmente consolidados, con densidades y resistencias relativamente bajas y presencia frecuente de arcillas blandas y/o expansivas.

Los suelos normalmente consolidados usualmente son sueltos o poco densos y blandos, con relaciones de vacíos normalmente grandes ($e_0 > 1$). En la condición natural o normal de formación de los suelos, es posible que los vacíos entre partículas sean relativamente grandes y el suelo sea “suelto” o poco denso. Esta condición es común

en los depósitos de suelos aluviales y en los suelos residuales, especialmente los que se derivan de cenizas volcánicas.

Un suelo se denomina "**preconsolidado**" si en el pasado ha estado sometido a esfuerzos efectivos verticales mayores que los producidos por la sobrecarga actual. Los suelos preconsolidados se dan en regiones que han experimentado pérdida de sobrecarga por erosión, derretimiento de glaciares, deslizamientos de tierra u otros procesos naturales o artificiales de remoción de grandes masas de suelo, como los movimientos de tierra.

También los suelos que tienen variación estacional del nivel freático usualmente presentan algún grado de preconsolidación en el estrato más superficial (costra densificada), dado que el movimiento del nivel freático produce cambios en el esfuerzo efectivo aunque no modifica sustancialmente el esfuerzo total.

La pérdida de sobrecarga o la disminución del esfuerzo efectivo vertical en los suelos preconsolidados deja una memoria de la carga máxima experimentada en la historia, denominada presión de preconsolidación, σ'_{pc} . El cociente entre la presión de preconsolidación y el esfuerzo efectivo vertical actual (σ'_{v0}) es la razón de preconsolidación (OCR).

Los suelos normalmente consolidados tienen $OCR = 1$, mientras los preconsolidados tienen $OCR > 1$. La condición $OCR < 1$ ($\sigma'_{v0} > \sigma'_{pc}$) es posible sólo en suelos que están en proceso de formación como los depósitos de sedimentos y rellenos naturales recientes, con altos contenidos de humedad (relación de vacíos). En ese caso σ'_{v0} será el valor final de equilibrio del depósito y σ'_{pc} el esfuerzo efectivo durante el proceso de formación.

"La compresibilidad de los suelos preconsolidados es menor que la de los suelos normalmente consolidados, puesto que el proceso de consolidación produce una densificación o disminución de la relación de vacíos [...]. La carga que agrega una construcción al suelo debe superar la presión de preconsolidación para que los efectos de la consolidación normal se vuelvan a manifestar en el comportamiento del suelo". (Vargas, 2008)

1.8.3 Consolidación y cambio de esfuerzo efectivo

“La ecuación de esfuerzo efectivo vertical de Terzaghi representa un equilibrio entre la sobrecarga (esfuerzo total), la presión de poro y las fuerzas que se desarrollan entre las partículas y tiene asociada la variable de tiempo porque el equilibrio debe mantenerse en cualquier instante” (Vargas, 2008). Se puede escribir en términos de cambios Δ :

$$\Delta\sigma'(t) = \Delta\sigma(t) - \Delta u(t) \quad \text{Ecuación 1}$$

De esta forma se puede apreciar que tanto los cambios en el esfuerzo total, como en **la presión de poro producen, a corto o largo plazo, cambios correspondientes en el esfuerzo efectivo y por lo tanto, una consolidación.**

Este incremento puede deberse a una compresión producida por la aplicación de una carga adicional o por un descenso en el nivel freático (natural o causado por la extracción de agua subterránea) que provoque la disminución de de la presión de poro. Este aumento en los esfuerzos efectivos se explica de forma general en la Figura 1.3 y como un ejemplo particular en la Figura 1.4.

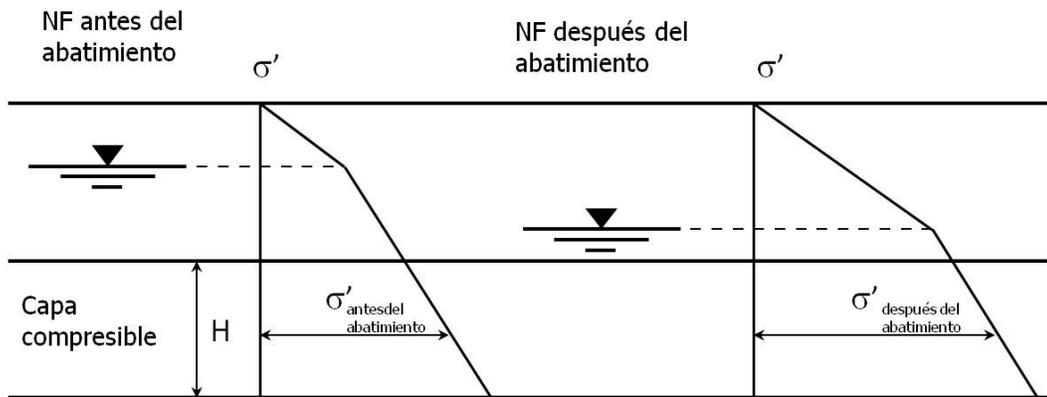


Figura 1.4 Aumento en los esfuerzos efectivos debido a un abatimiento del nivel freático

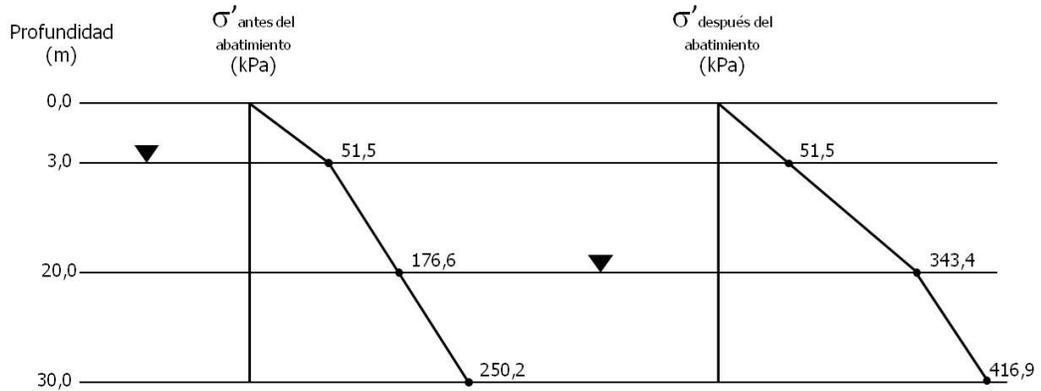


Figura 1.5 Ejemplo de aumento en los esfuerzos efectivos debido a un abatimiento del nivel freático

De la Ecuación 1 se infiere también que si en $t=0$ el esfuerzo total y la presión de poro varían en la misma medida ($\Delta\sigma' = \Delta u$), el esfuerzo efectivo no cambia inicialmente, lo que explica que los efectos de la consolidación se manifiesten con el tiempo.

1.8.4 Cálculo de asentamientos por consolidación

El asentamiento unidimensional por consolidación de una capa de arcilla puede calcularse de distintas maneras. La más común es:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1+e_0} H = \frac{e_2 - e_1}{1+e_0} H \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

ΔH = asentamiento

Δe = cambio total de la relación de vacíos causada por la disminución del nivel freático (para el caso de estudio)

e_0 = relación de vacíos *in situ*.

e_1 = relación de vacíos en $t=0$, para el esfuerzo efectivo inicial.

e_2 = relación de vacíos al final de la consolidación, para el esfuerzo efectivo final.

H = espesor de la capa de arcilla que se asienta.

También se tiene, para suelos normalmente consolidados:

$$\Delta H = \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

C_c = índice de compresión en la rama virgen de la curva de consolidación.

$\Delta\sigma'$ = cambio total del esfuerzo efectivo causado por la disminución del nivel freático (para el caso de estudio).

σ'_0 = esfuerzo efectivo inicial.

Por último, para suelos preconsolidados:

$$\Delta H = \frac{C_r}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

C_r = índice de compresión en la rama preconsolidada de la curva de consolidación (o índice de recompresión).

1.8.5 Metodología aproximada para el cálculo de asentamientos

Existen métodos aproximados para evaluar los parámetros de consolidación como C_c (índice de compresión), C_r (índice de recompresión) y e_0 (relación de vacíos en sitio), mediante correlaciones empíricas con otros parámetros de laboratorio de más fácil obtención, como el límite líquido (LL), la humedad natural (w_n), y la relación de vacíos (e).

Un ejemplo de estos es $C_c = 0,009 (LL - 10)$, que es la ecuación más conocida (Terzaghi y Peck, 1967). Sin embargo, debido a que esta es una relación a la que se llegó mediante métodos empíricos, es aplicable únicamente si existieran las mismas

condiciones que las presentes en su determinación. Por esta razón, la ecuación es únicamente aplicable a suelos vírgenes con $OCR = 1$. Este hecho se demostró en el estudio titulado "Métodos aproximados de cálculo de asentamientos por consolidación en limos compresibles aplicables a Costa Rica" (Sáenz & Laporte, 1986, agosto), donde mediante análisis estadísticos se concluye que dicha ecuación no es necesariamente aplicable a nuestros suelos y se propusieron algunas variantes a ésta.

Este estudio define las relaciones más usadas en el cálculo de asentamientos partiendo de las características físicas comúnmente dadas en los estudios de suelos, a través del análisis de más de cincuenta pruebas de consolidación en suelos saprolíticos, específicamente limos arcillosos clasificados como MH según S.U.C.S, la misma clasificación que los suelos de la Ciudad de Santiago.

Dicho estudio además logra buenas correlaciones, combinando algunas variables resultantes de las pruebas de consolidación y propone un procedimiento para la estimación aproximada de asentamientos aplicable en Costa Rica. Consiste en dos métodos distintos: uno para el caso en que se tengan suelos normalmente consolidados o cuando el rango de esfuerzos de trabajo en la capa compresible esté en la rama virgen y otro para utilizarse tanto en suelos normalmente consolidados o preconsolidados.

Por lo tanto, lo primero que debe verificarse es el esfuerzo de preconsolidación (σ_{pc}), mediante la siguiente correlación:

$$\sigma_{pc} = 10^{(1,795 - 0,665 I_f)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

σ_{pc} = esfuerzo de preconsolidación en ton/m².

I_f = índice de fluidez.

El índice de fluidez se calcula de la siguiente forma:

$$I_f = \frac{w_n - LP}{LL - LP} \quad \text{Ecuación 6}$$

Para la obtención de la correlación que se muestra en la Ecuación 5 se utilizó una regresión de tipo logarítmica con un coeficiente de correlación entre ambas variables de 0,88.

Una vez calculado el esfuerzo de preconsolidación, se debe definir si el rango de esfuerzos de trabajo se encuentra en la rama virgen o en la preconsolidada, para luego definir cuál de los dos métodos utilizar.

1.8.5.1 Primer Método

Puede aplicarse en suelos normalmente consolidados o cuando el rango de esfuerzos de trabajo en la capa compresible se encuentra en la rama virgen.

Consiste utilizar la Ecuación 3 estimando el índice de compresión C_c mediante las siguientes correlaciones:

$$C_c = 0,0068 (LL - 17) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$C_c = 0,0068 (w_n + 2,8) \quad \text{Ecuación 8}$$

1.8.5.2 Segundo Método

Puede aplicarse para suelos normalmente consolidados utilizando la Ecuación 3 o preconsolidados para suelos preconsolidados con la Ecuación 4.

Para el primer caso, puede estimarse directamente el inverso del valor $\frac{C_c}{1+e_0}$ por correlación con el límite líquido, utilizando las siguientes expresiones:

$$\frac{1+e_0}{C_c} = 1043 (LL)^{-1,18} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\frac{1+e_0}{C_c} = 10,89 (4,95 - 2,3 \log LL) \quad \text{Ecuación 10}$$

Para el segundo caso, cuando se tienen suelos preconsolidados, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\frac{1+e_0}{C_r} = 378,1 - 187,4 \log(LL) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\frac{1+e_0}{C_r} = 194,35 - 89,2 \log(LL) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde la Ecuación 11 es utilizable cuando el rango de esfuerzos varía entre 1 y 10 ton/m² y la Ecuación 12 cuando el rango de esfuerzos varía entre 1 y 20 ton/m².

1.8.6 Corrección al método obtenido mediante el ensayo de consolidación unidimensional

Los suelos que experimentan aumentos en sus esfuerzos efectivos y por lo tanto una consolidación, se ven sometidos a deformaciones laterales. Generalmente se supone que la relación entre la compresibilidad axial y el esfuerzo efectivo se puede determinar en un odómetro estándar mediante el ensayo de consolidación unidimensional. En esta prueba no se toma en cuenta la influencia de los esfuerzos laterales sobre las características de deformación del suelo (Simons & Menzies, 1977).

La condición en la cual no se presenta deformación lateral es aproximadamente cierta para al menos dos casos prácticos: (a) que una delgada capa compresible se encuentre entre dos capas de arena o entre arena y roca y (b) que un área cargada cuya extensión horizontal sea muy grande en comparación con el espesor de la capa compresible, caso en que la deformación lateral es despreciable, con la excepción en las cercanías de los bordes del área cargada (Skempton & Bjerrum, 1957).

En situaciones como las anteriores, los asentamientos por consolidación pueden ser estimados con una precisión razonable mediante la aplicación directa de los resultados del ensayo de consolidación unidimensional (Skempton & Bjerrum, 1957).

Debido a que el caso de estudio de la Ciudad de Santiago es como el que se describe en (b), los resultados del ensayo de consolidación unidimensional se pueden utilizar sin necesidad de aplicar algún factor de corrección que tome en cuenta la deformación lateral de los suelos.

1.8.7 Tasa de consolidación

La consolidación es resultado de la disipación gradual del exceso de la presión de poro del agua en un estrato de arcilla que a su vez incrementa el esfuerzo efectivo que produce asentamientos.

Para estimar el grado de consolidación de un estrato de arcilla en un tiempo t después de la aplicación de la carga, se requiere conocer la rapidez de la disipación del exceso de presión de poro del agua. Las principales ecuaciones para obtener ese tiempo se muestran a continuación (Das, 2001):

$$T_V = \frac{c_v t}{H^2} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

T_v = factor de tiempo adimensional, que se obtiene a partir del grado de consolidación ($U\%$), como se puede ver en las Ecuaciones 14 y 15.

C_v = coeficiente de consolidación. Se determina de la prueba de laboratorio.

H = longitud de trayectoria máxima de drenaje, depende de las condiciones de frontera de la capa.

t = tiempo después de la alteración de los esfuerzos.

Las siguientes dos ecuaciones muestran el cálculo de T_v a partir del grado de consolidación de la capa compresible.

$$T_V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (\text{para } U\% = 0 - 60\%) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$U\%$ = Grado de consolidación de la capa, en porcentaje respecto de la consolidación máxima.

$$T_V = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (\text{para } U\% > 60\%) \quad \text{Ecuación 15}$$

1.9 Antecedentes prácticos del problema

Como antecedentes prácticos de este problema, se presentan a continuación algunos ejemplos en los que se han utilizado obras de subdrenaje para mejorar la estabilidad de deslizamientos en diferentes partes del mundo.

1.9.1 Presa Tablachaca, Mantaro, Perú

“En la Presa Tablachaca de la Central Hidroeléctrica Mantaro en Perú, se construyó un sistema de galerías con una extensión total de 1 527 m. La obra se llevó a cabo con el fin de estabilizar un deslizamiento que afectaba la margen derecha del río Mantaro

Desde la galería se instalaron 190 drenes radiales, con el objeto de evacuar el agua subterránea presente en la masa deslizante. Al cabo de 10 años, los movimientos profundos y los superficiales han disminuido continuamente, más bien se plantea la construcción de nuevas galerías, con el fin de incrementar la eficiencia.” (Aymerich, 2000).

1.9.2 Carretera Bogotá - Villavicencio, Colombia

“La carretera de Bogotá a Villavicencio en Colombia, fue afectada por un proceso de erosión y deslizamiento, causando graves daños a la vía y al medio ambiente. Además de obras para el control del agua superficial, se construyó una galería de 407 m de longitud, con una sección de 6,7 m², con revestimiento de concreto de 2 a 3 capas de 5 cm de espesor, con malla electrosoldada y pernos radiales.

La excavación atravesó 280 m por una capa de material cizallado y descompuesto y el resto por material de mejor calidad con un rendimiento de 1,0 m/día y de 0,50 m/día, respectivamente. Se perforó un total de 1300 m de drenes de penetración desde la galería con longitudes entre los 10 y 50 m, labor que no fue fácil, pues sólo el 80% de los drenes previstos se pudo efectuar. La galería aporta un caudal de 2,2 l/s, y ha contribuido a reducir la tasa del deslizamiento. Esta obra tuvo un costo superior al medio millón de dólares.” (Aymerich, 2000).

1.9.3 Campo Vallemaggia, Suiza

“En el pueblo de Campo Vallemaggia se encuentra uno de los deslizamientos más grandes de Suiza. La masa en movimiento tiene un volumen superior a los 150 millones de m³. Luego de investigaciones, se determinó que el agua subterránea a presión, es la causa de los movimientos.

Para reducir la presión del agua a niveles aceptables, se construyó una galería de drenaje en el estrato de roca sana que se encuentra subyacente al deslizamiento, dejando una cobertura de 35 m de la roca para eliminar cualquier riesgo durante la excavación.

Para aumentar el efecto de alivio de presiones y drenaje, se perforaron drenes subverticales que llegan hasta la masa en movimiento. De esta forma se logra captar unos 10 l/s con el agua que se filtra por las paredes de la galería y unos 30 l/s por los drenes longitudinales.

Durante este proceso, se han observado asentamientos en la superficie de hasta 25 cm en zonas donde los drenes son más activos. Esto no han producido mayor problema en las habitaciones del pueblo de Campo Vallemaggia, debido a la amplitud de la zona afectada.” (Aymerich, 2000).

En este caso, la masa en movimiento es menor que la que se tiene en Santiago (150 de m³ en comparación con 195 millones de m³).

1.9.4 Autopista Tijuana - Ensenada, México

“La autopista estuvo afectada por varios años por un deslizamiento, el cual se estabilizó con la construcción de 200 m de galería filtrante de 1,80 m de ancho y 2,3 m de alto, revestida de concreto y mampostería, con abanicos de drenes longitudinales en la periferia del techo.” (Aymerich, 2000).

Capítulo 2. Caracterización geológica y geotécnica

En este capítulo se describe la geología de la región donde se ubica la Ciudad de Santiago de Puriscal, así como varias de sus propiedades geotécnicas, basadas en las perforaciones llevadas a cabo por el MOPT, en los resultados de los análisis efectuados sobre muestras extraídas de estas mismas perforaciones y en los perfiles geoeléctricos disponibles de dos puntos de la ciudad.

2.1 Geología local

La secuencia litológica que aflora en la región de Puriscal, tiene una edad máxima de Mioceno Inferior, y corresponde a la Formación Pacacua, sobreyada por la Formación Peña Negra. La Formación La Cruz, del Mioceno Superior, se depositó sobre la secuencia sedimentaria. Esta formación es coronada por Depósitos Parálidos y tobas (Arias y Denyer en Jiménez, 2004).

La Formación Grifo Alto, del Plioceno-Pleistoceno, sobreyace a estas unidades, al igual que las ignimbritas de la Formación Avalancha Ardiente. Depósitos coluvio-aluviales del Pleistoceno, descansan sobre la estratigrafía anterior (Arias y Denyer en Jiménez, 2004).

La Ciudad de Santiago de Puriscal se encuentra cimentada sobre suelos de origen volcánico y lacustre (húmedales) que sobreyacen a rocas volcánicas y conglomerados del Mioceno Superior, pertenecientes a la Formación La Cruz y, sobre esta, con un espesor relativamente bajo (aparentemente no mayor a los 7 m) se encuentra la Formación Grifo Alto. Estas dos formaciones se describen en las Secciones 2.1.1 y 2.1.2, respectivamente.

Según la paleogeografía, junto con las erupciones volcánicas de hace cientos de años se originaron húmedales donde se acumuló materia orgánica (Ver Figura 2.1). Por debajo de estos suelos, cuyo espesor varía entre cero y siete metros (Formación Grifo Alto), se encuentra un suelo limo-arcilloso de espesores entre los 20 y los 40 metros.

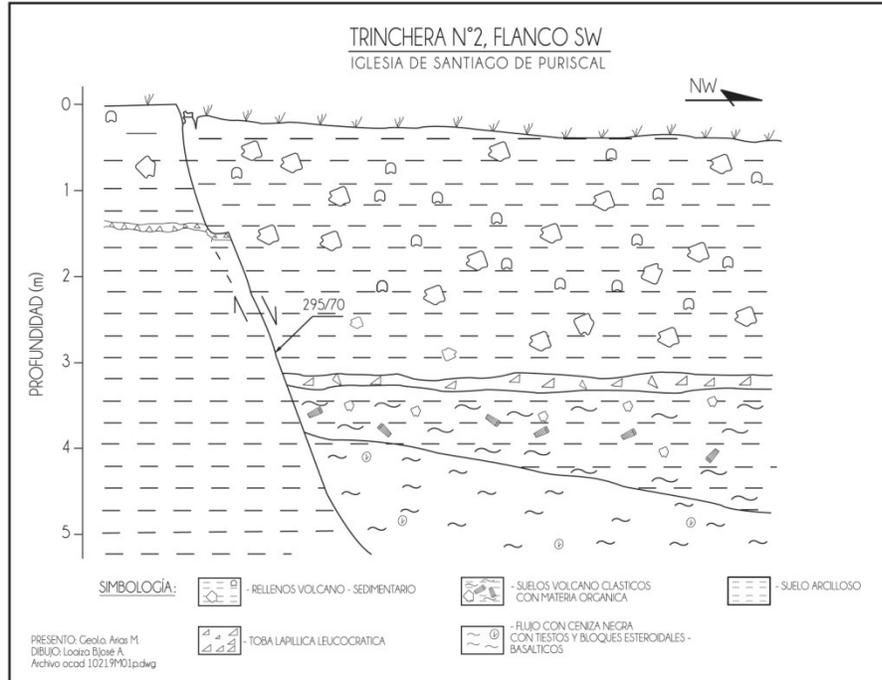


Figura 2.1 Perfil de terreno de la Iglesia de Santiago de Puriscal

Fuente: (Bolaños, y otros, 2007).

Estos suelos se han formado debido a la meteorización y alteración hidrotermal de las rocas de la Formación La Cruz. Se tiene evidencia del hidrotermalismo en la zona debido al análisis de perfiles de resistividad eléctrica realizados en el Polideportivo de Santiago y en la Escuela Darío Flores (Sección 2.2). Según estos, la resistividad disminuye con la profundidad y llega a su mínimo en el contacto entre el basamento rocoso y el suelo saprolítico (Bolaños, y otros, 2007)

En el deslizamiento se presenta un clásico perfil de meteorización formado por cuatro capas: la roca madre de formación ígnea en la capa inferior, la roca muy alterada en la capa media inferior, un suelo saprolítico en la capa media superior y un suelo residual maduro en la capa superior (González M. , 1996).

Estos suelos, como se mencionó anteriormente, están formados por limos y arcillas que contienen cantidades apreciables de caolinita y probablemente también de montmorillonita y smectita (González M. , 1996). Estos minerales se encuentran en suelos con características de baja resistencia y alta plasticidad.

2.1.1 Formación La Cruz

Como parte de la descripción litológica se tiene que las principales formaciones geológicas de la región corresponden al Grupo o Complejo Aguacate (que tienen su origen en el "Complejo Volcánico de los Montes del Aguacate"), compuesto por las Formaciones Grifo Alto y La Cruz. Sin embargo, es la Formación la Cruz, principalmente, la que sirve de base a la Ciudad de Santiago, como se mencionó anteriormente.

Esta formación está compuesta por coladas de basalto y leucobasalto, con espesores promedio de 20 a 30 m. Es frecuente encontrar gran cantidad de amígdalas de 2 mm a 1 cm de diámetro, rellenas de ceolitas y calcita. En ciertos sectores se han localizado basaltos columnares.

Se incluye en esta formación sedimentos parálicos, descritos como estratos métricos conglomerados de matriz arenosa y areniscas volcanoclásticas pardas de grano medio y grueso, con intercalaciones de tobas de colores rojos y violáceos; con granulometrías de arena media a fina hasta limo, que se presenta en paquetes que rara vez sobrepasan los 10 m. También hay presencia de carbón en forma de estratos de lutita carbonosa en la parte superior de la secuencia (Peraldo, 1996).

Esta formación se inicia como un grupo de lavas predominantemente basálticas y tobas, para culminar con depósitos sedimentarios continentales marinos definidos como "depósitos parálicos", como se mencionó anteriormente. Aflora en parte de las áreas que comprenden las hojas cartográficas Candelaria, Caraiques, Río Grande, Abra y Tapantí (IGN, escala 1:50 000) (Bolaños, y otros, 2007).

En la zona de Puriscal afloran los depósitos parálicos, que han sido definidos como "un cuerpo lenticular que se extiende en dirección este-oeste, con una extensión cercana a los 12 km (Hoja Candelaria)". Estos depósitos se adscriben a la Formación La Cruz "por considerar que culminan un episodio predominantemente volcánico" (Bolaños, y otros, 2007).

2.1.2 Formación Grifo Alto

La Formación Grifo Alto está conformada por un grupo de rocas volcánicas andesíticas, eventualmente basálticas y piroclásticas que sobreyacen a los depósitos sedimentarios y volcánicos post basculamiento. Son producto de un vulcanismo más explosivo que La Cruz; los flujos piroclásticos suelen contener bloques de lava y escorias decimétricas. Estas rocas son gruesas, generalmente angulosas y de coloraciones que van de gris a rojizo.

“Los flujos piroclásticos presentan a veces una granulometría gruesa, con bloques lávicos y escoriáceos decimétricos, angulares y raramente redondeados; el sostén es por matriz lodosa. Indican que esta matriz se encuentra “cocida”, lo que evidencia una depositación “en caliente” (mayor a 100 °C).” (Jiménez, 2004).

2.2 Geofísica

Se cuenta con dos perfiles geoelectricos: uno realizado en la Escuela Darío Flores y otro en el Polideportivo de Santiago. Ambos consisten en ocho sondeos verticales con los que se logró estudiar la masa hasta una profundidad de 85 y 90 metros, respectivamente (Geofísico Germán Leandro, en González, M. 1996).

2.2.1 Perfil geoelectrico de Escuela Darío Flores

Se definen esencialmente tres capas: la capa inferior que consiste en un basamento con resistividades de 20 a 50 Ω/m compuesto de rocas ígneas con posibles lavas, aglomerados y otros. Se caracteriza por presentar irregularidades importantes limitadas por anomalías geoelectricas. La capa intermedia, conformada por materiales de resistencias muy bajas de entre 3 y 15 Ω/m que pueden tratarse de lentes arcillosos y capas de roca meteorizada con pocos fragmentos sanos. Por encima de estos, materiales de altas resistencias de entre 20 y 150 Ω/m , en las capas superficiales de suelo.

Cuadro 2.1 Perfil geoelectrico de la Escuela Darío Flores

Capa	Profundidad (m)	Espesor máximo (m)	Resistividad (Ω/m)
1	13	13	30 - 300
2	55	20	13 - 20
3	40	15	5 - 8
4	55	45	10 - 20
5	85	25	3 - 6
6	-	-	20 - 40

Fuente: Germán Leandro en (Peraldo, 1996).

La Capa 3 del Cuadro 2.1 es la formada por los lentes arcillosos mencionados anteriormente, y la Capa 6 es el basamento.

2.2.2 Perfil geoelectrico de Polideportivo

En esta ocasión se distinguen cuatro capas distintas: un basamento ígneo con resistividades que oscilan entre 30 y 40 Ω/m . Sobre este basamento se tiene un espesor considerable de materiales con resistividades bajas de entre 5 y Ω/m y que fue interpretado como lentes y capas muy arcillosas, posiblemente rocas ígneas muy meteorizadas.

Inmersos en esa masa se encontraron grandes bloques de roca sana que presentaron resistividades de 50 Ω/m . Y en la sección superior se tienen capas de relativa alta resistividad (entre 30 y 150 Ω/m) que son capas superficiales de limos arcillosos reptados y fallados, sobre el nivel freático.

Cuadro 2.2 Perfil geoelectrico del Polideportivo

Capa	Profundidad (m)	Espesor máximo (m)	Resistividad (Ω/m)
1	10	10	30 – 150
2	20	15	20 – 30
3	55	45	10 – 20
4	90	35	3 – 8
5	45	10	30 – 50
6	-	-	20 - 40

Fuente: Germán Leandro en (Peraldo, 1996).

La Capa 5 del Cuadro 2.2 hace referencia a los bloques de roca sanos dentro del material arcilloso y la Capa 6 al basamento ígneo.

De la interpretación de estos dos perfiles es importante destacar los siguientes puntos:

- La distribución de ambos perfiles es similar.
- Las capas de baja resistividad presentan un espesor entre 45 y 80 m.
- Los valores de resistividad del basamento son bajos, lo cual indica una transición entre el material inestable y el estable.
- Ambos perfiles presentan anomalías geoelectricas que pueden interpretarse como fallamiento del basamento.

Estos datos guardan mucha relación con la reconstrucción estratigráfica obtenida de las perforaciones con las que se realizó este trabajo. Esto se puede verificar principalmente con las perforaciones más profundas, que fueron las realizadas por el MOPT y las cuales resultaron ser las más importantes para todos los cálculos que se explican en el Capítulo 4.

2.3 Estratigrafía

Se cuenta con un perfil que ubica la superficie del deslizamiento entre los 15 y 20 m de profundidad (González M. , 1996), con base en el cual se pueden identificar cuatro estratos. Los tres primeros con la información obtenida de las perforaciones y el cuarto gracias a las interpolaciones geológicas que se explicaron anteriormente.

Estas capas se explican a continuación:

Capa 1: suelo superficial de origen residual maduro, con características limo - arcillosas. Su espesor promedio es de alrededor de 8 m.

Capa 2: suelo saprolítico formado por un material cohesivo (limo arcilloso), con trazas de roca de origen ígneo. Tiene un espesor que varía entre los 7,5 m y los 20 m.

Capa 3: roca muy alterada de origen ígneo que se encuentra por debajo de la Capa 2, a una profundidad media de 40 m, con espesores entre los 12 m y los 15 m.

Capa 4: roca sana de origen ígneo, principalmente tobas, brechas, lavas y aglomerados. Se encuentra a aproximadamente 50 m de profundidad y tiene un espesor indefinido.

Para efectos de los cálculos que se realizaron en el Capítulo 4, se utilizaron los valores que se indican en cada una de las perforaciones que se muestran en los anexos. Sin embargo es bueno que el lector se haga una idea de los rangos dentro de los que varía cada capa.

A continuación se muestra el modelo geotécnico que se definió a partir de las perforaciones y que ilustra la estratigrafía anteriormente explicada. Los espesores de las capas varían según cada sitio, por lo que se indica el rango en que se encuentra cada uno.

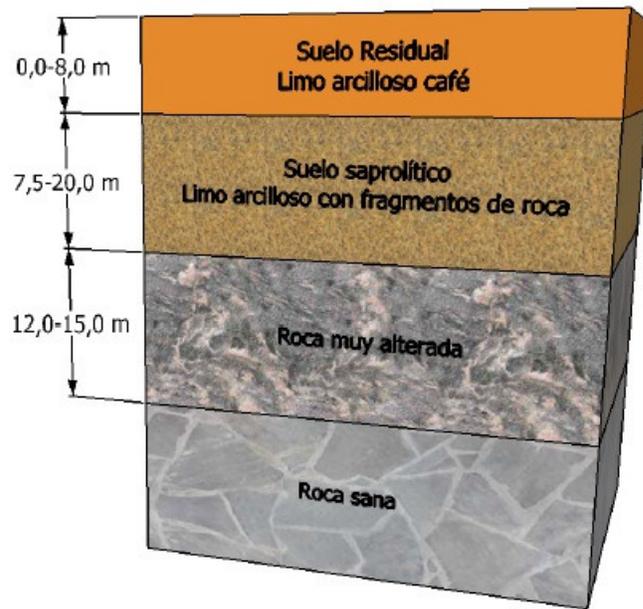


Figura 2.2 Modelo geotécnico

Como se puede apreciar en la Figura 2.2, los espesores de cada una de las capas varían a lo largo de la Ciudad de Santiago de Puriscal. La capa superficial, de suelo residual finaliza en promedio a una profundidad de 8,0 m. La capa de suelo saprolítico llega hasta una profundidad entre los 15,5 y los 28 metros aproximadamente. A partir de esta la capa de roca muy alterada, cuya profundidad varía entre los 40 y los 45 metros aproximadamente, para dar paso a la capa de roca sana de espesor indefinido.

El nivel freático también varía según cada sitio, entre los 2,5 y los 33 metros de profundidad.

2.4 Propiedades físicas

2.4.1 Tamaño de partículas

El Cuadro 2.3 muestra los porcentajes de finos obtenidos de algunas muestras de las perforaciones del MOPT.

Cuadro 2.3 Porcentaje de finos en las muestras de perforaciones del MOPT

Perforación	% Finos
Parque	90,2
Liceo	83,0
Aserradero	71,7
Polideportivo	72,1
Polideportivo 2	75,3
Estadio	87,6
Hogar de Ancianos	72,2

Fuente: Aymerich (2000).

2.4.2 Peso volumétrico

El Cuadro 2.4 muestra los valores de peso volumétrico (γ_T) en ton/m³ obtenidos de las perforaciones del MOPT.

Cuadro 2.4 Peso volumétrico de las muestras en las perforaciones del MOPT

Perforación	Peso volumétrico (γ_T ton/m ³)		
	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Parque	1,52	1,85	1,65
Liceo	1,60	2,00	1,76
Aserradero	1,44	2,06	1,81
Polideportivo	1,25	2,00	1,71
Polideportivo 2	1,63	2,12	1,88
Estadio	1,25	2,00	1,61
Hogar de Ancianos	0,90	1,88	1,62

Fuente: Aymerich (2000).

De acuerdo con estos datos, se determina que el porcentaje de material que pasa la malla 200 es alto, ya que todos los valores son mayores a 50%. Por eso se puede afirmar que los suelos de Santiago de Puriscal son de grano fino.

2.4.3 Relación de vacíos

El Cuadro 2.5 muestra los valores de relación de vacíos (e) obtenidos de las perforaciones del MOPT.

Cuadro 2.5 Relación de vacíos de las muestras en las perforaciones del MOPT

Perforación	Relación de vacíos (e)		
	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Parque	1,10	1,90	1,60
Liceo	0,80	1,50	1,16
Aserradero	0,70	1,94	1,11
Polideportivo	0,75	2,75	1,37
Polideportivo 2	0,70	1,63	1,09
Estadio	0,80	1,75	1,36
Hogar de Ancianos	0,88	2,70	1,49

Fuente: Aymerich (2000).

Los valores promedio de la relación de vacíos son característicos de materiales cohesivos.

2.4.4 Saturación

Bajo el nivel freático los suelos se encuentran saturados, debido a que sus espacios vacíos están llenos de agua. En el caso de suelos finos, es probable que también se encuentren saturados por encima del nivel freático, debido al efecto de ascensión capilar en los poros más pequeños, principalmente.

El grado de saturación del suelo en Santiago de Puriscal es generalmente muy alto, con promedios entre 95% y 100%, lo que indica que todo el espacio de vacíos se encuentra lleno de agua. Estos datos también fueron obtenidos de las perforaciones del MOPT, de las cuales, la que se hizo en el Estadio de Santiago es la que presenta el promedio más

bajo de S, con 94%. Mientras tanto, el resto de perforaciones presentan valores cercanos al 100%, como se puede apreciar en el Cuadro 2.6.

Cuadro 2.6 Grado de Saturación (S) de las muestras en las perforaciones del MOPT

Perforación	Profundidad (m)	Mínimo	Máximo	Promedio
Parque	4 y 8	95	100	98
Liceo	17	82	100	94
Aserradero	14	96	100	99
Polideportivo	7	66	100	94
Polideportivo 2	4	91	100	98
Estadio	16	56	100	88
Hogar de Ancianos	6,8	67	100	93

Fuente: Peraldo (1996).

2.5 Consistencia del suelo

2.5.1 Resistencia a penetración estándar

El Cuadro 2.7 muestra los valores de la prueba SPT obtenidos durante las perforaciones realizadas por el MOPT, así como una descripción, basada en estos valores, de la consistencia de las diferentes capas, realizada por Peraldo (1995).

Cuadro 2.7 Consistencia del suelo según su N_{SPT} para perforaciones del MOPT

Perforación	Intervalo	N_{SPT} (promedio)	Consistencia
Parque	0-24	6	Media
	24-30	17	Semidura
	>30	100	Rígida
Liceo	0-5	10	Semidura
	5-12	4	Blanda
	>18	30	Dura
Aserradero	0-11	7	Media
	11-15	18	Semidura
	>26	58	Rígida
Polideportivo 1	0-23	6	Media
	>29	45	Rígida
Polideportivo 2	0-14	15	Media
	14-32	60	Rígida
Estadio	0-4	36	Rígida
	4-26	13	Media
	>26	100	Rígida
Hogar de Ancianos	0-10	8	Semidura
	10-22	20	Dura

Fuente: Giovanni Peraldo, en (Aymerich, 2000).

2.5.2 Índice de fluidez

En el Cuadro 2.8 se muestran los valores promedio de los datos que fueron utilizados para calcular, utilizando la Ecuación 6, el índice de fluidez de las muestras obtenidas en las perforaciones del MOPT.

Cuadro 2.8 Valores utilizados para el cálculo del I_f en muestras de perforaciones del MOPT

Perforación	Humedad (w%)	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Fluidez I_f
Parque	59,00	71,00	40,00	0,61
Liceo	42,22	61,25	36,56	0,23
Aserradero	44,13	46,96	32,12	0,81
Polideportivo	51,25	64,62	35,35	0,54
Polideportivo 2	39,32	57,08	36,70	0,13
Estadio	47,33	67,50	33,10	0,41
Hogar de Ancianos	52,08	70,00	37,50	0,45

Fuente: Aymerich (2000).

Todos los valores de I_f mostrados son menores a 1, por lo que podría considerarse que el suelo presenta un comportamiento semi-sólido. Por el contrario, los suelos con índices de fluidez mayores a 1 se comportan como una masa fluida muy inestable.

2.6 Hidrogeología

Luego del enjambre sísmico de 1990, mediante pozos excavados artesanalmente, se midió un nivel freático bastante somero, entre 3 y 7 m de profundidad y con importantes variaciones estacionales. Sin embargo, fue hasta después de las perforaciones realizadas por el MOPT que se observó un confinamiento de los niveles freáticos (Jiménez, 2004).

El ICE realizó mediciones de nivel freático en algunas de las perforaciones del MOPT. El Cuadro 2.9 muestra los valores de nivel freático y las fechas en que se realizaron las mediciones. En el Mapa 3.1 se muestra la ubicación de estas perforaciones.

Cuadro 2.9 Mediciones de nivel freático en perforaciones del MOPT

Fecha	Aserradero	Poli. 1	Poli. 2	Parque	Hogar de ancianos	Estadio
10/04/1991	3,05	7,00	-	6,30	-	-
29/05/1991	2,76	3,77	25,95		-	-
11/07/1991	2,42	4,17	24,46	4,06	-	33,60
20/08/1991	3,16	5,80	26,03	5,04	2,93	33,75

Fuente: Arias y Zumbado, Depto. Geología, ICE en (Peraldo, 1996).

Hacia el contacto entre la Formación Grifo Alto y la Formación La Cruz se presentan especiales alteraciones hidrotermales que generan una zona limo arcillosa, por lo que se experimenta un aumento de permeabilidad en las cercanías a esta zona. Esta permeabilidad actúa de manera similar a un sello que genera acuíferos superficiales y de recarga inmediata (Bolaños, y otros, 2007).

Por lo anterior, la zona no presenta un acuífero regional superficial, sino que existe un predominio de acuíferos libres o confinados en depósitos no consolidados que se ubican en rocas porosas con importancia hidrogeológica relativamente grande y bajas permeabilidades (Jiménez, 2004).

En otras palabras, se tienen pequeños acuíferos colgados cerca de la superficie y acuíferos confinados en las partes más profundas (Peraldo, 1996), por lo que es normal encontrar el nivel freático a muy poca profundidad (de 2 a 3 m).

Se conoce la existencia de al menos doce manantiales dentro del área urbana de Santiago, lo que evidencia la frecuente intersección del nivel freático con la superficie. Sin embargo, este es un fenómeno estacional y que además presenta una rápida recarga de los acuíferos.

Las fracturas producto del arreglo geológico estructural propio de la región, han favorecido la infiltración de las aguas en algunos puntos, que atraviesan la zona relativamente impermeable y que facilitan la formación de acuíferos a profundidades mayores, posiblemente a más de 40 m (Bolaños, y otros, 2007).

Es probable que estos fracturamientos hayan producido que se secaran varias nacientes de las que eran utilizadas por los pobladores de Santiago antes de 1916 (Peraldo, 1996), de lo cual en ese momento no se tenía explicación. Esto podría deberse a la poca dimensión de los acuíferos superficiales, que los hace susceptibles a ser drenados por el fracturamiento asociado con la actividad sísmica.

2.6.1 Permeabilidad

De la permeabilidad se tienen tres mediciones, una obtenida de un estudio hidrogeológico realizado por el Departamento de Hidrogeología del SENARA, otra realizada por el geólogo Fernando Molina con base en una prueba de bombeo de un pozo perforado por el MAG en las cercanías del Estadio de Santiago y la tercera realizada por el ICE (Aymerich, 2000).

De la primera medición se obtuvo un valor de permeabilidad de 2,4 cm/día. De la segunda medición se obtuvo un valor de 17,04 cm/día (González M. , 1996). De la tercera se obtuvieron permeabilidades entre los 30 cm/día y los 225 cm/día. Estos valores son bajos, debido al alto porcentaje de fracción fina existente en Santiago; sin embargo, se pueden considerar normales para suelos cohesivos.

Capítulo 3. Ensayos de laboratorio

Este capítulo explica los ensayos de laboratorio realizados en este proyecto, describe la forma en que se realizaron los muestreos y los sitios de los que se obtuvieron las muestras.

La ubicación de estos sitios se muestra en el Mapa 3.1, en el cual se ubican también las perforaciones con las que se realizaron los cálculos de asentamientos, para que así se pueda observar la cercanía entre ellos.

Se realizaron ensayos de gravedad específica, límites de Atterberg y consolidación. Todos estos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de LanammeUCR.

3.1 Obtención de las muestras

El muestreo consistía en remover una porción de mínimo 50 cm de la capa superficial, para luego introducir tubos *Shelby*, aplicando ligeros golpes de mazo, cuidando proteger el tubo con piezas de madera y así evitar al máximo la alteración de las muestras, con las que luego se realizaron los ensayos de consolidación.



Figura 3.1 Remoción de sección de 50 cm de material superficial



Figura 3.2 Introducción de *tubo Shelby*

Adicional a esto se extrajeron, a la misma profundidad que las anteriores, muestras de material suelto, en cantidad suficiente para realizar los ensayos de gravedad específica y límites de Atterberg.

Este procedimiento se llevó a cabo en siete puntos alrededor de la Ciudad de Santiago, que se muestran en el Mapa 3.1, junto con la ubicación de las perforaciones. Los puntos de muestreo aparecen numerados en el mapa, mientras que las perforaciones son las señaladas como P1, P2, y así sucesivamente hasta P12.

A continuación se hace una breve descripción de los siete puntos de muestreo:

3.1.1 Punto de Muestreo 1

Se ubica en un área verde a aproximadamente 200 m en dirección noreste de la Estación de Bomberos de Puriscal.

El material obtenido en este punto fue el que más se diferenciaba del resto de las muestras, debido a su color grisáceo y a su apariencia porosa y consistencia suelta. Los resultados de los ensayos de consolidación de este punto también fueron diferentes que los demás, que en general presentaron una misma tendencia.



Figura 3.3 Punto de Muestreo 1

3.1.2 Punto de Muestreo 2

Este punto se ubica dentro de las instalaciones de la Estación de Bomberos de Puriscal, en el sector este de la zona de estudio.



Figura 3.4 Punto de Muestreo 2

3.1.3 Punto de Muestreo 3

Se ubica al oeste de la zona de estudio, en las instalaciones del Polideportivo de Santiago de Puriscal.



Figura 3.5 Punto de Muestreo 3

3.1.4 Punto de Muestreo 4

Se ubica a aproximadamente 100 m hacia el oeste del Mercado Municipal de Puriscal, en un punto a la orilla de la calle.



Figura 3.6 Punto de Muestreo 4

3.1.5 Punto de Muestreo 5

Se ubica dentro de las instalaciones del Estadio Municipal de Puriscal. El muestreo se realizó sobre un talud en el sector norte del estadio.



Figura 3.7 Punto de Muestreo 5

3.1.6 Punto de Muestreo 6

Se ubica al norte de la ciudad. Su objetivo fue cubrir el contorno de la zona de estudio. La extracción se hizo en un lote baldío del Barrio "La Cabaña".



Figura 3.8 Punto de Muestreo 6

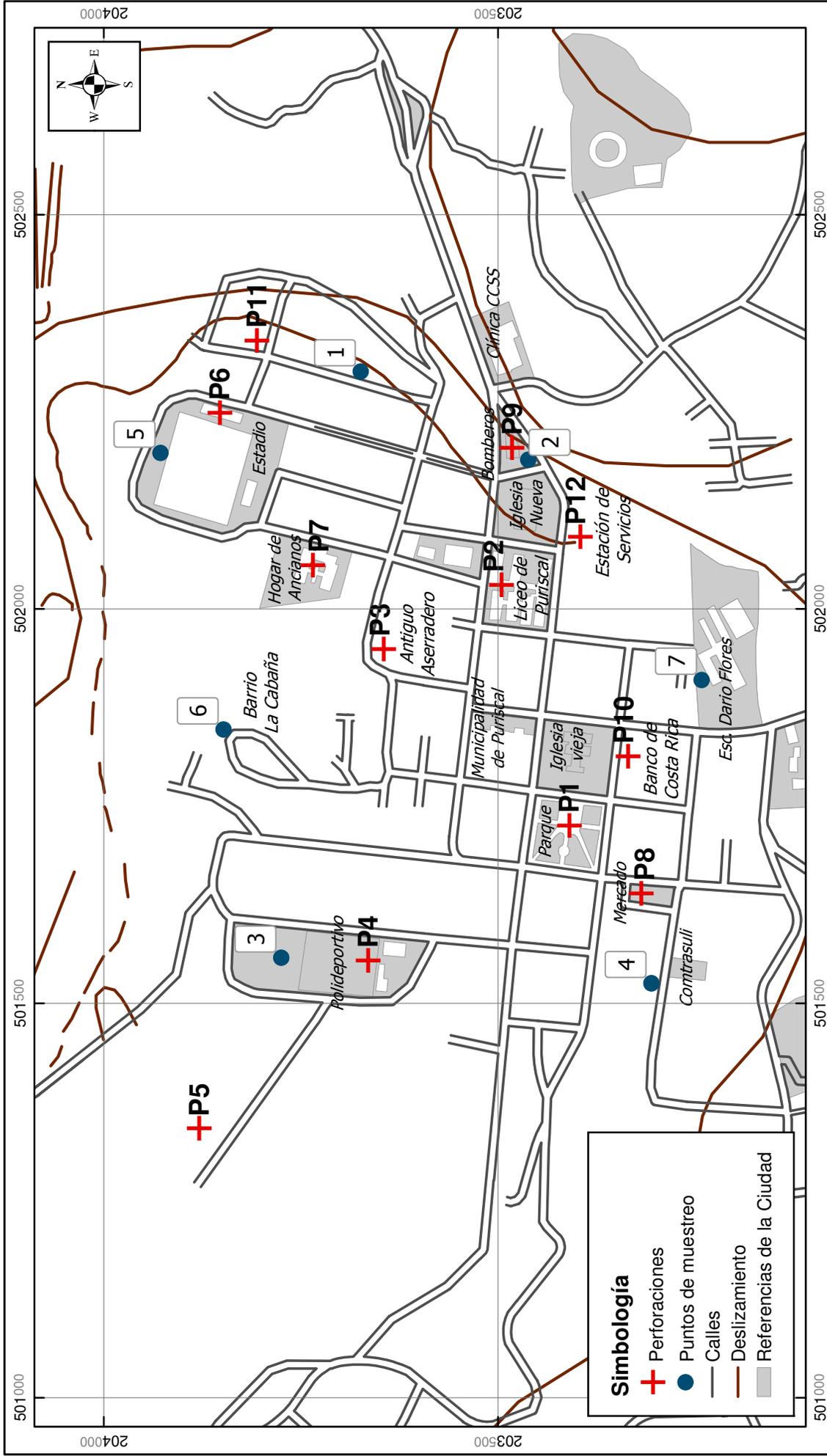
3.1.7 Punto de Muestreo 7

Se ubica dentro de las instalaciones de la Escuela Darío Flores.



Figura 3.9 Punto de Muestreo 7

Como se menciona al inicio del capítulo, en el Mapa 3.1 se señala la ubicación de los puntos de muestreo y de las perforaciones.



3.2 Gravedad específica

La gravedad específica de un suelo es la relación del peso, al aire, de un determinado volumen de suelo a una cierta temperatura, y el peso al aire, de un volumen igual de agua destilada, a la misma temperatura, que en este caso fue de 23 °C (Cordero, 2008).

El ensayo utilizado para obtener este parámetro en todas las muestras de suelo ensayadas para la elaboración de este proyecto cubre la determinación de la gravedad específica de suelos sólidos que pasan la malla de 4,75 mm (Malla No. 4), mediante el uso de un picnómetro con agua.

Este ensayo se llevó a cabo de conformidad con la norma ASTM D854 – 10 "*Método estándar de ensayo para Gravedad Específica de Suelos Sólidos mediante picnómetro*".

La obtención de la gravedad específica fue necesaria no solamente por su importancia geotécnica básica, sino también por ser un parámetro requerido para los ensayos de consolidación, que son los de mayor importancia para los objetivos de este proyecto en particular.

Se ensayaron las muestras obtenidas de los siete puntos que aparecen en el Mapa 3.1. Sin embargo, se realizaron dos ensayos para cada una de las muestras, con los que se obtuvo un valor promedio de gravedad específica en cada punto.

La norma explica dos métodos, el Método A "Procedimiento para muestras húmedas" y el Método B "Procedimiento para muestras secas al horno". El utilizado en este proyecto fue el Método B.

En la Figura 3.10 se tienen las muestras secas al horno, pasando la malla No. 4, de todos los puntos de muestreo, en el orden habitual, de la 1 a la 7.



Figura 3.10 Muestras para gravedad específica

Como se puede apreciar, cada una de estas muestras presenta una coloración diferente. Sin embargo, la que más se diferencia del resto es la del Punto de Muestreo 1, de un color gris claro.

3.2.1 Resultados de ensayos de Gravedad Específica

La gravedad específica se calcula según la Ecuación 16.

$$G_s = \frac{W_s}{(W_s + W_1 - W_2)} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

W_s = Peso del suelo, se obtiene restándole el peso de la cápsula al peso de la cápsula más la muestra.

W_1 = Peso de la cápsula más la muestra

W_2 = Peso del picnómetro con agua más muestra

Cuadro 3.1 Resultados de ensayos de gravedad específica

Punto	G _s	G _s Promedio
1	2,66	2,63
	2,60	
2	2,75	2,76
	2,76	
3	2,52	2,54
	2,56	
4	2,67	2,71
	2,75	
5	2,62	2,64
	2,66	
6	2,64	2,65
	2,65	
7	2,57	2,62
	2,68	

Como se puede apreciar, los valores obtenidos en cada caso no presentan mayores diferencias, por lo que es válido utilizar como valor final un promedio para ambas. Todos los valores de gravedad específica obtenidos, se encuentran dentro del rango esperado para suelos finos.

3.3 Límites de Atterberg

El límite líquido y el límite plástico de suelos (junto con el límite de contracción) son a menudo conocidos como Límites de Atterberg. Estos límites distinguen las fronteras de varios estados de consistencia de los suelos plásticos.

El límite líquido es el contenido de humedad, en porcentaje, para que un suelo se encuentre entre las fronteras arbitrariamente definidas de los estados líquido y plástico; mientras que el límite plástico es el contenido de humedad, en porcentaje, para que un suelo se encuentre entre las fronteras arbitrariamente definidas de los estados plástico y semi-sólido.

El índice de plasticidad es el rango de contenido de humedad al cual el suelo presenta un comportamiento plástico. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Los ensayos para obtener estos parámetros se llevaron a cabo de conformidad con la norma ASTM D4318 – 10 "*Método estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos*".

La norma explica dos métodos para la preparación de muestras, el *Método Húmedo* y el *Método Seco*. Así como también dispone de dos diferentes métodos para determinar el límite líquido, el Método A o "*Ensayo Multipunto*" y el Método B o "*Ensayo Unipunto*".

Se utilizó el primero en ambos casos, por lo tanto, para la preparación de las muestras se utilizó el *Método Húmedo* y para determinar el límite líquido el "*Ensayo Multipunto*".

En la Figura 3.11 se tienen las muestras pasando la malla de 425- μm (Malla 40) para todos los puntos de muestreo, en el orden habitual, de la 1 a la 7, listas para llevar a cabo el ensayo, y seguidamente la imagen de las cápsulas con el material sobrante una vez finalizado el ensayo, en el mismo orden.



Figura 3.11 Muestras para Límites de Atterberg

El objetivo principal para la realización de estos ensayos, en principio fue utilizar sus parámetros para aplicar la metodología aproximada para el cálculo de asentamientos

que se incluye en el Marco Teórico. Sin embargo esto no fue necesario y no se llevó a cabo, como explica en la Sección 1.5.5.

3.3.1 Resultados de Límite Líquido

El límite líquido se calcula determinando las humedades necesarias para alcanzar tres rangos distintos de caídas de la cuchara de Casagrande: 25-35, 20-30 y 15-25. Se tiene que registrar el número de golpes exacto al cual se cierra la ranura, como se indica en la norma y luego determinar la humedad, para los tres casos.

El límite líquido se calcula al graficando la relación entre el contenido de humedad, w , y el correspondiente número de golpes o caídas, N , a escala semilogarítmica con el contenido de humedad como ordenadas a escala aritmética y el número de golpes como abscisas en escala logarítmica, y luego trazando la recta de mejor ajuste entre los tres o más puntos graficados.

Luego se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea de la abscisa de la caída 25 como el límite líquido del suelo y se redondea al número entero más cercano. El Cuadro 3.2 resume estos resultados.

Cuadro 3.2 Límite líquido de todas las muestras

Punto	LL
1	78
2	74
3	82
4	72
5	70
6	74
7	68

3.3.2 Resultados de Límite Plástico

El límite plástico se determina calculando un promedio de los dos contenidos de humedad de los diferentes grupos de rollos de suelo que se realizan para este ensayo,

según la norma, y redondeando al entero más cercano. Este valor es el límite plástico. La diferencia entre el límite líquido y este corresponde al índice de plasticidad. El Cuadro 3.3 muestra estos resultados, a continuación.

Cuadro 3.3 Límite plástico e índice de plasticidad de todas las muestras

Punto	LP	IP
1	52,46	26
2	46,92	27
3	42,08	40
4	44,47	28
5	49,88	20
6	48,01	26
7	41,97	26

3.4 Consolidación

Este ensayo se llevó a cabo de conformidad con la norma ASTM D2435 – 04 "*Método estándar de ensayo de propiedades de un suelo en consolidación unidimensional utilizando incrementos de carga*".

En este procedimiento, una muestra de suelo es restringida lateralmente y cargada axialmente con incrementos de esfuerzos totales. Cada incremento de carga se mantiene hasta que el exceso de la presión de poro se disipe completamente, lo cual tarda menos de 24 horas en la mayoría de los casos. Este fue el tiempo entre cada incremento de carga en este proyecto en particular.

Durante el proceso de consolidación, se realizan medidas del cambio en altura del espécimen, con los que se determina la relación entre el esfuerzo efectivo, el volumen de vacíos o la deformación y la magnitud en que puede ocurrir la consolidación al evaluar el coeficiente de consolidación.

En la norma se incluyen dos procedimientos diferentes. En este proyecto se utilizó el Método B, según el cual se requieren lecturas de tiempo-deformación para todos los incrementos de carga.

Además, es importante aclarar que para este ensayo se utilizaron dos consolidómetros diferentes, los cuáles utilizaban diferentes cargas y los que se les aplicó un factor de carga distinto. A saber:

Consolidómetro 1 (CD-001)

Secuencia de carga: 0,5 kg - 1,0 kg - 2,0 kg - 4,0 kg - 8,0 kg - 16,0 kg.

Factor de carga: 10.

Consolidómetro 2 (CD-002)

Secuencia de carga: 0,096 kg - 0,192 kg - 0,385 kg - 0,771 kg - 1,544 kg - 3,09 kg.

Factor de carga: 20.

El consolidómetro utilizado en cada caso, así como los datos y cálculos iniciales de los ensayos de consolidación, se muestran en el Apéndice A.

3.4.1 Propiedades de Carga - Deformación

Las deformaciones para cada incremento de carga se tabularon y se procedió a calcular el cambio en la altura $\Delta H = d - d_0$, relativo a la altura inicial de la muestra en cada incremento, para determinar las relaciones de vacíos de cada uno, de la siguiente forma:

$$e = e_0 - \frac{\Delta H}{H_s} \quad \text{Ecuación 17}$$

Luego, se calcularon las deformaciones verticales, en porcentaje, y los esfuerzos verticales, para cada incremento de carga, con las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} * 100 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\sigma_v = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

P: carga aplicada en N

σ_v : esfuerzo vertical en kPa

Posteriormente se graficaron las curvas de consolidación, relación de vacíos - esfuerzo y Deformación unitaria - Esfuerzo, ambas con el eje de las abscisas, correspondiente al esfuerzo, en escala logarítmica. Estos gráficos fueron de gran importancia para alcanzar los objetivos de este proyecto, principalmente los de Relación de vacíos - Esfuerzo, debido a que a partir de estos se realizaron los cálculos de asentamientos, como se explica en el Capítulo 4.

A continuación se muestran los resultados de las propiedades de carga – deformación para todas las muestras. En los gráficos de relación de vacíos – esfuerzo se incluyen los esfuerzos de preconsolidación (σ_c) y los índices de compresión (C_c) de todas las muestras.

Cuadro 3.4 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 1

Carga (kg)	Deformación (mm)		H _{pastilla} (cm)		e _{carga}		σ_v		ε (%)	ε (%) _{acum}
	Inicial	Final	H ₀	H _f	e ₀	e _f	σ_v (kg/cm ²)	σ_v (kPa)		
	-	-	-	-	-	3,094	0,100	1,000		
0,5	0,3683	0,40513	2,472	2,432	3,094	3,027	0,1345	13,20	1,64	1,64
1,0	0,40513	0,62484	2,432	2,410	3,027	2,990	0,2691	26,40	0,90	2,54
2,0	0,62484	0,91313	2,410	2,381	2,990	2,942	0,5381	52,79	1,20	3,74
4,0	0,91313	1,3335	2,381	2,339	2,942	2,873	1,0763	105,58	1,77	5,50
8,0	1,3335	1,93929	2,339	2,278	2,873	2,773	2,1525	211,16	2,59	8,09
16,0	1,93929	2,71145	2,278	2,201	2,773	2,645	4,3051	422,33	3,39	11,48
8,0	2,71145	2,66446	2,201	2,206	2,645	2,653	2,1525	211,16	0,21	-
4,0	2,66446	2,60731	2,206	2,212	2,653	2,662	1,0763	105,58	0,26	-
2,0	2,60731	2,52984	2,212	2,219	2,662	2,675	0,5381	52,79	0,35	-
1,0	2,52984	2,44602	2,219	2,228	2,675	2,689	0,2691	26,40	0,38	-
0,5	2,44602	2,33553	2,228	2,239	2,689	2,707	0,1345	13,20	0,50	-

Las filas en color del Cuadro 3.4 y de los siguientes corresponden a los registros del procedimiento de descarga.

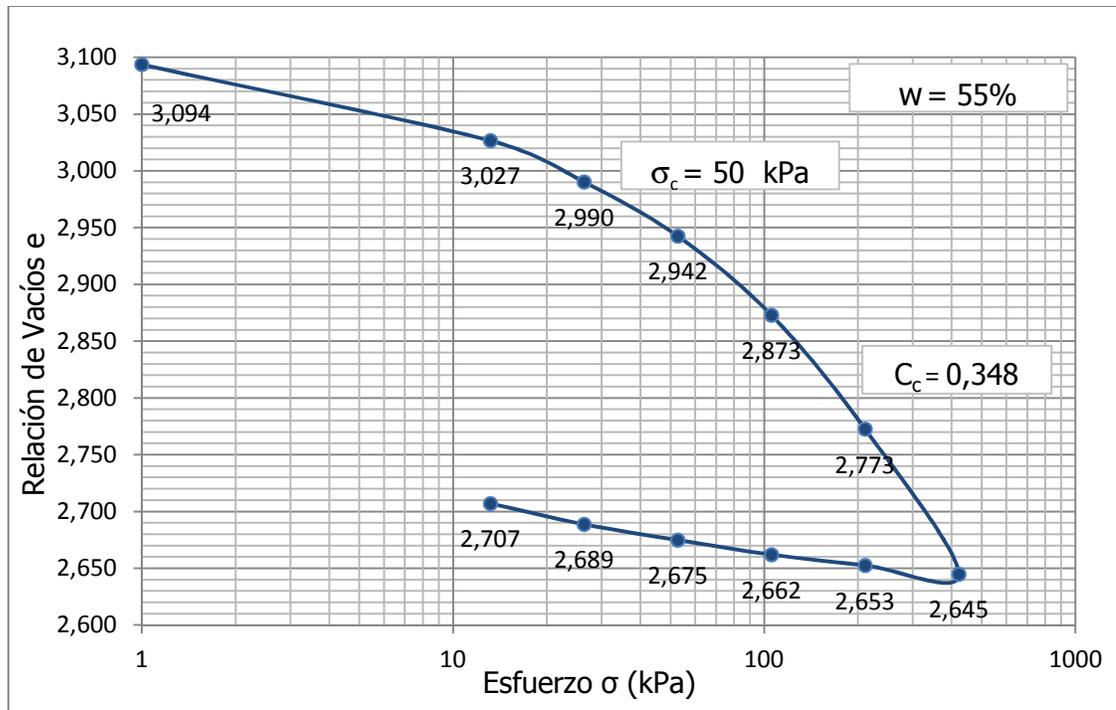


Figura 3.12 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 1

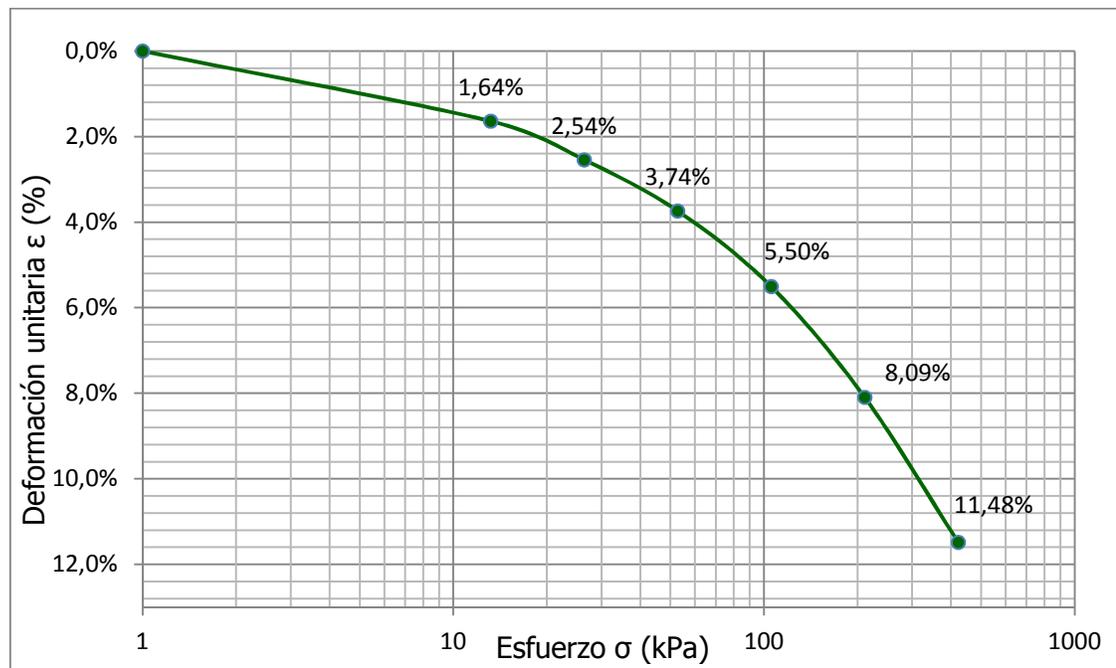


Figura 3.13 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 1

Es importante aclarar que los resultados obtenidos en el Punto de Muestreo 1 fueron descartados en los demás cálculos, ya que se alejaban mucho de los obtenidos en los demás sitios.

Cuadro 3.5 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 2

Carga (kg)	Deformación (mm)		H _{pastilla} (cm)		e _{carga}		σ _v		ε (%)	ε (%) _{acum}
	Inicial	Final	H ₀	H _f	e ₀	e _f	σ _v (kg/cm ²)	σ _v (kPa)		
	-	-	-	-	-	1,553	0,100	1,000	0,00	0,00
0,192	0,08128	0,09017	1,885	1,875	1,553	1,541	0,1229	12,06	0,48	0,48
0,385	0,09017	0,14732	1,875	1,870	1,541	1,533	0,2464	24,18	0,30	0,78
0,771	0,14732	0,28575	1,870	1,856	1,533	1,514	0,4935	48,42	0,74	1,52
1,544	0,28575	0,49784	1,856	1,835	1,514	1,486	0,9883	96,96	1,14	2,67
3,09	0,49784	0,79756	1,835	1,805	1,486	1,445	1,9780	194,04	1,63	4,30
6,183	0,79756	1,38303	1,805	1,746	1,445	1,366	3,9578	388,27	3,24	7,54
12,369	1,38303	2,2987	1,746	1,655	1,366	1,242	7,9176	776,72	5,24	12,79
6,183	2,2987	2,27203	1,655	1,657	1,242	1,245	3,9578	388,27	0,16	-
3,09	2,27203	2,22504	1,657	1,662	1,245	1,252	1,9780	194,04	0,28	-
1,544	2,22504	2,16027	1,662	1,668	1,252	1,260	0,9883	96,96	0,39	-
0,771	2,16027	2,10947	1,668	1,674	1,260	1,267	0,4935	48,42	0,30	-
0,385	2,10947	2,07645	1,674	1,677	1,267	1,272	0,2464	24,18	0,20	-
0,192	2,07645	2,04851	1,677	1,680	1,272	1,276	0,1229	12,06	0,17	-

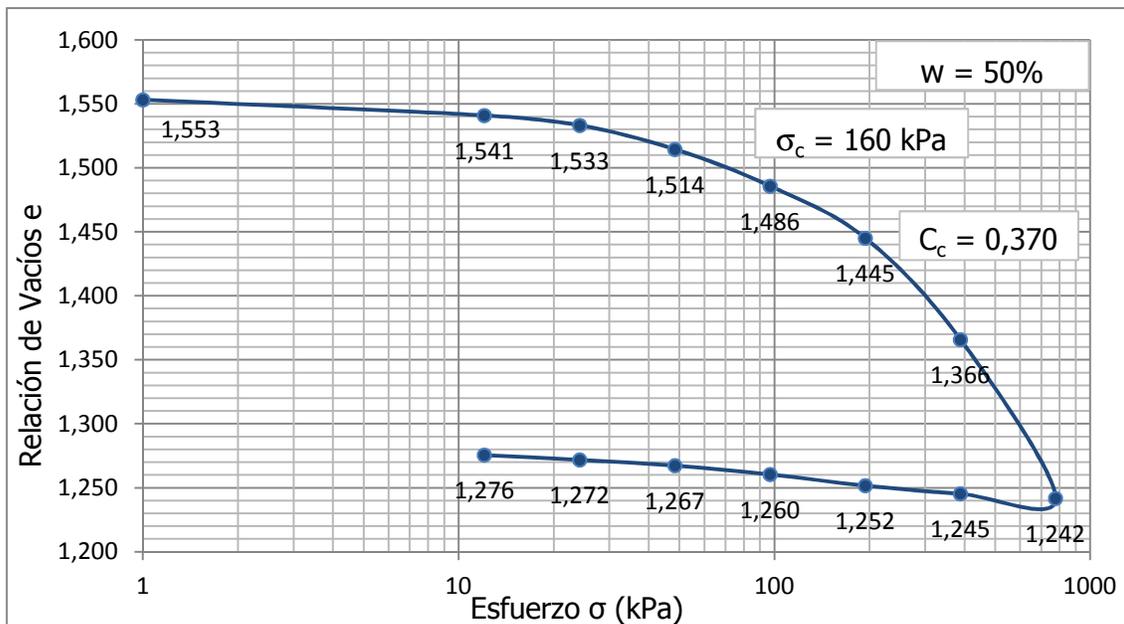


Figura 3.14 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 2

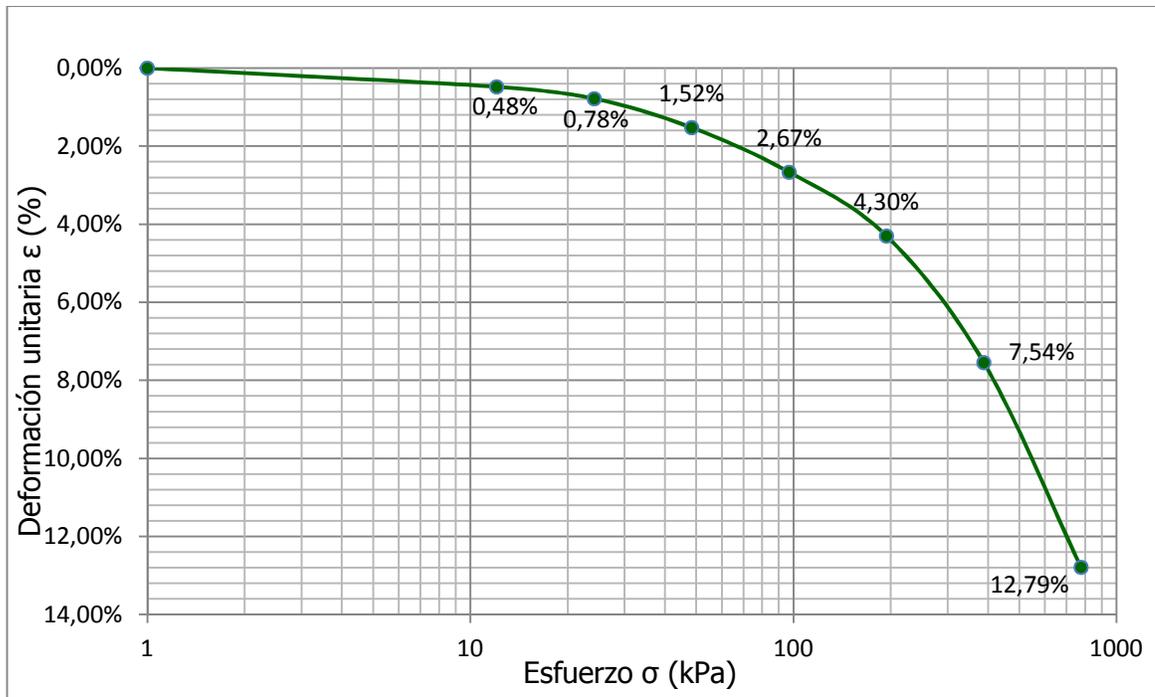


Figura 3.15 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 2

Cuadro 3.6 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 3

Carga (kg)	Deformación (mm)		$H_{\text{pastilla}}(\text{cm})$		e_{carga}		σ_v		ϵ (%)	ϵ (%) _{acum}
	Inicial	Final	H_0	H_f	e_0	e_f	σ_v (kg/cm ²)	σ_v (kPa)		
						1,396	0,010	1,000	0,00	0,00
0,096	0	0,09906	1,915	1,905	1,396	1,383	0,0626	6,14	0,52	0,52
0,192	0,09906	0,17272	1,905	1,897	1,383	1,374	0,1252	12,29	0,39	0,90
0,385	0,17272	0,3429	1,897	1,880	1,374	1,353	0,2511	24,64	0,90	1,80
0,771	0,3429	0,53086	1,880	1,861	1,353	1,329	0,5029	49,34	1,00	2,80
1,544	0,53086	0,7239	1,861	1,842	1,329	1,305	1,0072	98,80	1,04	3,84
3,09	0,7239	1,02616	1,842	1,812	1,305	1,267	2,0157	197,74	1,64	5,48
1,544	1,02616	1,0033	1,812	1,814	1,267	1,270	1,0072	98,80	0,13	-
0,771	1,0033	0,97155	1,814	1,817	1,270	1,274	0,5029	49,34	0,18	-
0,385	0,97155	0,93599	1,817	1,821	1,274	1,279	0,2511	24,64	0,20	-
0,192	0,93599	0,90551	1,821	1,824	1,279	1,283	0,1252	12,29	0,17	-
0,096	0,90551	0,87884	1,824	1,827	1,283	1,286	0,0626	6,14	0,15	-

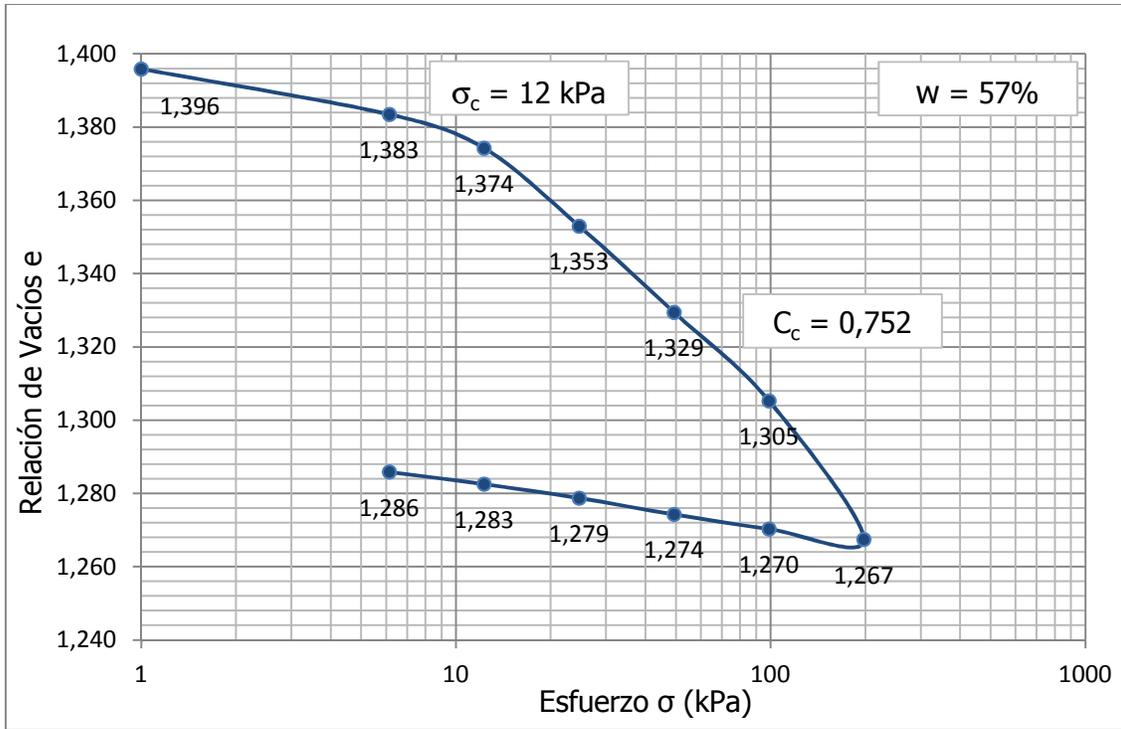


Figura 3.16 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 3

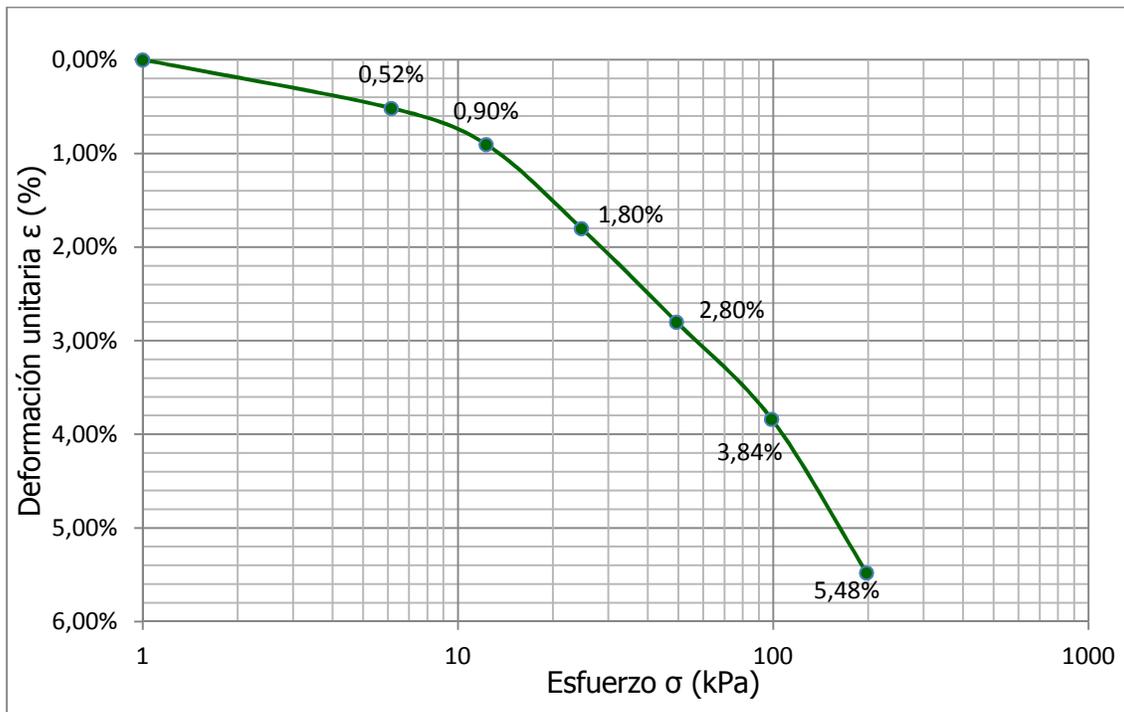


Figura 3.17 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 3

Cuadro 3.7 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 4

Carga (kg)	Deformación (mm)		H _{pastilla} (cm)		e _{carga}		σ _v		ε (%)	ε (%) _{acum}
	Inicial	Final	H ₀	H _f	e ₀	e _f	σ _v (kg/cm ²)	σ _v (kPa)		
						2,041	0,100	1,000		
0,5	0,000	0,140	2,494	2,480	2,041	2,024	0,165	16,18	0,56	0,56
1	0,140	0,234	2,480	2,471	2,024	2,013	0,330	32,36	0,38	0,94
2	0,234	0,465	2,471	2,448	2,013	1,985	0,660	64,72	0,94	1,87
4	0,465	0,974	2,448	2,397	1,985	1,923	1,319	129,43	2,08	3,96
8	0,974	1,707	2,397	2,324	1,923	1,833	2,639	258,86	3,06	7,01
16	1,707	2,565	2,324	2,238	1,833	1,729	5,277	517,72	3,69	10,71
8	2,565	2,503	2,238	2,244	1,729	1,736	2,639	258,86	0,28	-
4	2,503	2,388	2,244	2,255	1,736	1,750	1,319	129,43	0,52	-
2	2,388	2,360	2,255	2,258	1,750	1,754	0,660	64,72	0,12	-
1	2,360	2,286	2,258	2,266	1,754	1,763	0,330	32,36	0,33	-
0,5	2,286	2,192	2,266	2,275	1,763	1,774	0,165	16,18	0,41	-

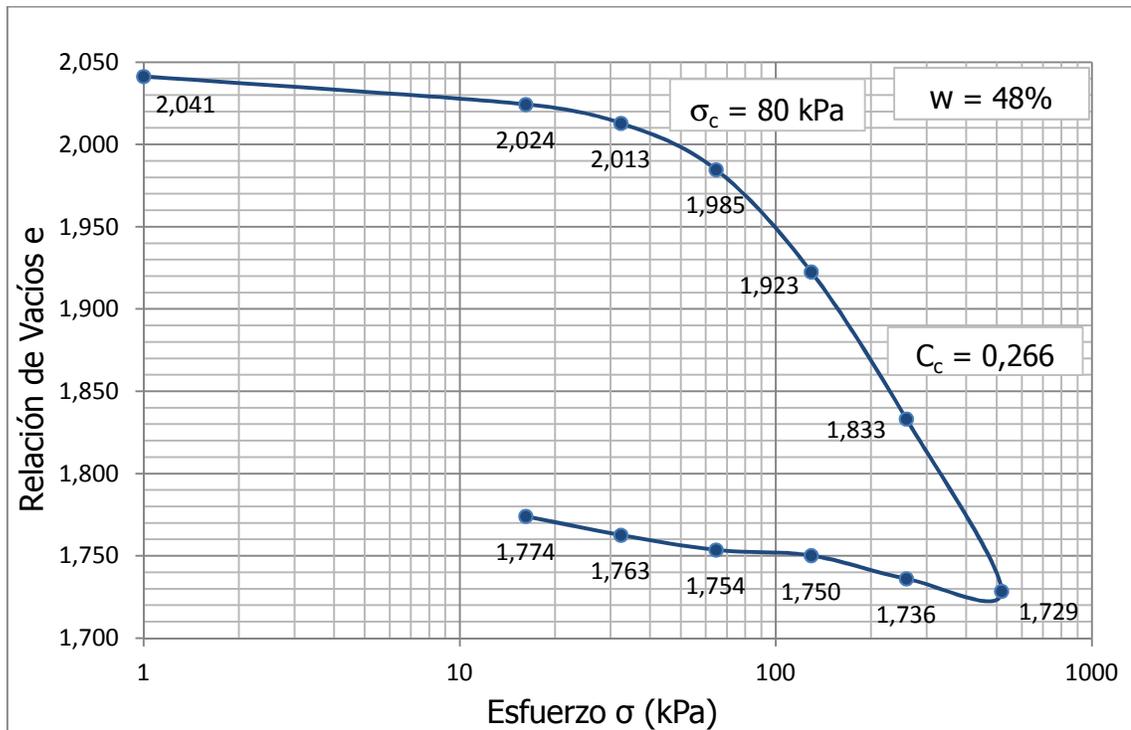


Figura 3.18 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 4

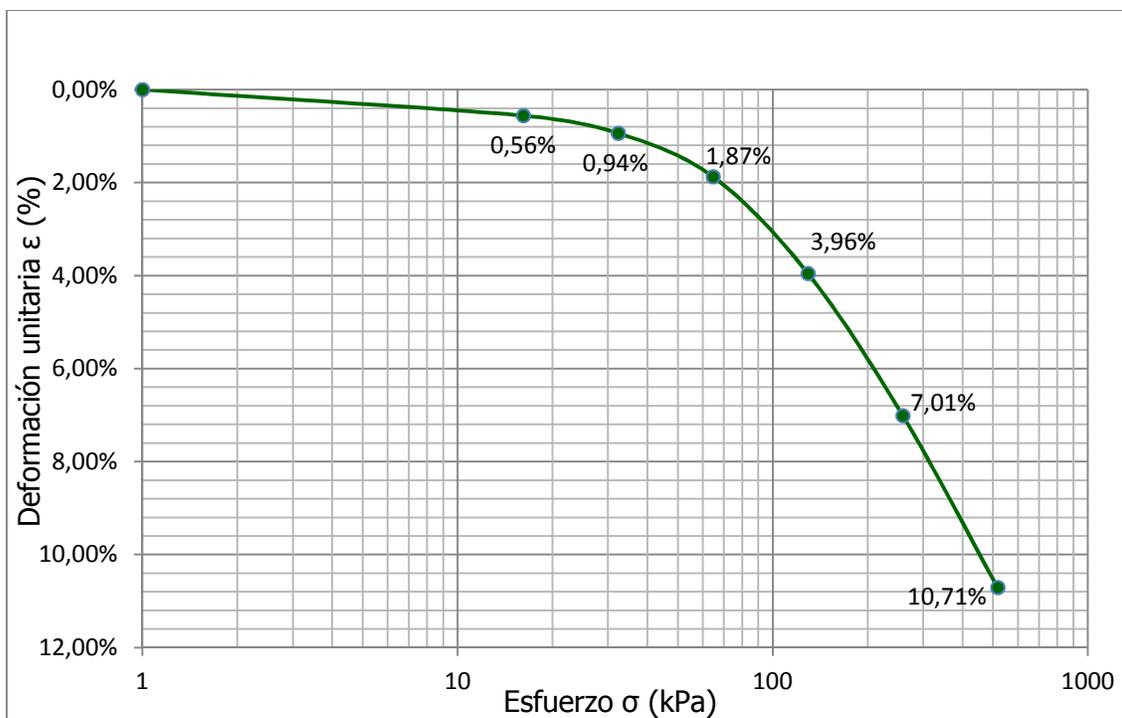


Figura 3.19 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 4

Cuadro 3.8 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 5

Carga (kg)	Deformación (mm)		$H_{\text{pastilla}}(\text{cm})$		e_{carga}		σ_v		ϵ (%)	ϵ (%) _{acum}
	Inicial	Final	H_0	H_f	e_0	e_f	σ_v (kg/cm ²)	σ_v (kPa)		
						1,492	0,100	1,000	0,00	0,00
0,5	0,16256	0,1905	2,190	2,171	1,492	1,470	0,1590	15,59	0,87	0,87
1,0	0,1905	0,33782	2,171	2,156	1,470	1,454	0,3179	31,19	0,68	1,55
2,0	0,33782	0,61976	2,156	2,128	1,454	1,421	0,6358	62,37	1,31	2,86
4,0	0,61976	1,03124	2,128	2,087	1,421	1,375	1,2717	124,75	1,93	4,79
8,0	1,03124	1,59893	2,087	2,030	1,375	1,310	2,5433	249,50	2,72	7,51
16,0	1,59893	2,37109	2,030	1,953	1,310	1,222	5,0866	499,00	3,80	11,31
32,0	2,37109	3,302	1,953	1,860	1,222	1,116	10,1732	997,99	4,77	16,08
16,0	3,302	3,24231	1,860	1,866	1,116	1,123	5,0866	499,00	0,32	-
8,0	3,24231	3,13055	1,866	1,877	1,123	1,136	2,5433	249,50	0,60	-
4,0	3,13055	3,0607	1,877	1,884	1,136	1,144	1,2717	124,75	0,37	-
2,0	3,0607	2,93243	1,884	1,897	1,144	1,158	0,6358	62,37	0,68	-
1,0	2,93243	2,8448	1,897	1,905	1,158	1,168	0,3179	31,19	0,46	-
0,5	2,8448	2,7686	1,905	1,913	1,168	1,177	0,1590	15,59	0,40	-

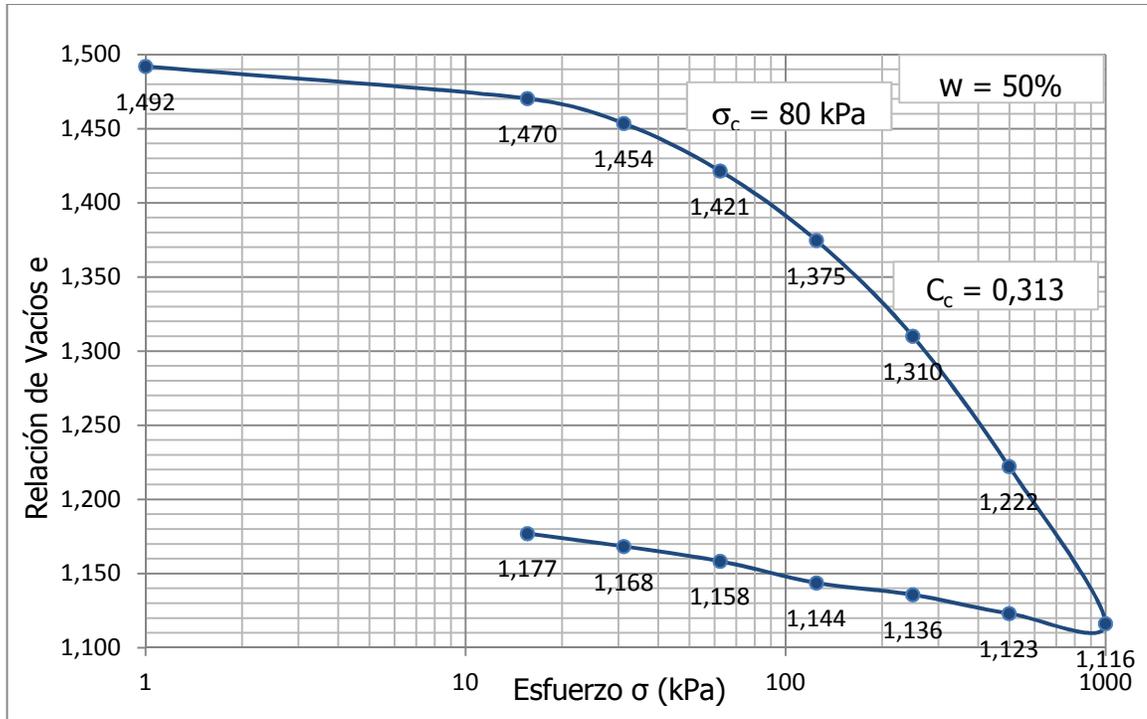


Figura 3.20 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 5

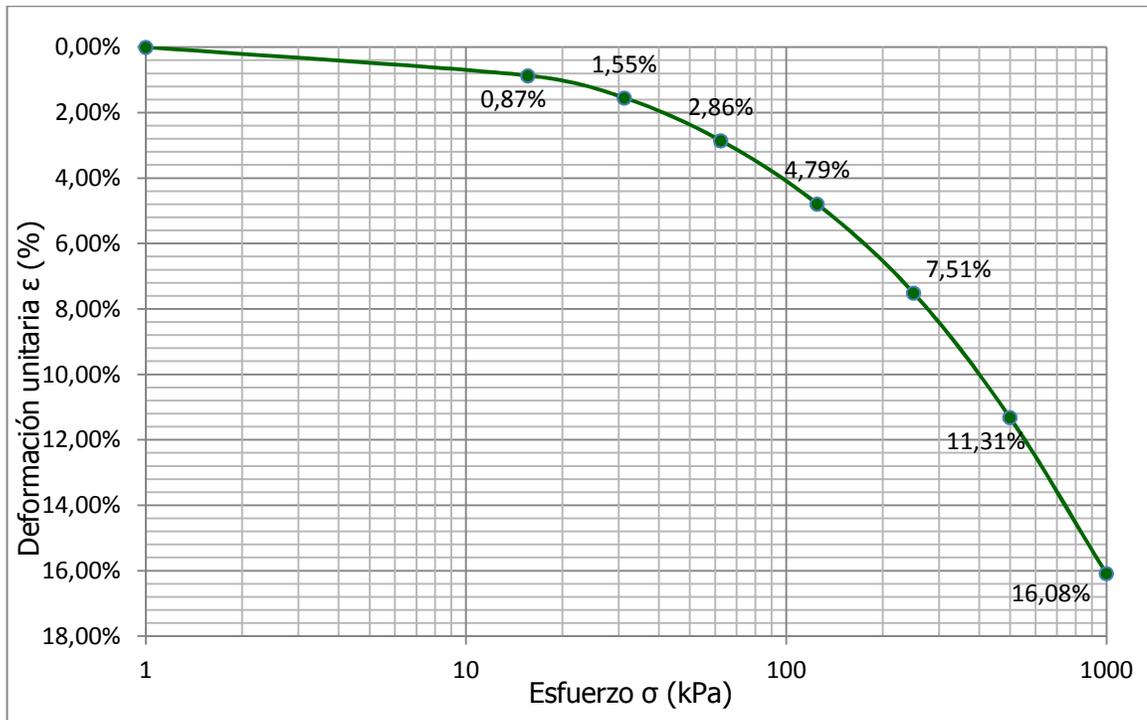


Figura 3.21 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 5

Cuadro 3.9 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 6

Carga (kg)	Deformación (mm)		H _{pastilla} (cm)		e _{carga}		σ_v		ϵ (%)	ϵ (%) _{acum}
	Inicial	Final	H ₀	H _f	e ₀	e _f	σ_v (kg/cm ²)	σ_v (kPa)		
						1,746	0,100	1,000	0,00	0,00
0,5	0	0,11684	2,227	2,215	1,746	1,732	0,1613	15,83	0,52	0,52
1	0,11684	0,19431	2,215	2,208	1,732	1,722	0,3227	31,66	0,35	0,87
2	0,19431	0,36449	2,208	2,191	1,722	1,702	0,6454	63,31	0,77	1,65
4	0,36449	0,5969	2,191	2,167	1,702	1,673	1,2908	126,62	1,06	2,71
8	0,5969	0,9017	2,167	2,137	1,673	1,635	2,5815	253,25	1,41	4,11
16	0,9017	1,4224	2,137	2,085	1,635	1,571	5,1630	506,49	2,44	6,55
8	1,4224	1,38811	2,085	2,088	1,571	1,575	2,5815	253,25	0,16	-
4	1,38811	1,32334	2,088	2,095	1,575	1,583	1,2908	126,62	0,31	-
2	1,32334	1,24714	2,095	2,102	1,583	1,593	0,6454	63,31	0,36	-
1	1,24714	1,17348	2,102	2,110	1,593	1,602	0,3227	31,66	0,35	-
0,5	1,17348	1,12014	2,110	2,115	1,602	1,608	0,1613	15,83	0,25	-

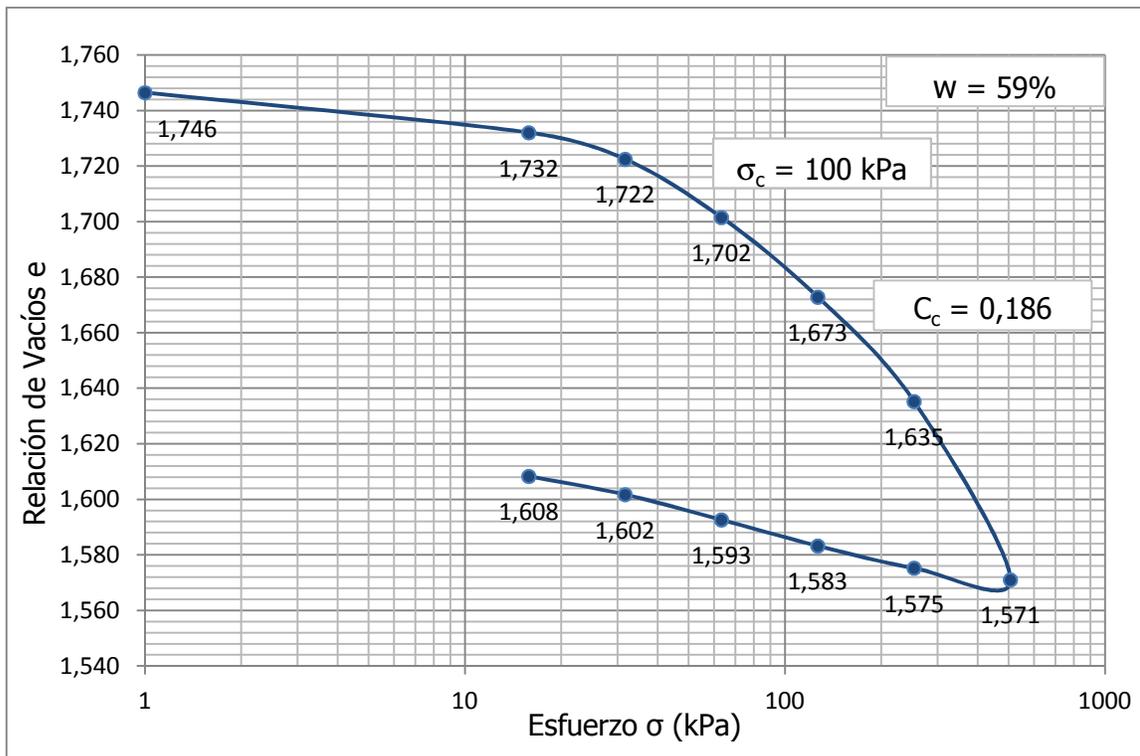


Figura 3.22 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 6

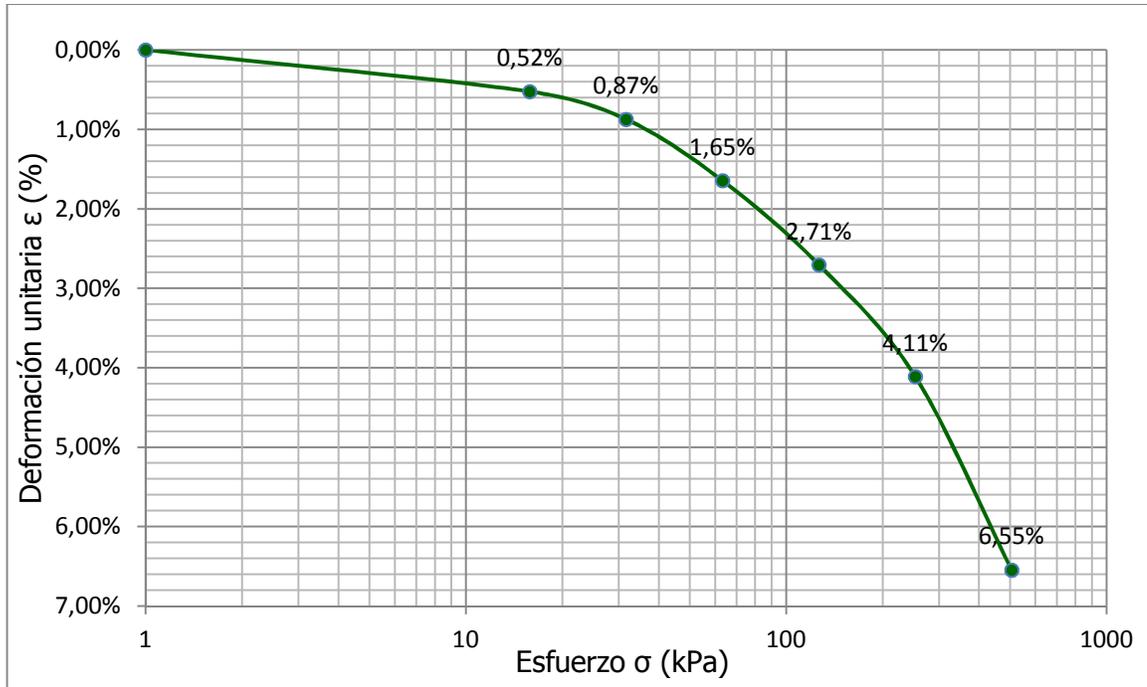


Figura 3.23 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 6

Cuadro 3.10 Propiedades de Carga - Deformación de Muestra 7

Carga (kg)	Deformación (mm)		H_{pastilla} (cm)		e_{carga}		σ_v		ϵ (%)	
	Inicial	Final	H_0	H_f	e_0	e_f	σ_v (kg/cm ²)	σ_v (kPa)		
						1,247	0,100	1,000	0,00%	0,00%
0,5	0	0,27305	2,227	2,200	1,247	1,220	0,1613	15,83	1,23%	1,23%
1	0,27305	0,43434	2,200	2,184	1,220	1,203	0,3227	31,66	0,73%	1,96%
2	0,43434	0,69342	2,184	2,158	1,203	1,177	0,6454	63,31	1,19%	3,15%
4	0,69342	1,0541	2,158	2,122	1,177	1,141	1,2908	126,62	1,67%	4,82%
8	1,0541	1,56464	2,122	2,071	1,141	1,089	2,5815	253,25	2,41%	7,22%
16	1,56464	2,23266	2,071	2,004	1,089	1,022	5,1630	506,49	3,23%	10,45%
8	2,23266	2,1971	2,004	2,007	1,022	1,026	2,5815	253,25	0,18%	-
4	2,1971	2,11328	2,007	2,016	1,026	1,034	1,2908	126,62	0,42%	-
2	2,11328	2,01422	2,016	2,026	1,034	1,044	0,6454	63,31	0,49%	-
1	2,01422	1,91643	2,026	2,035	1,044	1,054	0,3227	31,66	0,48%	-
0,5	1,91643	1,84023	2,035	2,043	1,054	1,062	0,1613	15,83	0,37%	-

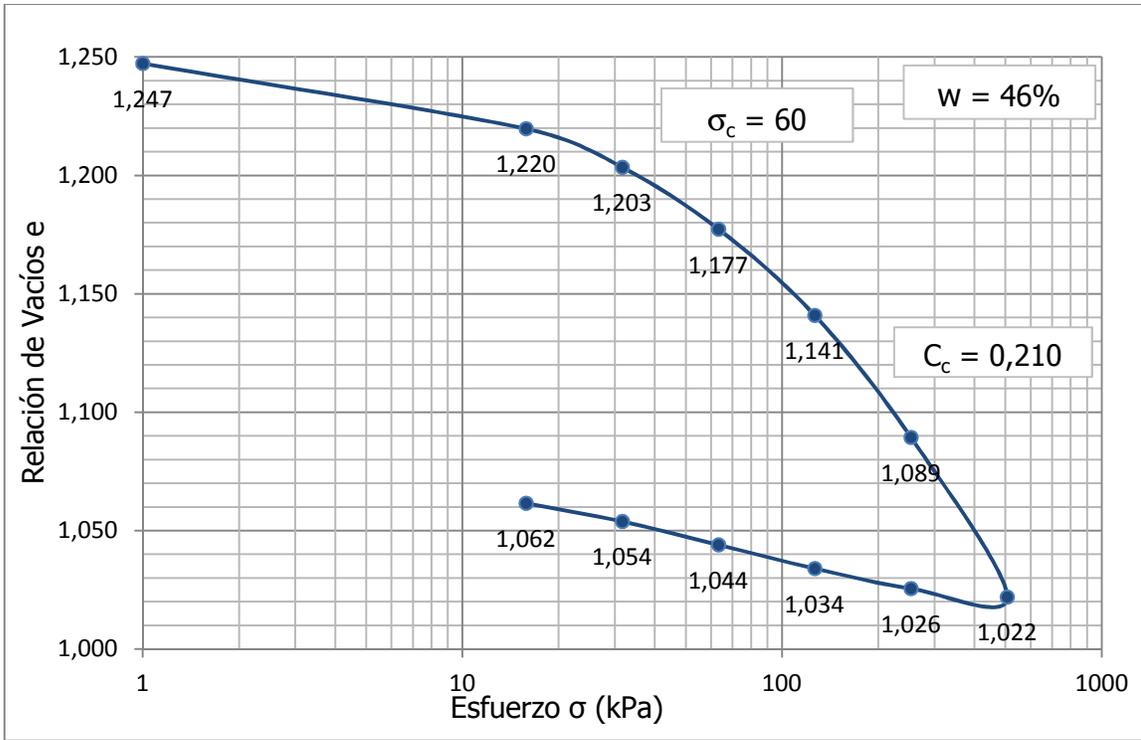


Figura 3.24 Gráfico Relación de Vacíos - Esfuerzo de la Muestra 7

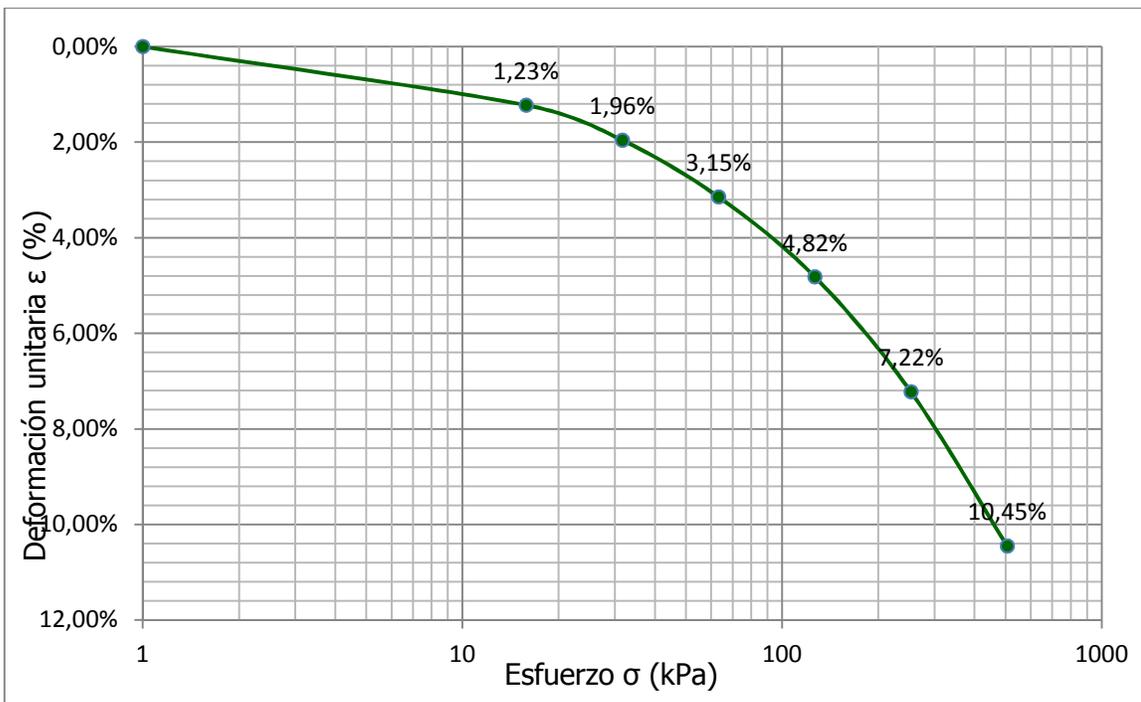


Figura 3.25 Gráfico Deformación unitaria - Esfuerzo de la Muestra 7

Con el fin de obtener una curva que se pudiera utilizar como manera opcional para el cálculo de los asentamientos en cualquiera de los sitios, se obtuvo un promedio de todos los gráficos de relación de vacíos - esfuerzo, excluyendo el del Punto de Muestreo 1, como se explicó anteriormente.

La Figura 3.26 muestra las curvas para todos los sitios y la curva promedio, y el Cuadro 3.11 presenta los valores con los que se construyó la curva promedio.

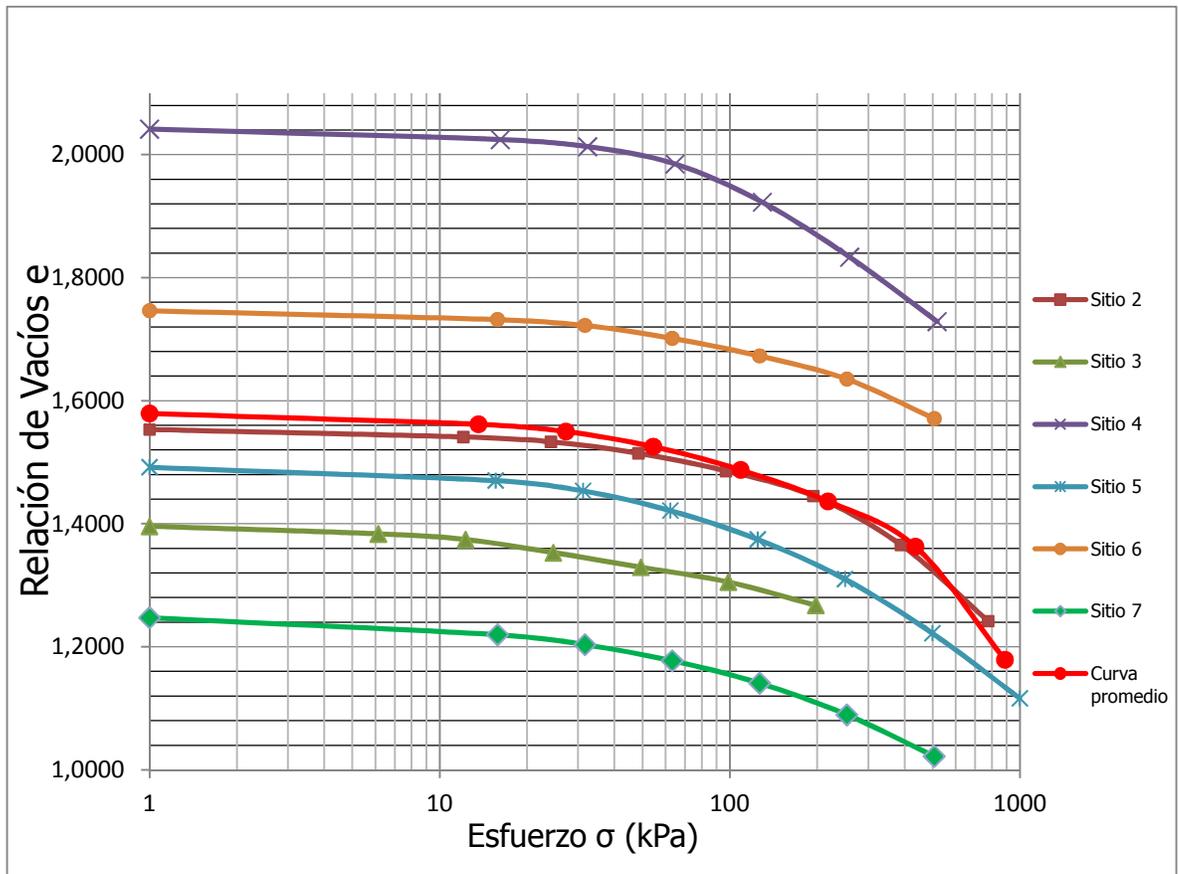


Figura 3.26 Gráficos Relación de Vacíos - Esfuerzo (Resumen)

Cuadro 3.11 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos de la Curva promedio

e	σ_v (kPa)
1,5618	13,60
1,5500	27,21
1,5254	54,46
1,4877	108,95
1,4364	217,94
1,3628	435,95
1,1790	887,35

3.4.2 Propiedades de Tiempo - Deformación

Para aquellos incrementos de carga de donde se obtienen lecturas de tiempo - deformación, se cuenta con dos procedimientos para presentar los datos, determinar el final de la consolidación primaria y calcular el nivel de consolidación.

El primero de esos procedimientos es graficar las lecturas de deformación en función del tiempo en escala logarítmica. El segundo consiste en graficar las lecturas de deformación en función de la raíz cuadrada del tiempo, normalmente en minutos. Ambos procedimientos se llevan a cabo para cada incremento de carga.

En el caso particular de este proyecto, el procedimiento utilizado fue el segundo, porque fue en estos casos cuando el gráfico obtenido se asemejaba más al esperado según la teoría, lo que permitió una mayor facilidad para obtener los datos que se necesitaba leer de ellos.

Debido a la cantidad de estos datos, tomando en cuenta que se requiere un gráfico por cada incremento de carga, y que se tienen siete muestras a cada una de las cuales se les aplicó, en la mayoría de los casos, seis incrementos de carga, se muestra a continuación, a manera de ejemplo, uno de estos gráficos con los correspondientes datos del incremento de carga.

Cuadro 3.12 Propiedades de Tiempo-Deformación para la carga de 2,0 kg de la Muestra 4

t	t_{ajustado} (min)	Lectura (1x10⁻⁴ pulg)	Deformación (mm)	√(t)
15 s	0,25	152,0	0,38608	0,50
30 s	0,5	155,0	0,3937	0,71
1 min	1	159,0	0,40386	1,00
2 min	2	161,5	0,41021	1,41
4 min	4	164,0	0,41656	2,00
8 min	8	166,5	0,42291	2,83
15 min	15	168,5	0,42799	3,87
30 min	30	170,5	0,43307	5,48
1 h	65	173,0	0,43942	8,06
2 h	125	175,0	0,4445	11,18
4 h	245	178,0	0,45212	15,65
8 h	405	179,1	0,454914	20,12
24 h	1445	183,0	0,46482	38,01

La primera columna del Cuadro 3.12 representa el tiempo que se dejan entre las lecturas, según la norma. La segunda, el tiempo ajustado al momento real en que se realizaron las lecturas, en minutos. La quinta columna es la raíz cuadrada del tiempo, que se utiliza, junto con los valores de deformación, para realizar los gráficos, como el que se muestra a continuación.

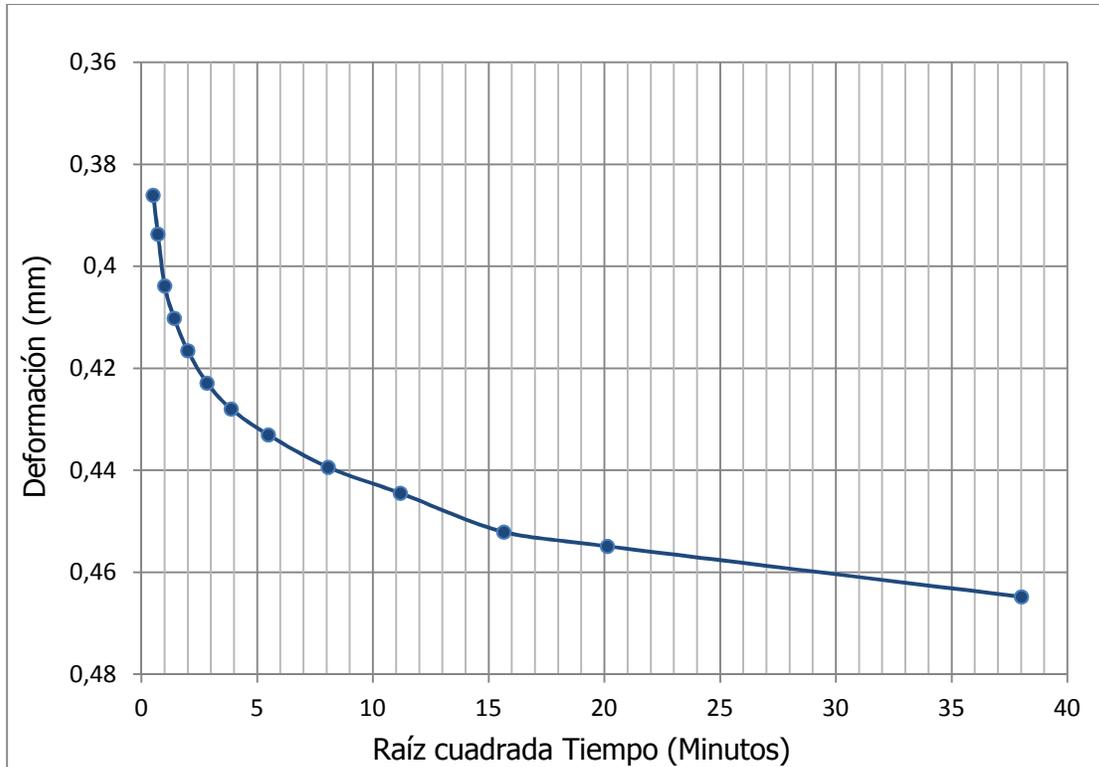


Figura 3.27 Gráfico Deformación - Raíz cuadrada del tiempo para la carga de 2,0 kg de la Muestra 4

El procedimiento a seguir a continuación consistió en dibujar una recta por los puntos que representan las lecturas iniciales que muestran una tendencia de línea recta, y extrapolar la línea a $t = 0$ para obtener la deformación que representa el 0% de la consolidación primaria.

Luego se dibujó una segunda recta a partir del punto de deformación al 0% de la consolidación primaria, de forma que la abscisa de esta recta fuera 1,15 veces la abscisa de la primera recta. La intersección de esta segunda recta con la curva es la deformación d_{90} , y el tiempo t_{90} , correspondientes el 90% de la consolidación primaria.

Con estos valores se puede calcular el coeficiente de consolidación para cada incremento de carga, utilizando la siguiente ecuación:

$$c_v = \frac{0,848 * H_{D50}^2}{t_{90}}$$

Ecuación 20

Donde:

t_{90} : tiempo correspondiente al 90% de la consolidación primaria, obtenido de la gráfica.

H_{D50} : longitud del camino de drenaje al 50% de consolidación, en cm. Para dos fronteras drenantes se toma la mitad de la altura de la muestra en el incremento correspondiente y para una frontera drenante se toma la altura total de la muestra. En el caso del ensayo se utiliza la mitad de la altura.

Los cálculos de estas propiedades que fueron necesarios para realizar las proyecciones de los asentamientos en el tiempo se muestran en el Capítulo 4.

Capítulo 4. Asentamientos

En este capítulo se explican los cálculos de los asentamientos y su proyección en el tiempo. Los asentamientos se muestran de forma gráfica mediante el uso de mapas, que indican la distribución de los posibles asentamientos en la Ciudad de Santiago.

El procedimiento utilizado para el cálculo de asentamientos consistió, como se muestra adelante, en realizar el cálculo en diez de los doce sitios donde se cuenta con perforaciones. Esto debido a que en la perforación del Estadio (P6, ver Mapa 3.1), se encontró el nivel freático a los 33 metros de profundidad, por lo que un abatimiento a 20 metros no produciría ningún efecto en este sector.

En el caso de P11, aunque en esta perforación no se alcanzara el nivel freático debido a su poca profundidad (6,0 m), tampoco se utilizó para el cálculo de asentamientos, dada su ubicación tan cercana al Estadio, por lo que se utilizó el mismo criterio para descartarla.

Como se verá adelante, se realizaron estimaciones del asentamiento máximo que podría producir el abatimiento, con base en los gráficos de relación de vacíos - esfuerzo de las muestras obtenidos en los sitios más cercanos a los de cada perforación (ver Mapa 3.1).

Debido a que los parámetros de consolidación fueron obtenidos a partir de muestras extraídas a 50 cm de profundidad, era necesario resolver el problema del cálculo de los asentamientos a mayores profundidades. Esto se llevó a cabo asumiendo los mismos parámetros pero realizando un ajuste según el valor de N_{SPT} que se tiene en las hojas de perforaciones para cada una de las capas de 50 cm.

Existen correlaciones no lineales entre el N_{SPT} y algunos parámetros de compresibilidad tales como C_c . Sin embargo fue posible utilizarlos debido a que para la aplicación de la metodología seleccionada en este trabajo, estos parámetros debían obtenerse directamente de los ensayos de consolidación. Por lo tanto, para tomar en cuenta las variaciones a profundidad, se utilizó una relación lineal empírica que relaciona el N_{SPT} y con la magnitud del asentamiento y no con parámetros de compresibilidad.

El ajuste consiste en llevar los asentamientos de las capas más profundas a valores mayores o menores, según se alejen del valor de N_{SPT} de la capa superior (que generalmente es menor que en las demás), de la siguiente forma:

$$\Delta H_{i,ajustado} = \Delta H_i * \frac{N_{SPT_1}}{N_{SPT_i}} \quad \text{Ecuación 21}$$

La Ecuación 21 refleja la menor compresibilidad que se tiene en las capas con N_{SPT} mayores que los de la primera capa y viceversa.

Para los casos que no registraron N_{SPT} , el valor utilizado para realizar este ajuste fue el promedio entre los dos valores de las capas más cercanas que sí registraron.

El procedimiento de cálculo se llevó a cabo, en cada caso, hasta la profundidad en que la perforación indicara haber llegado a la capa de roca alterada. Las profundidades varían entre los 28 y 39 metros.

Las cuatro perforaciones utilizadas que no fueron realizadas por el MOPT, no alcanzan en ningún caso, profundidades mayores que 14 m, por lo que para realizar el cálculo de asentamientos, se asumieron a partir de la última profundidad los valores de N_{SPT} de la perforación del MOPT más cercana.

Ahora bien, una vez explicados los procedimientos que se llevaron a cabo para el cálculo de asentamientos, se procede a explicar el cálculo de los esfuerzos efectivos, parámetro necesario para obtener los asentamientos.

4.1 Esfuerzos efectivos

Debido a que se tienen diferentes niveles freáticos en la zona, se tuvo que calcular los esfuerzos efectivos producidos por un abatimiento a 20 m de profundidad, para cada uno de ellos. A continuación se presentan estos valores para cada una de las perforaciones, cuya ubicación exacta se puede consultar en el Mapa 3.1.

Cuadro 4.1 Niveles freáticos encontrados en las perforaciones

Perforación	Sitio	Nivel Freático (m)
P1	Parque Central	3,5
P2	Liceo de Puriscal	18,5
P3	Antiguo Aserradero	3,0
P4	Polideportivo	5,0
P5	250 m O Polideportivo	15,0
P6	Estadio	33,0
P7	Hogar de ancianos	7,5
P8	Mercado	7,5
P9	Bomberos	3,0
P10	Banco de Costa Rica	2,5
P11	Casa de habitación	33,0
P12	Estación de Servicios	3,0

Fuente: (Peraldo, 1996).

Los niveles freáticos de las perforaciones P9 y P11 no se indican en las hojas de perforación, por lo que se asumieron los valores de las perforaciones más cercanas. En el caso de P11, que se realizó en una casa de habitación a aproximadamente 150 m del Estadio, el nivel freático no se indica debido a que no pudo haber sido encontrado durante la perforación, debido a ser esta bastante superficial (6,0 m) en comparación con el nivel freático más cercano encontrado (33,0 m).

Es importante mencionar que tanto P11 como la perforación realizada en el Estadio (P6), se descartaron a la hora de realizar los cálculos de asentamientos, ya que un abatimiento del nivel freático a 20,0 m de profundidad no afectaría estos puntos, ya que su nivel freático inicial es bastante mayor, como se indica en el Cuadro 4.1. Por lo tanto, de las 12 perforaciones disponibles inicialmente, se utilizaron solamente 10 para llevar a cabo estos cálculos.

El estado de esfuerzos luego del abatimiento es el mismo para cada caso, pero el inicial varía en cada uno, lo cual afecta enormemente los resultados de los cálculos de asentamientos, convirtiendo al nivel freático en un parámetro muy sensible a cambios.

Se muestran a continuación, a manera de ejemplo, los resultados de los cálculos realizados para obtener los esfuerzos efectivos cuando el nivel freático se encuentra a 2,5 metros, utilizando los pesos volumétricos del Cuadro 2.4. Los resultados de estos cálculos para los demás niveles freáticos se pueden consultar en el Apéndice B.

Cuadro 4.2 Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 2,5 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	4,75	5,25	0,50	46,60	51,50
3,5	5,13	6,13	1,00	50,28	60,09
4,0	5,50	7,00	1,50	53,96	68,67
4,5	5,88	7,88	2,00	57,63	77,25
5,0	6,25	8,75	2,50	61,31	85,84
5,5	6,63	9,63	3,00	64,99	94,42
6,0	7,00	10,50	3,50	68,67	103,01
6,5	7,38	11,38	4,00	72,35	111,59
7,0	7,75	12,25	4,50	76,03	120,17
7,5	8,13	13,13	5,00	79,71	128,76
8,0	8,50	14,00	5,50	83,39	137,34
8,5	8,88	14,88	6,00	87,06	145,92
9,0	9,25	15,75	6,50	90,74	154,51
9,5	9,63	16,63	7,00	94,42	163,09
10,0	10,00	17,50	7,50	98,10	171,68
10,5	10,38	18,38	8,00	101,78	180,26
11,0	10,75	19,25	8,50	105,46	188,84
11,5	11,13	20,13	9,00	109,14	197,43
12,0	11,50	21,00	9,50	112,82	206,01
12,5	11,88	21,88	10,00	116,49	214,59
13,0	12,25	22,75	10,50	120,17	223,18
13,5	12,63	23,63	11,00	123,85	231,76
14,0	13,00	24,50	11,50	127,53	240,35
14,5	13,38	25,38	12,00	131,21	248,93
15,0	13,75	26,25	12,50	134,89	257,51
15,5	14,13	27,13	13,00	138,57	266,10
16,0	14,50	28,00	13,50	142,25	274,68
16,5	14,88	28,88	14,00	145,92	283,26
17,0	15,25	29,75	14,50	149,60	291,85
17,5	15,63	30,63	15,00	153,28	300,43
18,0	16,00	31,50	15,50	156,96	309,02
18,5	16,38	32,38	16,00	160,64	317,60
19,0	16,75	33,25	16,50	164,32	326,18
19,5	17,13	34,13	17,00	168,00	334,77
20,0	17,50	35,00	17,50	171,68	343,35
20,5	17,88	35,38	17,50	175,35	347,03
21,0	18,25	35,75	17,50	179,03	350,71
21,5	18,63	36,13	17,50	182,71	354,39
22,0	19,00	36,50	17,50	186,39	358,07

Cuadro 4.2 Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 2,5 m (continuación)

Profundidad	σ'_{antes} (t/m²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
22,5	19,38	36,88	17,50	190,07	361,74
23,0	19,75	37,25	17,50	193,75	365,42
23,5	20,13	37,63	17,50	197,43	369,10
24,0	20,50	38,00	17,50	201,11	372,78
24,5	20,88	38,38	17,50	204,78	376,46
25,0	21,25	38,75	17,50	208,46	380,14
25,5	21,63	39,13	17,50	212,14	383,82
26,0	22,00	39,50	17,50	215,82	387,50
26,5	22,38	39,88	17,50	219,50	391,17
27,0	22,75	40,25	17,50	223,18	394,85
27,5	23,13	40,63	17,50	226,86	398,53
28,0	23,50	41,00	17,50	230,54	402,21
28,5	23,88	41,38	17,50	234,21	405,89
29,0	24,25	41,75	17,50	237,89	409,57
29,5	24,63	42,13	17,50	241,57	413,25
30,0	25,00	42,50	17,50	245,25	416,93
30,5	25,38	42,88	17,50	248,93	420,60
31,0	25,75	43,25	17,50	252,61	424,28
31,5	26,13	43,63	17,50	256,29	427,96
32,0	26,50	44,00	17,50	259,97	431,64
32,5	26,88	44,38	17,50	263,64	435,32
33,0	27,25	44,75	17,50	267,32	439,00
33,5	27,63	45,13	17,50	271,00	442,68
34,0	28,00	45,50	17,50	274,68	446,36
34,5	28,38	45,88	17,50	278,36	450,03
35,0	28,75	46,25	17,50	282,04	453,71
35,5	29,13	46,63	17,50	285,72	457,39
36,0	29,50	47,00	17,50	289,40	461,07
36,5	29,88	47,38	17,50	293,07	464,75
37,0	30,25	47,75	17,50	296,75	468,43
37,5	30,63	48,13	17,50	300,43	472,11
38,0	31,00	48,50	17,50	304,11	475,79
38,5	31,38	48,88	17,50	307,79	479,46
39,0	31,75	49,25	17,50	311,47	483,14
39,5	32,13	49,63	17,50	315,15	486,82
40,0	32,50	50,00	17,50	318,83	490,50

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

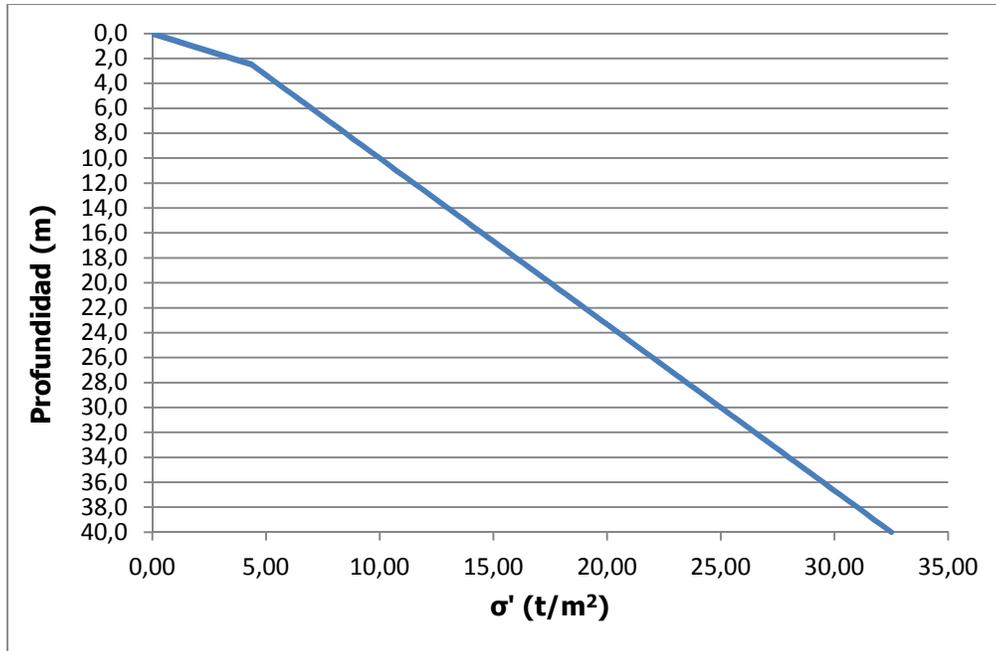


Figura 4.1 Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 2,5 m

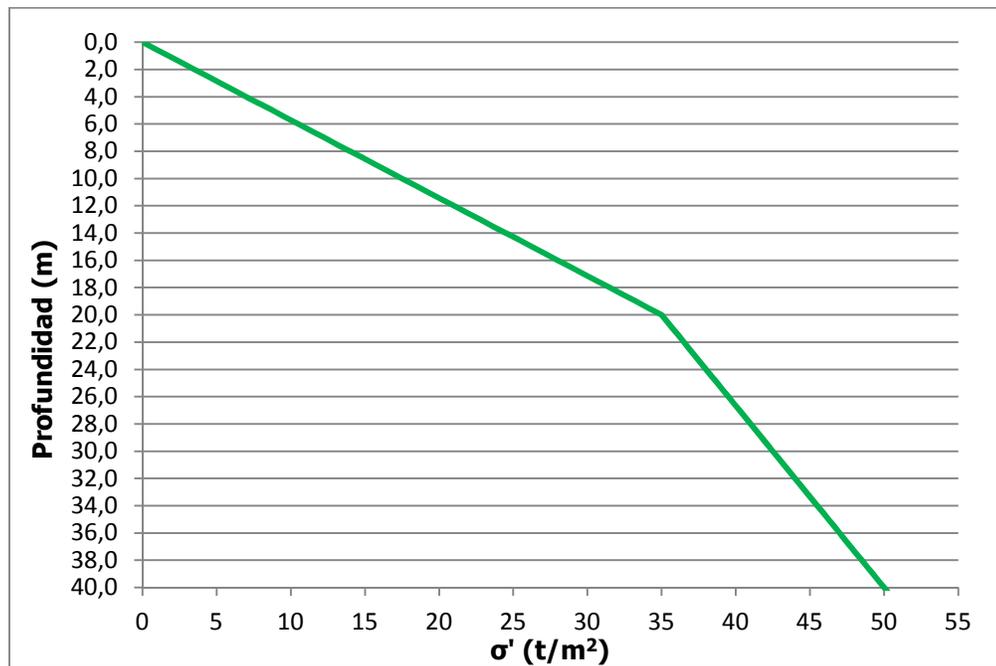


Figura 4.2 Estado final de esfuerzos después de un abatimiento del nivel freático a 20 m de profundidad

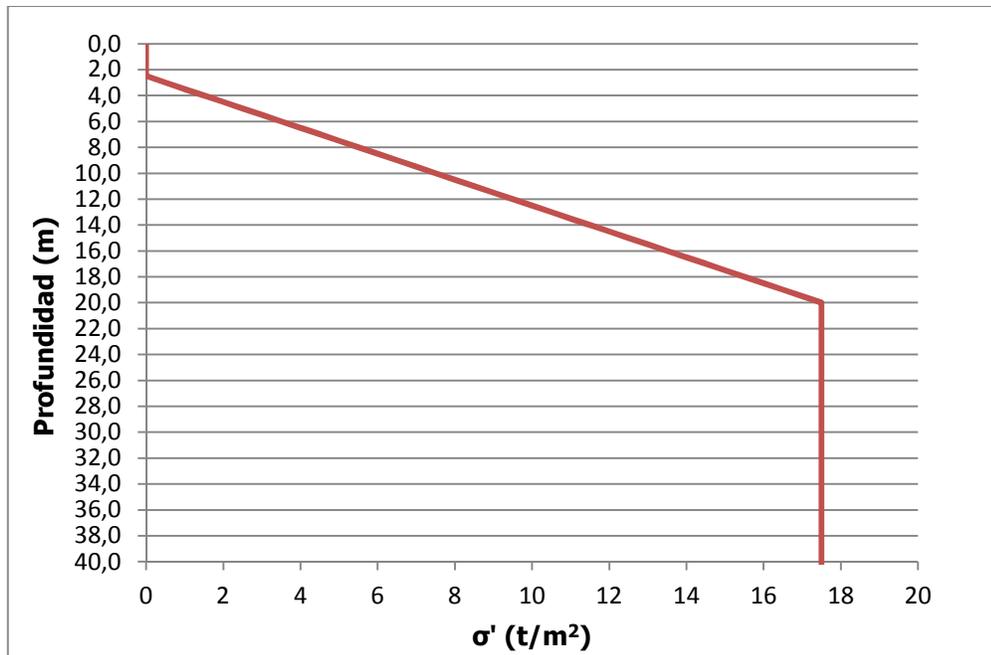


Figura 4.3 Variación en el esfuerzo efectivo para un nivel freático a 2,5 m

La Figura 4.1 muestra el estado original de esfuerzos cuando se tiene un nivel freático a 2,5 metros de profundidad, donde se nota el cambio en la pendiente de la curva. Lo mismo sucede a la profundidad de 20 metros de la Figura 4.2, que representa el estado de esfuerzos una vez llevado a cabo el abatimiento del nivel freático a tal profundidad, por lo que esta curva es común a todos los casos.

En la Figura 4.3, que representa los cambios entre los dos estados de esfuerzo, se puede apreciar que de 0 a 2,5 metros de profundidad no existe cambio en los esfuerzos. De 2,5 a 20 metros, el cambio de esfuerzos va aumentando conforme la profundidad, y a partir de los 20 metros de profundidad el cambio en los esfuerzos es constante.

La última profundidad representada en todos los gráficos es la de 40 metros, ya que es esta aproximadamente en la que la mayoría de perforaciones encuentra la capa de roca alterada. Por lo tanto esta es la profundidad en la que se acaba la capa de suelo compresible.

4.2 Cálculo de asentamientos

A continuación se explican los cálculos de asentamientos realizados para los sitios de perforación. La relación de vacíos se calculó a cada 50 cm interpolando a partir de los valores de esfuerzos efectivos y de los gráficos de relación de vacíos - esfuerzo de las muestras extraídas de los sitios más cercanos a los de cada perforación.

Debido a que en estos cálculos interviene una gran cantidad de variables, fue posible modificar algunas de ellas para obtener escenarios distintos, por lo que los resultados no son únicos. Estos escenarios quedan claros mediante la lectura de los mapas de este capítulo.

4.2.1 Asentamientos en P1 (Parque Central) NF=3,5 m

Para este caso se tenían dos puntos de muestreo cercanos con los que realizar el cálculo: el Punto 4 en los alrededores del Mercado y el Punto 7 en la escuela Darío Flores. El nivel freático se sitúa a 3,5 m y por lo tanto son estos los valores de esfuerzos efectivos utilizados para realizar la interpolación de las relaciones de vacío.

4.2.1.1 Asentamientos en P1 utilizando el Punto de Muestreo 4

Cuadro 4.3 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 4

e	σ_v (kPa)
2,0243	16,17
2,0129	32,35
1,9847	64,71
1,9226	129,43
1,8333	258,86
1,7286	517,72

El Cuadro 4.3 muestra los valores de los que se interpolaron las relaciones de vacío a cada 50 cm, utilizando los esfuerzos efectivos para un nivel freático a 3,5 m de profundidad (Ver Apéndice B).

A continuación se muestran los resultados obtenidos tanto de la interpolación como de la aplicación de la Ecuación 2 y la Ecuación 21 (columnas penúltima y última, respectivamente), utilizando la metodología que se explica a inicios de este capítulo.

Cuadro 4.4 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 4

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH (cm)	ΔH _{ajustado} (cm)
De	A							
0,0	0,5	5	2,0282	2,0282	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	5	2,0234	2,0234	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	2	2,0167	2,0167	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	2	2,0105	2,0105	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	7	2,0014	2,0014	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	4	1,9940	1,9940	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	5	1,9877	1,9877	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	4	1,9853	1,9794	0,00592	0,00198	0,10	0,12
4,0	4,5	4	1,9810	1,9688	0,01217	0,00408	0,20	0,26
4,5	5,0	4	1,9762	1,9594	0,01685	0,00566	0,28	0,35
5,0	5,5	5	1,9717	1,9509	0,02087	0,00702	0,35	0,35
5,5	6,0	5	1,9674	1,9431	0,02436	0,00821	0,41	0,41
6,0	6,5	6	1,9633	1,9359	0,02743	0,00926	0,46	0,39
6,5	7,0	6	1,9594	1,9293	0,03014	0,01019	0,51	0,42
7,0	7,5	16	1,9556	1,9231	0,03257	0,01102	0,55	0,17
7,5	8,0	10	1,9520	1,9150	0,03707	0,01256	0,63	0,31
8,0	8,5	5	1,9486	1,9071	0,04142	0,01405	0,70	0,70
8,5	9,0	4	1,9452	1,8998	0,04545	0,01543	0,77	0,96
9,0	9,5	3	1,9420	1,8928	0,04920	0,01672	0,84	1,39
9,5	10,0	3	1,9389	1,8862	0,05270	0,01793	0,90	1,49
10,0	10,5	4	1,9359	1,8799	0,05599	0,01907	0,95	1,19
10,5	11,0	5	1,9330	1,8739	0,05908	0,02014	1,01	1,01
11,0	11,5	6	1,9302	1,8682	0,06200	0,02116	1,06	0,88
11,5	12,0	5	1,9274	1,8627	0,06475	0,02212	1,11	1,11
12,0	12,5	5	1,9248	1,8574	0,06737	0,02303	1,15	1,15
12,5	13,0	7	1,9221	1,8524	0,06968	0,02385	1,19	0,85
13,0	13,5	10	1,9185	1,8475	0,07095	0,02431	1,22	0,61
13,5	14,0	8	1,9150	1,8428	0,07214	0,02475	1,24	0,77
14,0	14,5	9	1,9116	1,8383	0,07326	0,02516	1,26	0,70
14,5	15,0	7	1,9082	1,8339	0,07431	0,02555	1,28	0,91
15,0	15,5	8	1,9050	1,8291	0,07591	0,02613	1,31	0,82
15,5	16,0	5	1,9018	1,8243	0,07754	0,02672	1,34	1,34
16,0	16,5	5	1,8988	1,8196	0,07911	0,02729	1,36	1,36
16,5	17,0	9	1,8957	1,8151	0,08061	0,02784	1,39	0,77
17,0	17,5	6	1,8928	1,8108	0,08205	0,02836	1,42	1,18
17,5	18,0	4	1,8899	1,8065	0,08343	0,02887	1,44	1,80
18,0	18,5	3	1,8871	1,8024	0,08475	0,02935	1,47	2,45
18,5	19,0	5	1,8844	1,7983	0,08603	0,02982	1,49	1,49
19,0	19,5	8	1,8817	1,7944	0,08725	0,03028	1,51	0,95
19,5	20,0	8	1,8790	1,7906	0,08844	0,03072	1,54	0,96
20,0	20,5	10	1,8764	1,7890	0,08746	0,03041	1,52	0,76

Cuadro 4.4 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 4 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH(cm)	ΔH _{ajustado} (cm)
De	A							
20,5	21,0	10	1,8739	1,7874	0,08652	0,03010	1,51	0,75
21,0	21,5	10	1,8714	1,7858	0,08561	0,02981	1,49	0,75
21,5	22,0	10	1,8690	1,7843	0,08472	0,02953	1,48	0,74
22,0	22,5	12	1,8666	1,7827	0,08387	0,02926	1,46	0,61
22,5	23,0	12	1,8642	1,7812	0,08305	0,02900	1,45	0,60
23,0	23,5	11	1,8619	1,7797	0,08226	0,02874	1,44	0,65
23,5	24,0	13	1,8597	1,7782	0,08148	0,02849	1,42	0,55
24,0	24,5	16	1,8574	1,7767	0,08074	0,02826	1,41	0,44
24,5	25,0	16	1,8552	1,7752	0,08002	0,02802	1,40	0,44
25,0	25,5	13	1,8531	1,7738	0,07932	0,02780	1,39	0,53
25,5	26,0	15	1,8510	1,7723	0,07864	0,02758	1,38	0,46
26,0	26,5	21	1,8489	1,7709	0,07798	0,02737	1,37	0,33
26,5	27,0	15	1,8468	1,7695	0,07734	0,02717	1,36	0,45
27,0	27,5	15	1,8448	1,7681	0,07672	0,02697	1,35	0,45
27,5	28,0	26	1,8428	1,7667	0,07612	0,02678	1,34	0,26
28,0	28,5	22	1,8409	1,7653	0,07554	0,02659	1,33	0,30
28,5	29,0	31	1,8389	1,7640	0,07497	0,02641	1,32	0,21
29,0	29,5	35	1,8370	1,7626	0,07442	0,02623	1,31	0,19
29,5	30,0	20	1,8352	1,7613	0,07389	0,02606	1,30	0,33
30,0	30,5	15	1,8333	1,7599	0,07337	0,02590	1,29	0,43
30,5	31,0	16	1,8312	1,7586	0,07256	0,02563	1,28	0,40
31,0	31,5	65	1,8291	1,7573	0,07176	0,02537	1,27	0,10
31,5	32,0	-	1,8270	1,7560	0,07098	0,02511	1,26	0,15
32,0	32,5	-	1,8250	1,7547	0,07022	0,02486	1,24	0,14
32,5	33,0	-	1,8230	1,7535	0,06947	0,02461	1,23	0,14
33,0	33,5	-	1,8210	1,7522	0,06874	0,02437	1,22	0,14
33,5	34,0	-	1,8190	1,7510	0,06803	0,02413	1,21	0,14
34,0	34,5	-	1,8171	1,7497	0,06732	0,02390	1,19	0,14
34,5	35,0	20	1,8151	1,7485	0,06664	0,02367	1,18	0,30
35,0	35,5	36	1,8132	1,7473	0,06597	0,02345	1,17	0,16
35,5	36,0	57	1,8114	1,7461	0,06531	0,02323	1,16	0,10
36,0	36,5	76	1,8095	1,7449	0,06466	0,02302	1,15	0,08
36,5	37,0	43	1,8077	1,7437	0,06403	0,02280	1,14	0,13
37,0	37,5	36	1,8059	1,7425	0,06341	0,02260	1,13	0,16
37,5	38,0	30	1,8041	1,7413	0,06280	0,02240	1,12	0,19
38,0	38,5	24	1,8024	1,7402	0,06221	0,02220	1,11	0,23
Σ							79,71	42,34

Luego de realizar la sumatoria de los asentamientos obtenidos a cada 50 cm, se obtuvo un valor de 42,34 cm en el parque central. El valor de la penúltima columna es el del asentamiento que se hubiera obtenido sin realizar la corrección mediante el N_{SPT} de la Ecuación 21.

La profundidad a la que se llegó en este cálculo (38,5 m), como se muestra en el Cuadro 4.4, es la profundidad a la que se registró en este punto la capa de roca alterada, lo cual se puede revisar en las hojas de perforaciones en los Anexos.

Como se había explicado al inicio del capítulo, en los tramos donde no se registró el N_{SPT} , se utilizó un promedio entre los dos valores registrados más cercanos. Por ejemplo, en los tres metros que van de los 31,5 a los 34,5 m se utilizó un valor de 43, como promedio entre el N_{SPT} de 65 a los 31 m y el de 20 a los 35 m. El mismo procedimiento se llevó a cabo en las demás perforaciones donde se presentara una situación similar.

4.2.1.2 Asentamientos en P1 utilizando el Punto de Muestreo 7

Cuadro 4.5 Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 7

e	σ_v (kPa)
1,2197	15,82
1,2035	31,65
1,1773	63,31
1,1409	126,62
1,0894	253,24
1,0220	506,49

Cuadro 4.6 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 7

Intervalo (m)		N_{SPT}	e_0	e_r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta H_{\text{ajustado}}(\text{cm})$
De	A							
0,0	0,5	5	1,2258	1,2258	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	5	1,2178	1,2178	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	2	1,2083	1,2083	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	2	1,2004	1,2004	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	7	1,1920	1,1920	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	4	1,1851	1,1851	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	5	1,1793	1,1793	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	4	1,1769	1,1730	0,00389	0,00179	0,09	0,11
4,0	4,5	4	1,1740	1,1669	0,00713	0,00328	0,16	0,21
4,5	5,0	4	1,1712	1,1613	0,00987	0,00455	0,23	0,28
5,0	5,5	5	1,1686	1,1563	0,01223	0,00564	0,28	0,28
5,5	6,0	5	1,1660	1,1518	0,01428	0,00659	0,33	0,33
6,0	6,5	6	1,1636	1,1476	0,01608	0,00743	0,37	0,31
6,5	7,0	6	1,1613	1,1437	0,01767	0,00817	0,41	0,34
7,0	7,5	16	1,1591	1,1397	0,01945	0,00901	0,45	0,14
7,5	8,0	10	1,1570	1,1349	0,02213	0,01026	0,51	0,26
8,0	8,5	5	1,1550	1,1304	0,02461	0,01142	0,57	0,57
8,5	9,0	4	1,1530	1,1261	0,02690	0,01249	0,62	0,78
9,0	9,5	3	1,1511	1,1221	0,02903	0,01350	0,67	1,12
9,5	10,0	3	1,1493	1,1183	0,03102	0,01443	0,72	1,20
10,0	10,5	4	1,1476	1,1147	0,03289	0,01531	0,77	0,96
10,5	11,0	5	1,1458	1,1112	0,03464	0,01614	0,81	0,81
11,0	11,5	6	1,1442	1,1079	0,03630	0,01693	0,85	0,71
11,5	12,0	5	1,1426	1,1047	0,03786	0,01767	0,88	0,88

Cuadro 4.6 Asentamientos en P1, Punto de Muestreo 7 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH (cm)	ΔH _{ajustado} (cm)
De	A							
12,0	12,5	5	1,1410	1,1017	0,03934	0,01838	0,92	0,92
12,5	13,0	7	1,1390	1,0988	0,04018	0,01878	0,94	0,67
13,0	13,5	10	1,1369	1,0960	0,04091	0,01914	0,96	0,48
13,5	14,0	8	1,1349	1,0933	0,04159	0,01948	0,97	0,61
14,0	14,5	9	1,1329	1,0907	0,04224	0,01980	0,99	0,55
14,5	15,0	7	1,1310	1,0878	0,04323	0,02028	1,01	0,72
15,0	15,5	8	1,1291	1,0846	0,04455	0,02092	1,05	0,65
15,5	16,0	5	1,1273	1,0815	0,04582	0,02154	1,08	1,08
16,0	16,5	5	1,1255	1,0785	0,04703	0,02213	1,11	1,11
16,5	17,0	9	1,1238	1,0756	0,04820	0,02270	1,13	0,63
17,0	17,5	6	1,1221	1,0728	0,04932	0,02324	1,16	0,97
17,5	18,0	4	1,1204	1,0700	0,05041	0,02377	1,19	1,49
18,0	18,5	3	1,1188	1,0674	0,05145	0,02428	1,21	2,02
18,5	19,0	5	1,1172	1,0648	0,05245	0,02478	1,24	1,24
19,0	19,5	8	1,1157	1,0623	0,05343	0,02525	1,26	0,79
19,5	20,0	8	1,1142	1,0598	0,05437	0,02572	1,29	0,80
20,0	20,5	10	1,1127	1,0574	0,05528	0,02616	1,31	0,65
20,5	21,0	10	1,1112	1,0550	0,05616	0,02660	1,33	0,67
21,0	21,5	10	1,1098	1,0528	0,05701	0,02702	1,35	0,68
21,5	22,0	10	1,1084	1,0505	0,05784	0,02743	1,37	0,69
22,0	22,5	12	1,1070	1,0483	0,05865	0,02783	1,39	0,58
22,5	23,0	12	1,1056	1,0462	0,05943	0,02822	1,41	0,59
23,0	23,5	11	1,1043	1,0441	0,06019	0,02860	1,43	0,65
23,5	24,0	13	1,1030	1,0421	0,06093	0,02897	1,45	0,56
24,0	24,5	16	1,1017	1,0401	0,06165	0,02933	1,47	0,46
24,5	25,0	16	1,1004	1,0381	0,06235	0,02968	1,48	0,46
25,0	25,5	13	1,0992	1,0373	0,06194	0,02951	1,48	0,57
25,5	26,0	15	1,0980	1,0364	0,06154	0,02933	1,47	0,49
26,0	26,5	21	1,0968	1,0356	0,06115	0,02917	1,46	0,35
26,5	27,0	15	1,0956	1,0348	0,06078	0,02900	1,45	0,48
27,0	27,5	15	1,0944	1,0340	0,06042	0,02885	1,44	0,48
27,5	28,0	26	1,0933	1,0332	0,06007	0,02870	1,43	0,28
28,0	28,5	22	1,0922	1,0324	0,05973	0,02855	1,43	0,32
28,5	29,0	31	1,0910	1,0316	0,05940	0,02841	1,42	0,23
29,0	29,5	35	1,0899	1,0309	0,05908	0,02827	1,41	0,20
29,5	30,0	20	1,0887	1,0301	0,05861	0,02806	1,40	0,35
30,0	30,5	15	1,0873	1,0293	0,05798	0,02778	1,39	0,46
30,5	31,0	16	1,0859	1,0286	0,05737	0,02750	1,38	0,43
31,0	31,5	65	1,0846	1,0278	0,05676	0,02723	1,36	0,10
31,5	32,0	-	1,0832	1,0271	0,05618	0,02697	1,35	0,16
32,0	32,5	-	1,0819	1,0263	0,05560	0,02671	1,34	0,16
32,5	33,0	-	1,0806	1,0256	0,05504	0,02645	1,32	0,15
33,0	33,5	-	1,0793	1,0249	0,05448	0,02620	1,31	0,15
33,5	34,0	-	1,0781	1,0241	0,05394	0,02596	1,30	0,15
34,0	34,5	-	1,0768	1,0234	0,05341	0,02572	1,29	0,15
34,5	35,0	20	1,0756	1,0227	0,05289	0,02548	1,27	0,32
35,0	35,5	36	1,0744	1,0220	0,05239	0,02525	1,26	0,18
35,5	36,0	57	1,0732	1,0213	0,05189	0,02503	1,25	0,11
36,0	36,5	76	1,0720	1,0206	0,05140	0,02481	1,24	0,08
36,5	37,0	43	1,0708	1,0199	0,05092	0,02459	1,23	0,14
37,0	37,5	36	1,0697	1,0192	0,05044	0,02437	1,22	0,17
37,5	38,0	30	1,0685	1,0185	0,04998	0,02416	1,21	0,20
38,0	38,5	24	1,0674	1,0178	0,04953	0,02396	1,20	0,25
Σ							75,34	36,86

En este caso, al realizar el análisis con la curva de relación de vacíos - esfuerzo del Punto de Muestreo 7, se obtiene un asentamiento de 36,86 cm, menor que al utilizar el Punto de Muestreo 4.

4.2.1.3 Asentamientos en P1 utilizando la curva promedio de relación de vacíos - esfuerzo

Con el fin de apreciar la variación de los asentamientos al utilizar distintas curvas de relación de vacíos - esfuerzo, se realizó el cálculo utilizando la curva promedio, cuyos valores se pueden revisar en el Cuadro 3.11.

Cuadro 4.7 Asentamientos en P1, Curva promedio

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH (cm)	ΔH _{ajustado} (cm)
De	A							
0,0	0,5	5	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	5	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	2	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	2	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	7	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	4	1,5274	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	5	1,5200	1,5200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	4	1,5168	1,5128	0,00403	0,00160	0,08	0,10
4,0	4,5	4	1,5138	1,5064	0,00738	0,00294	0,15	0,18
4,5	5,0	4	1,5109	1,5007	0,01023	0,00407	0,20	0,25
5,0	5,5	5	1,5081	1,4955	0,01267	0,00505	0,25	0,25
5,5	6,0	5	1,5055	1,4907	0,01479	0,00590	0,30	0,30
6,0	6,5	6	1,5030	1,4859	0,01712	0,00684	0,34	0,28
6,5	7,0	6	1,5007	1,4804	0,02022	0,00809	0,40	0,34
7,0	7,5	16	1,4984	1,4753	0,02304	0,00922	0,46	0,14
7,5	8,0	10	1,4962	1,4706	0,02563	0,01027	0,51	0,26
8,0	8,5	5	1,4941	1,4661	0,02801	0,01123	0,56	0,56
8,5	9,0	4	1,4921	1,4618	0,03021	0,01212	0,61	0,76
9,0	9,5	3	1,4901	1,4578	0,03226	0,01295	0,65	1,08
9,5	10,0	3	1,4882	1,4540	0,03417	0,01373	0,69	1,14
10,0	10,5	4	1,4859	1,4504	0,03549	0,01428	0,71	0,89
10,5	11,0	5	1,4835	1,4470	0,03653	0,01471	0,74	0,74
11,0	11,5	6	1,4812	1,4437	0,03749	0,01511	0,76	0,63
11,5	12,0	5	1,4789	1,4406	0,03839	0,01549	0,77	0,77
12,0	12,5	5	1,4768	1,4375	0,03922	0,01584	0,79	0,79
12,5	13,0	7	1,4746	1,4339	0,04076	0,01647	0,82	0,59
13,0	13,5	10	1,4726	1,4299	0,04270	0,01727	0,86	0,43
13,5	14,0	8	1,4706	1,4260	0,04455	0,01803	0,90	0,56
14,0	14,5	9	1,4686	1,4223	0,04632	0,01876	0,94	0,52
14,5	15,0	7	1,4667	1,4187	0,04801	0,01946	0,97	0,70
15,0	15,5	8	1,4648	1,4152	0,04963	0,02014	1,01	0,63
15,5	16,0	5	1,4630	1,4118	0,05119	0,02078	1,04	1,04
16,0	16,5	5	1,4613	1,4086	0,05268	0,02140	1,07	1,07
16,5	17,0	9	1,4595	1,4054	0,05412	0,02200	1,10	0,61
17,0	17,5	6	1,4578	1,4023	0,05551	0,02258	1,13	0,94
17,5	18,0	4	1,4562	1,3993	0,05685	0,02314	1,16	1,45
18,0	18,5	3	1,4546	1,3964	0,05814	0,02369	1,18	1,97
18,5	19,0	5	1,4530	1,3936	0,05939	0,02421	1,21	1,21
19,0	19,5	8	1,4514	1,3908	0,06060	0,02472	1,24	0,77

Cuadro 4.7 Asentamientos en P1, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH(cm)	ΔH _{ajustado} (cm)
De	A							
19,5	20,0	8	1,4499	1,3882	0,06177	0,02521	1,26	0,79
20,0	20,5	10	1,4484	1,3870	0,06141	0,02508	1,25	0,63
20,5	21,0	10	1,4470	1,3859	0,06108	0,02496	1,25	0,62
21,0	21,5	10	1,4456	1,3848	0,06076	0,02484	1,24	0,62
21,5	22,0	10	1,4442	1,3837	0,06045	0,02473	1,24	0,62
22,0	22,5	12	1,4428	1,3826	0,06016	0,02463	1,23	0,51
22,5	23,0	12	1,4414	1,3816	0,05989	0,02453	1,23	0,51
23,0	23,5	11	1,4401	1,3805	0,05962	0,02443	1,22	0,56
23,5	24,0	13	1,4388	1,3794	0,05937	0,02435	1,22	0,47
24,0	24,5	16	1,4375	1,3784	0,05914	0,02426	1,21	0,38
24,5	25,0	16	1,4362	1,3774	0,05886	0,02416	1,21	0,38
25,0	25,5	13	1,4345	1,3763	0,05811	0,02387	1,19	0,46
25,5	26,0	15	1,4327	1,3753	0,05738	0,02359	1,18	0,39
26,0	26,5	21	1,4310	1,3743	0,05667	0,02331	1,17	0,28
26,5	27,0	15	1,4293	1,3733	0,05597	0,02304	1,15	0,38
27,0	27,5	15	1,4276	1,3723	0,05529	0,02278	1,14	0,38
27,5	28,0	26	1,4260	1,3714	0,05463	0,02252	1,13	0,22
28,0	28,5	22	1,4244	1,3704	0,05398	0,02227	1,11	0,25
28,5	29,0	31	1,4228	1,3695	0,05335	0,02202	1,10	0,18
29,0	29,5	35	1,4212	1,3685	0,05274	0,02178	1,09	0,16
29,5	30,0	20	1,4197	1,3676	0,05214	0,02155	1,08	0,27
30,0	30,5	15	1,4182	1,3666	0,05155	0,02132	1,07	0,36
30,5	31,0	16	1,4167	1,3657	0,05098	0,02109	1,05	0,33
31,0	31,5	65	1,4152	1,3648	0,05042	0,02087	1,04	0,08
31,5	32,0	-	1,4137	1,3639	0,04987	0,02066	1,03	0,12
32,0	32,5	-	1,4123	1,3630	0,04933	0,02045	1,02	0,12
32,5	33,0	-	1,4109	1,3610	0,04987	0,02068	1,03	0,12
33,0	33,5	-	1,4095	1,3589	0,05063	0,02101	1,05	0,12
33,5	34,0	-	1,4081	1,3567	0,05139	0,02134	1,07	0,12
34,0	34,5	-	1,4068	1,3546	0,05215	0,02167	1,08	0,13
34,5	35,0	20	1,4054	1,3525	0,05291	0,02200	1,10	0,27
35,0	35,5	36	1,4041	1,3504	0,05367	0,02232	1,12	0,16
35,5	36,0	57	1,4028	1,3483	0,05443	0,02265	1,13	0,10
36,0	36,5	76	1,4015	1,3463	0,05519	0,02298	1,15	0,08
36,5	37,0	43	1,4002	1,3442	0,05595	0,02331	1,17	0,14
37,0	37,5	36	1,3989	1,3422	0,05670	0,02364	1,18	0,16
37,5	38,0	30	1,3977	1,3402	0,05746	0,02397	1,20	0,20
38,0	38,5	24	1,3964	1,3382	0,05822	0,02429	1,21	0,25
Σ						66,00	33,62	

El resultado es similar a los calculados a partir de los puntos de muestreo cercanos. Por lo tanto, en casos donde no se tenga un punto de muestreo cercano, utilizar la curva promedio es una buena aproximación.

Los cálculos para los restantes nueve sitios de perforación se pueden consultar en el Apéndice C.

4.2.2 Resumen de asentamientos

A continuación se presenta un resumen de los resultados de los asentamientos obtenidos en los 10 diferentes sitios que fueron analizados.

Cuadro 4.8 Resumen de asentamientos

Sitio	Nivel freático (m)	Asentamientos (cm)					
		Curva de punto cercano 1	Curva de punto cercano 2	Promedio puntos cercanos	Curva promedio	Mínimo	Máximo
P1	3,5	42,34	36,86	39,6	33,62	33,62	42,34
P2	18,5	0,43	-	0,43	0,39	0,39	0,43
P3	3,0	21,32	-	21,32	31,15	21,32	31,15
P4	5,0	19,49	-	19,49	29,66	19,49	29,66
P5	15,0	1,37	-	1,37	2,57	1,37	2,57
P7	7,5	4,82	2,78	3,8	3,95	2,78	4,82
P8	7,5	40,69	-	40,69	34,37	34,37	40,69
P9	3,0	30,48	-	30,48	31,63	30,48	31,63
P10	2,5	33,85	-	33,85	32,64	32,64	33,85
P12	3,0	22,95	-	22,95	25,09	22,95	25,09

Como se vio anteriormente, para algunos de los sitios de perforación se disponía de más de una curva de relación de vacíos - esfuerzo debido a la cercanía de los Puntos de Muestreo. Esta situación se dio específicamente en P1, en la que se utilizaron los puntos de muestreo 4 y 7 y en P7, en la que se utilizaron los puntos de muestreo 5 y 6. Para estos dos casos se agregaron al Cuadro 4.8 las columnas "Curva de punto cercano 2" y "Promedio puntos cercanos". Los valores de esta columna son los que se muestran en el Mapa 4.1.

En el Cuadro 4.8 también se presentan, los valores de asentamientos obtenidos mediante el uso de la curva promedio de relación de vacíos - esfuerzo, de forma que se pueda comparar la variación que existe entre utilizar una curva general para todo el sitio. Los valores de esta columna son los que se muestran en el Mapa 4.2.

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

En las últimas columnas del Cuadro 4.8 se agrupan los valores mínimo y máximo obtenidos según los diferentes escenarios. Estos valores son los que se muestran en el Mapa 4.3 y en el Mapa 4.4, respectivamente.

Estos mapas se elaboraron a partir del método de interpolación espacial IDW (*Inverse Distance Weighted*), o método del inverso de la distancia del Sistema de Información Geográfica *ArcGIS*.

El método de interpolación del inverso de la distancia es el más comúnmente utilizado para interpolar a partir de puntos dispersos. Se basa en el supuesto de que la superficie que se interpola debe ser influenciada mayormente por los puntos cercanos que por los puntos lejanos. Esta superficie viene a ser un promedio ponderado de los puntos dispersos, y la ponderación asignada a cada uno de estos puntos disminuye con la distancia a que se encuentre cada uno del punto que se desea interpolar.

Una vez aplicado este método, *ArcGIS* ubica un elemento tipo *Raster* sobre la zona de estudio, que despliega los resultados de la interpolación según los rangos que se seleccionen, a cada uno de los cuales se le asigna un color para la interpretación del mapa. En este caso particular, se agruparon los valores de asentamientos cada 5 cm.

Estos mapas representan el resultado de los asentamientos obtenidos en el casco central de Santiago, asumiendo un abatimiento del nivel freático en el área atravesada por las galerías que se muestran en la Figura 1.1. Conforme aumenta la distancia desde las galerías, los asentamientos van a ser menores, por lo que debe suponerse que estos disminuyen gradualmente con la distancia y no de forma abrupta, como podría mal interpretarse en las áreas que aparecen en blanco.



Simbología

- Calles
- Asentamientos (cm)**
- 0-5
- 5-10
- 10-15
- 15-20
- 20-25
- 25-30
- 30-35
- 35-40

Tomar en cuenta las limitaciones. (Sección 1.7)

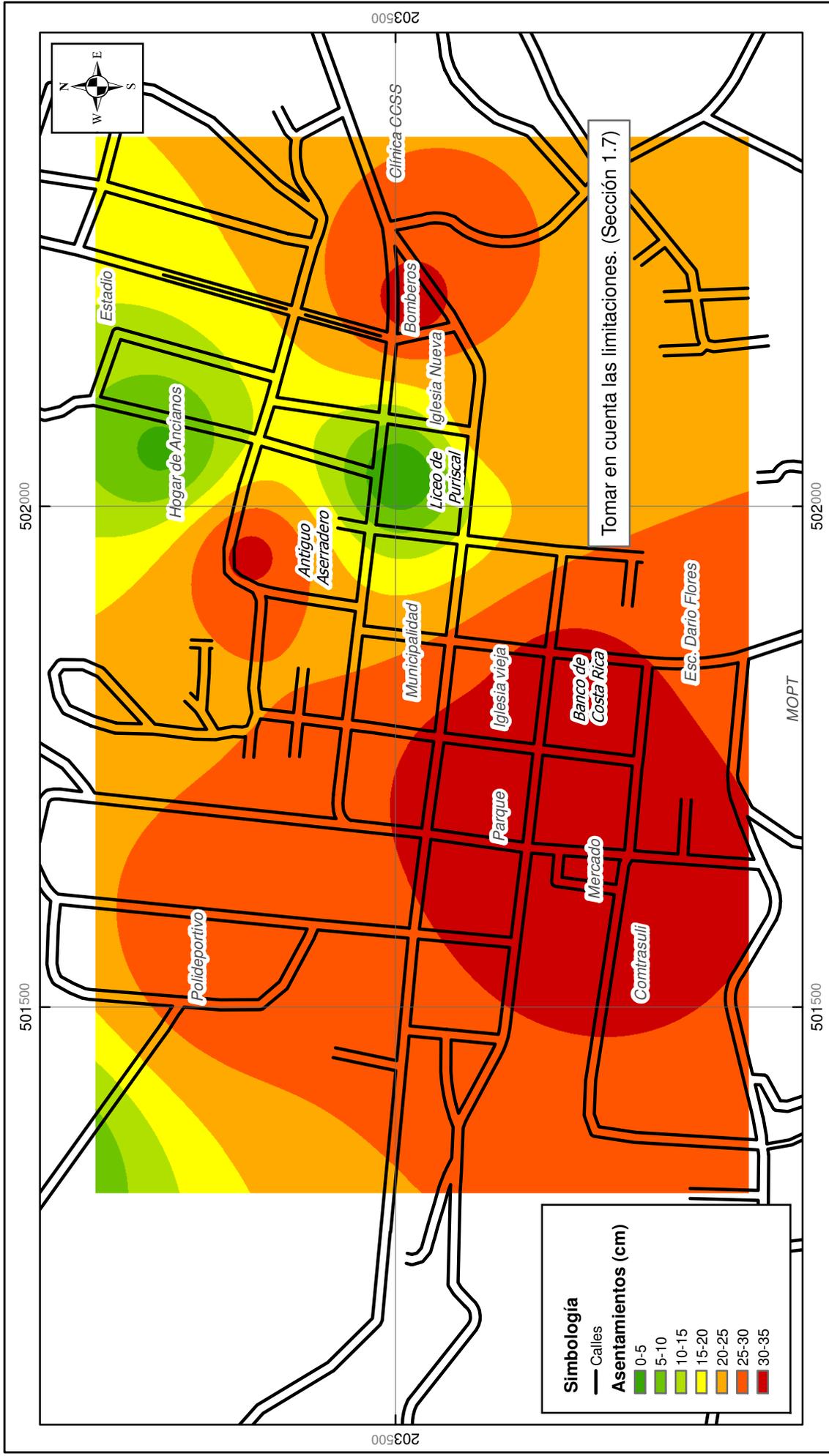
Mapa 4.1 Asentamientos utilizando curvas de relación de vacíos - esfuerzo de puntos de muestreo cercanos.

Asentamientos causados por un abatimiento en el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Fuentes: MOPT, IMNSA, Ingoetec
Insuma S.A

Elaborado por:
Gabriel Corrales J.
PRODUS
Programa de Investigación en
Desarrollo Urbano Sostenible
Universidad de Costa Rica

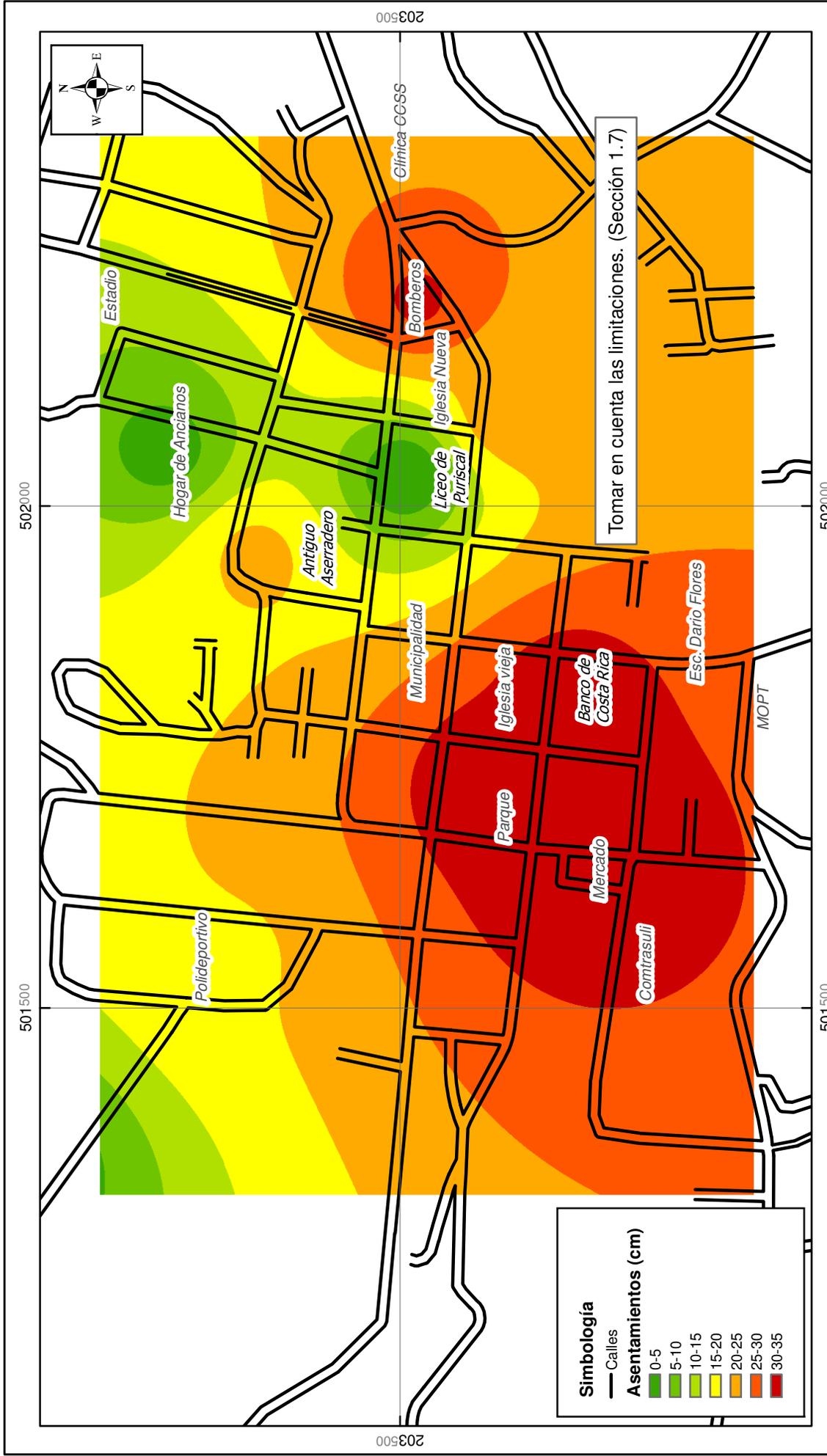
0 50 100 200 300
Metros
Escala 1:5.500

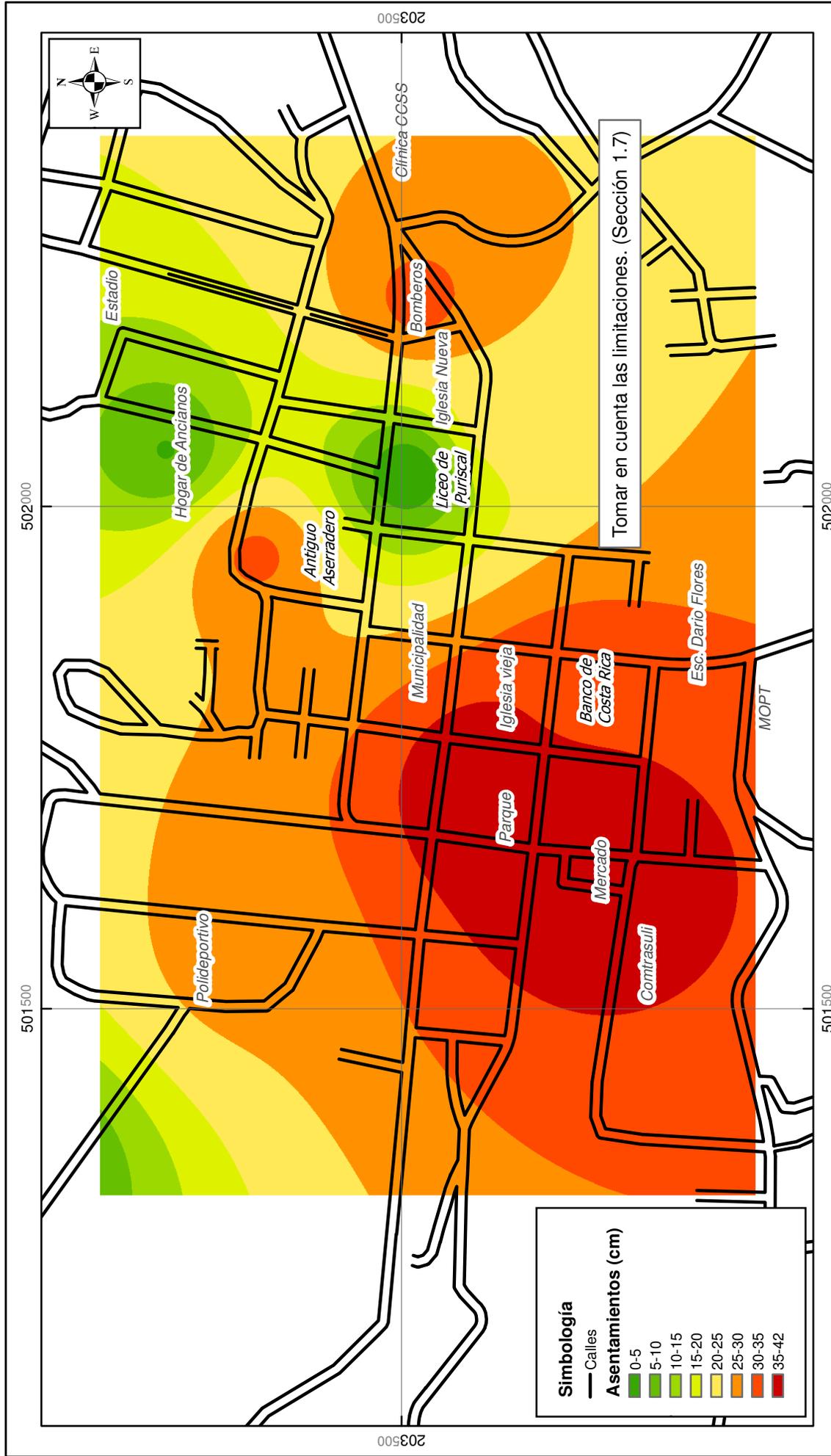


Mapa 4.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos - esfuerzo

Asentamientos causados por un abatimiento en el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Fuentes: MOPT, IMNSA, Ingoetec Insuma S.A





Mapa 4.4 Asentamientos máximos calculados

Asentamientos causados por un abatimiento en el nivel freático en la Ciudad de Santiago de Puriscal

Fuentes: MOPT, IMNSA, Ingoetec Insuma S.A



Elaborado por:
Gabriel Corrales J.
PRODUS
Programa de Urbanización Sostenible
Universidad de Costa Rica

4.3 Proyecciones en el tiempo

En esta sección se explican los cálculos del tiempo que tardarían en ocurrir los asentamientos y se presentan gráficos con la variación de los asentamientos en aquellos puntos donde se obtuvieron resultados de más de 5 cm de asentamiento.

Por lo tanto, se muestran las proyecciones para los siguientes puntos de perforación: P1 (Parque), P3 (Antiguo aserradero), P8 (Mercado), P9 (Bomberos), P10 (Banco de Costa Rica) y P12 (Estación de Servicios).

Estos cálculos se llevaron a cabo utilizando las Ecuaciones 13, 14 y 15, que se pueden consultar en la Sección 1.8.7. A su vez, C_v se obtuvo a partir de los gráficos de deformación – tiempo de las muestras de los sitios más cercanos a cada punto de perforación, utilizando la Ecuación 20, de la Sección 3.4.2.

Los gráficos de deformación - tiempo que se utilizaron para obtener los coeficientes de consolidación fueron los de las secuencias de carga de los ensayos de consolidación en que se tuvieron los valores de esfuerzos más cercanos a los esfuerzos efectivos experimentados en el punto medio de la capa compresible, para cada caso.

Según el conocimiento que se tiene del medio, no se sabe si la capa de suelo compresible funciona como frontera drenante por ascensión capilar o si la única frontera drenante serían las galerías filtrantes. Para el primer caso, en que se tendrían dos fronteras drenantes, se usó $H = 10$ m en la Ecuación 13, y $H = 20$ m para el caso en que sea una sola frontera drenante. Ambos escenarios se muestran en cada una de las proyecciones, a continuación.

4.3.1 Proyección en P1 (Parque)

Para el cálculo de C_v en P1 se disponía de dos curvas de deformación – tiempo: las del Punto de Muestreo 4 y las del Punto de Muestreo 7. Además, como se explica en la sección anterior, los asentamientos en este sitio se calcularon utilizando estos dos puntos de muestreo, por lo que se obtuvieron tres distintas posibilidades para cada escenario, que se muestran en el Cuadro 4.8.

De los puntos en los que se realizó la proyección del tiempo, sólo en P1 se tuvieron tres escenarios distintos, por lo que este es el único gráfico en que se muestran tres distintas tendencias: la de los asentamientos obtenidos mediante el uso de curvas cercanas, los asentamientos mínimos calculados y los asentamientos máximos calculados.

4.3.1.1 Proyecciones utilizando el Punto de Muestreo 4

$\Delta\sigma'$ en punto medio de capa compresible: 156 kPa

$\Delta\sigma'$ de gráfico deformación – tiempo utilizado: 129 kPa

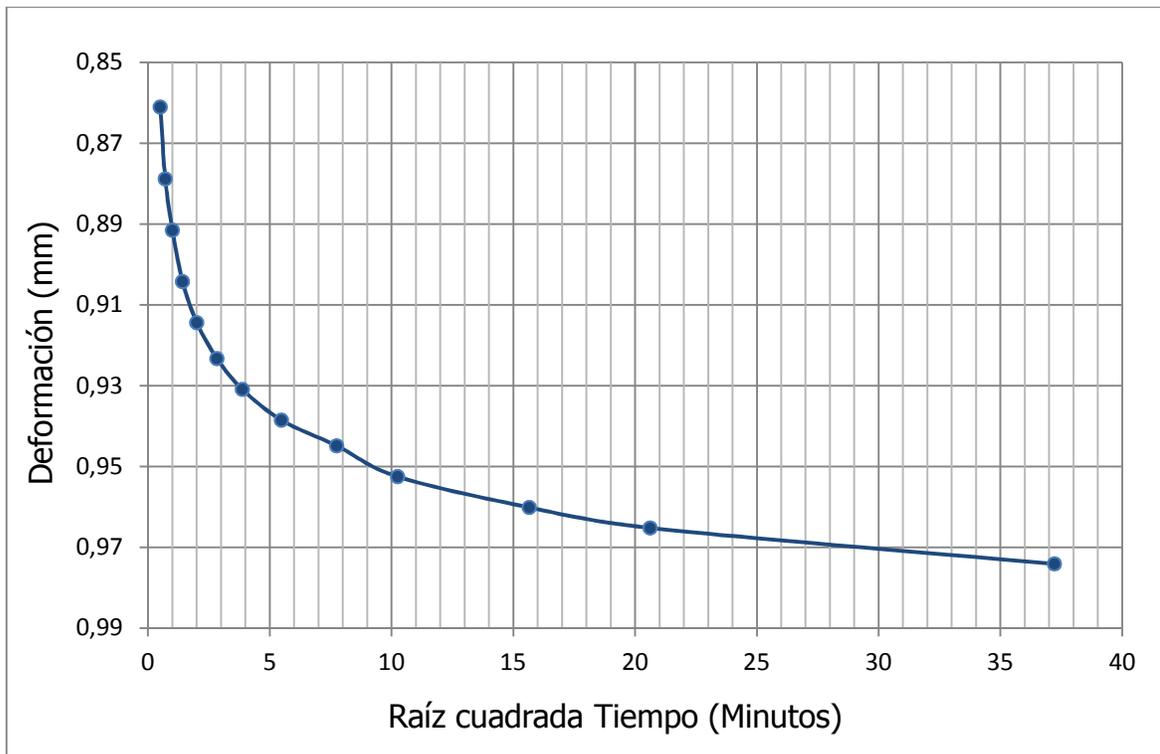


Figura 4.4 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 4 (129 kPa)

$$H_{D50} = \frac{2,397 \text{ cm}}{2}$$

$$\sqrt{t_{90}} = \sqrt{2,3 \text{ min}}$$

Ahora, sustituyendo en la Ecuación 29 se tiene:

$$c_v = \frac{0,848 * \left(\frac{2,397 \text{ cm}}{2}\right)^2}{2,3^2 \text{ min}}$$

$$c_v = 0,23 \text{ cm}^2/\text{min}$$

Luego, con el fin de obtener una curva de proyección, se calculó, a partir de este valor de Cv, el tiempo necesario para distintos grados de consolidación. El Cuadro 4.9 muestra estos datos.

Cuadro 4.9 Tiempo para distintos grados de consolidación en P1, Punto de Muestreo 4

U(%)	Tv	Fracción de Asentamientos (cm)			2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Cercano	Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	3,96	3,362	4,234	0,06	0,26
20%	0,0314	7,92	6,724	8,468	0,26	1,04
30%	0,0707	11,88	10,086	12,702	0,58	2,34
40%	0,126	15,84	13,448	16,936	1,04	4,17
50%	0,197	19,8	16,81	21,17	1,63	6,52
60%	0,286	23,76	20,172	25,404	2,37	9,46
70%	0,403	27,72	23,534	29,638	3,33	13,33
80%	0,567	31,68	26,896	33,872	4,69	18,76
90%	0,848	35,64	30,258	38,106	7,01	28,06
99%	1,781	39,204	33,2838	41,9166	14,73	58,93

Los valores de la segunda columna (Tv) del Cuadro 4.9, se calcularon a partir de las Ecuaciones 14 y 15. Las siguientes tres columnas (fracción de asentamientos cercanos, mínimo y máximo), hacen referencia a los valores del mismo nombre del Cuadro 4.28. Las dos últimas columnas, que indican el tiempo, se calcularon a partir de la Ecuación 13, utilizando H = 10 m para el caso en que se tengan dos fronteras drenantes y H = 20 m para el caso en que se tenga una sola frontera drenante, respectivamente. Los cálculos presentados en adelante, se obtuvieron siguiendo estos mismos procedimientos.

4.3.1.2 Proyecciones utilizando el Punto de Muestreo 7

$\Delta\sigma'$ en punto medio de capa compresible: 156 kPa

$\Delta\sigma'$ de gráfico deformación – tiempo utilizado: 126 kPa

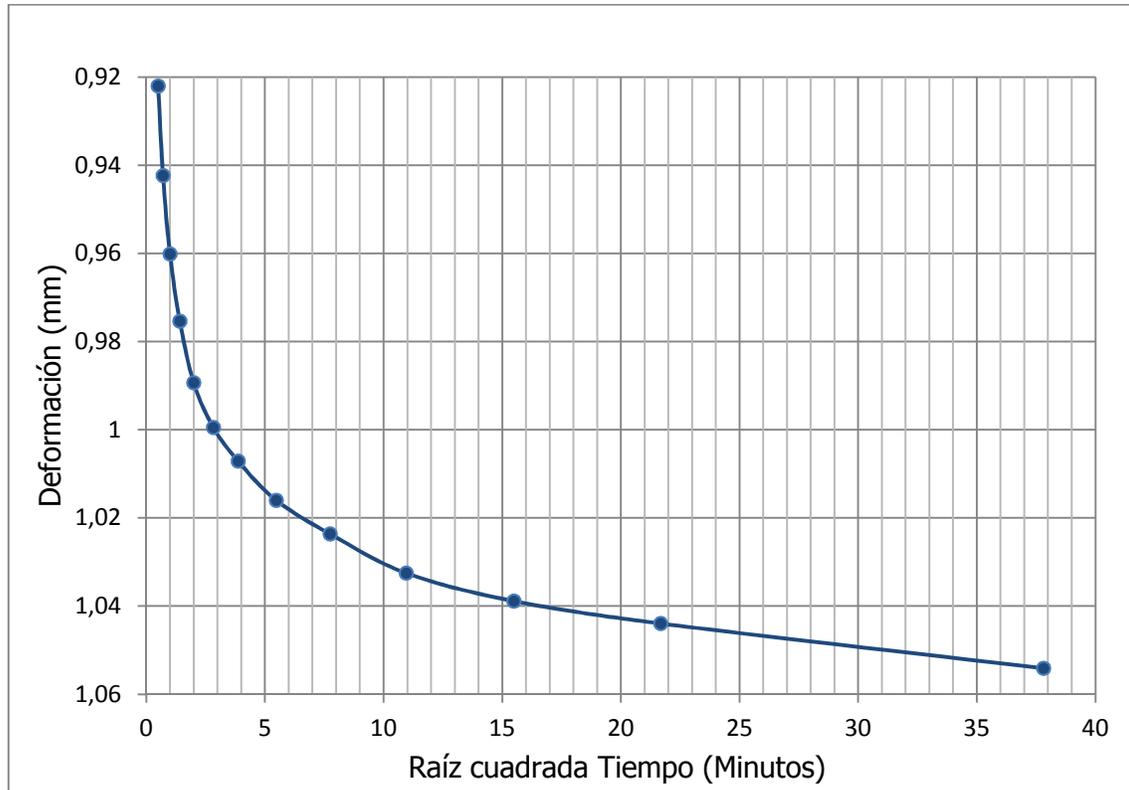


Figura 4.5 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 7 (126 kPa)

$$H_{D50} = \frac{2,122 \text{ cm}}{2}$$

$$\sqrt{t_{90}} = \sqrt{2,1 \text{ min}}$$

$$c_v = 0,2165 \text{ cm}^2/\text{min}$$

Cuadro 4.10 Tiempo para distintos grados de consolidación en P1, Punto de Muestreo 7

U(%)	T _v	Fracción de Asentamientos (cm)			2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Cercano	Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	3,96	3,362	4,234	0,07	0,28
20%	0,0314	7,92	6,724	8,468	0,28	1,10
30%	0,0707	11,88	10,086	12,702	0,62	2,49
40%	0,126	15,84	13,448	16,936	1,11	4,43
50%	0,197	19,8	16,81	21,17	1,73	6,92
60%	0,286	23,76	20,172	25,404	2,51	10,05
70%	0,403	27,72	23,534	29,638	3,54	14,17
80%	0,567	31,68	26,896	33,872	4,98	19,93
90%	0,848	35,64	30,258	38,106	7,45	29,81
99%	1,781	39,204	33,2838	41,9166	15,65	62,61

El tiempo obtenido para alcanzar la consolidación total es aproximadamente 15 años para el primer escenario, utilizando las dos distintas curvas de deformación - tiempo, y aproximadamente 60 años para el segundo escenario, por lo que resulta válido utilizar los valores promedio de los tiempos obtenidos para graficar la proyección de los asentamientos en el tiempo de P1, que se muestran en la Figura 4.6 para el primer escenario y en la Figura 4.7 para el segundo escenario. Se incluye también el valor medio (línea punteada) de los resultados mostrados en cada caso.

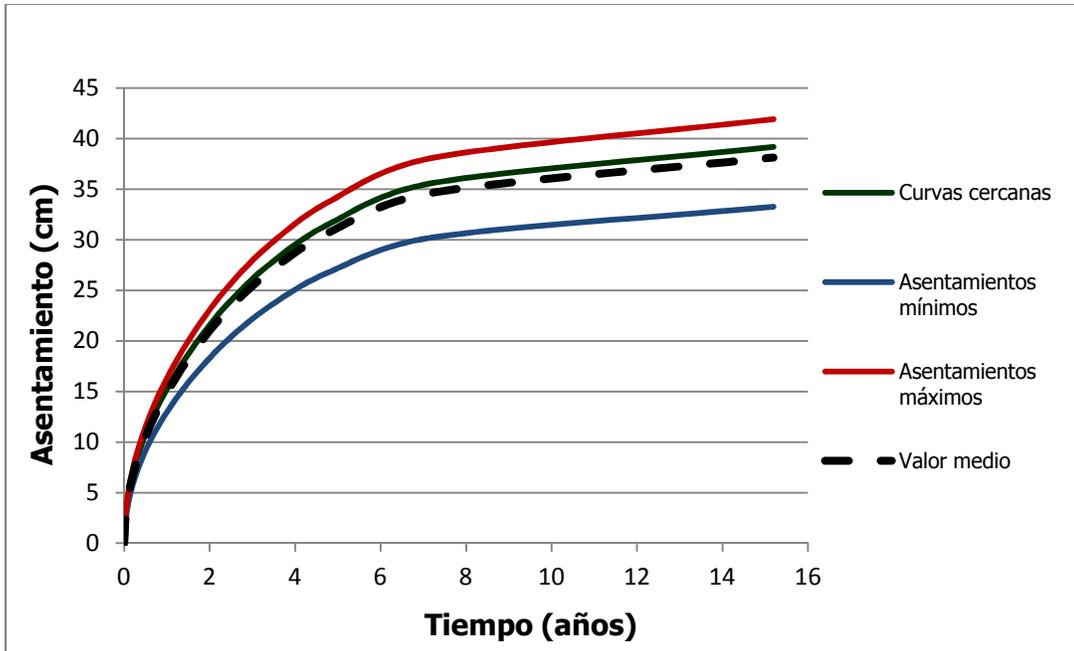


Figura 4.6 Proyección de asentamientos en el tiempo para P1 suponiendo dos fronteras drenantes

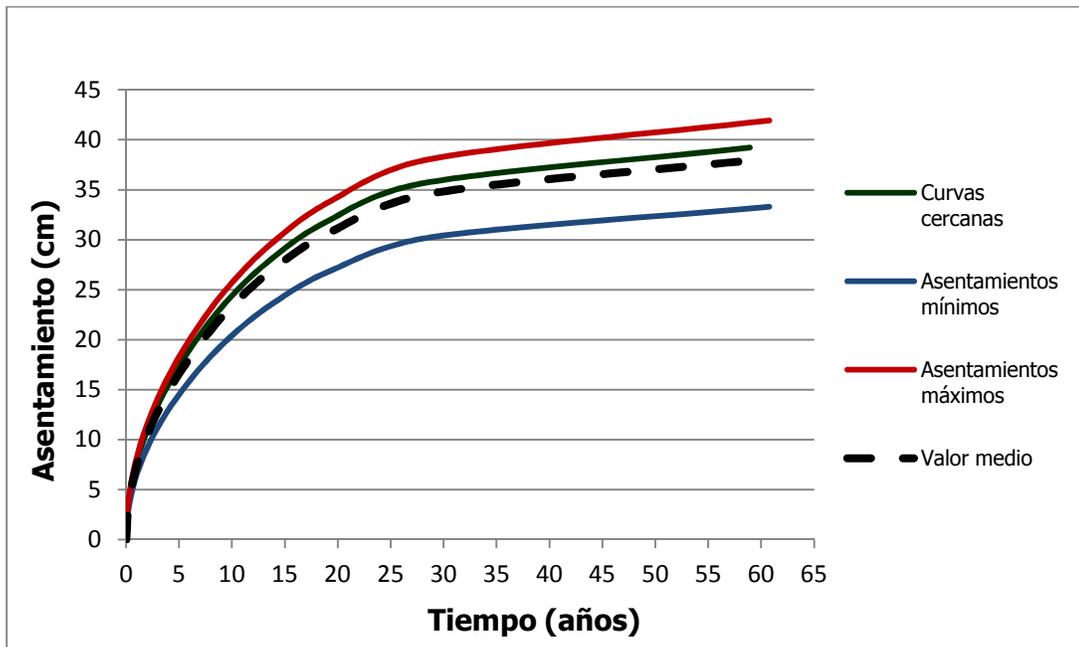


Figura 4.7 Proyección de asentamientos en el tiempo para P1 suponiendo una frontera drenante

Como se explicó anteriormente, P1 fue el único caso para el que se obtuvieron tres resultados distintos. En adelante, para los otros cinco casos donde se realizaron proyecciones del tiempo, se mostrarán únicamente el asentamiento mínimo, el asentamiento máximo y el valor medio entre estos.

4.3.2 Proyección en P3 (Antiguo Aserradero)

La curva de deformación – tiempo utilizada en este caso fue una de las obtenidas a partir del Punto de Muestreo 6.

$\Delta\sigma'$ en punto medio de capa compresible: 152 kPa

$\Delta\sigma'$ de gráfico deformación – tiempo utilizado: 106 kPa

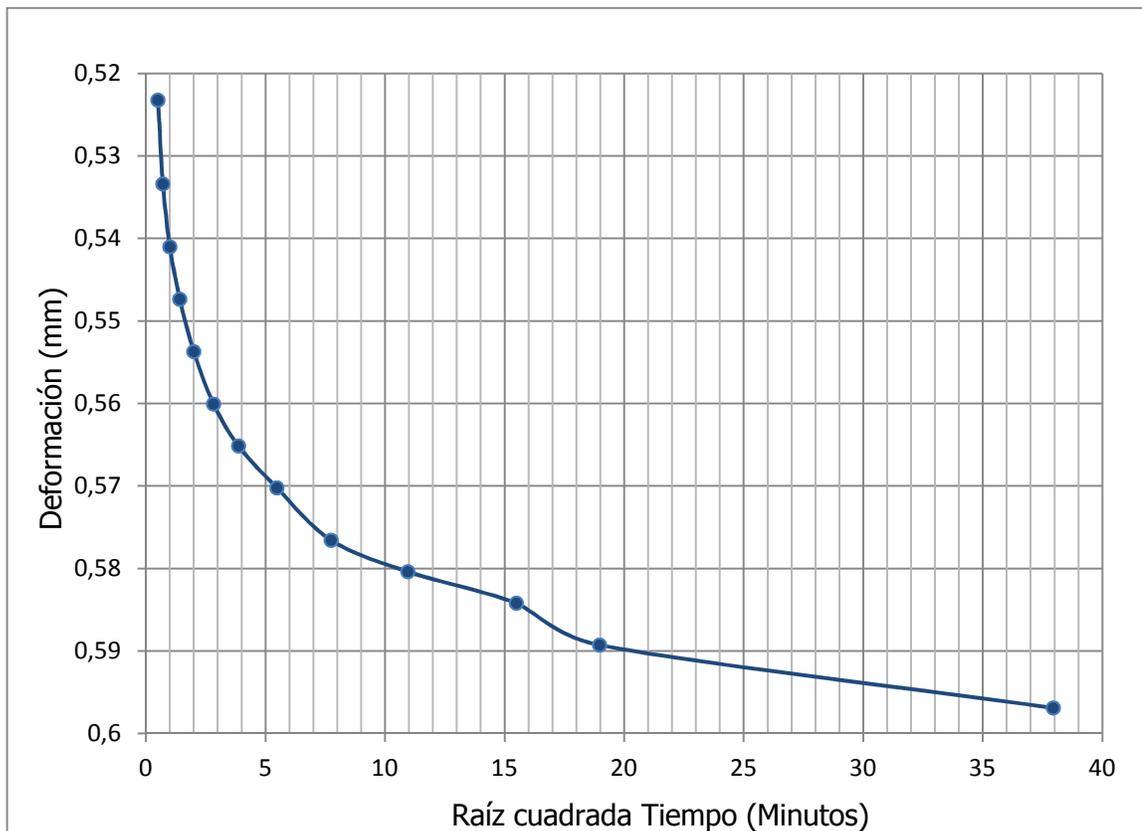


Figura 4.8 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 6 (106 kPa)

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

$$H_{D50} = \frac{2,167 \text{ cm}}{2}$$

$$\sqrt{t_{90}} = \sqrt{2,0 \text{ min}}$$

$$c_v = 0,2489 \text{ cm}^2/\text{min}$$

Cuadro 4.11 Tiempo para distintos grados de consolidación en P3, Punto de Muestreo 6

U(%)	T _v	Fracción de Asentamientos (cm)		2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	2,132	3,115	0,06	0,24
20%	0,0314	4,264	6,23	0,24	0,96
30%	0,0707	6,396	9,345	0,54	2,16
40%	0,126	8,528	12,46	0,96	3,85
50%	0,197	10,66	15,575	1,51	6,02
60%	0,286	12,792	18,69	2,19	8,74
70%	0,403	14,924	21,805	3,08	12,32
80%	0,567	17,056	24,92	4,33	17,34
90%	0,848	19,188	28,035	6,48	25,93
99%	1,781	21,1068	30,8385	13,61	54,46

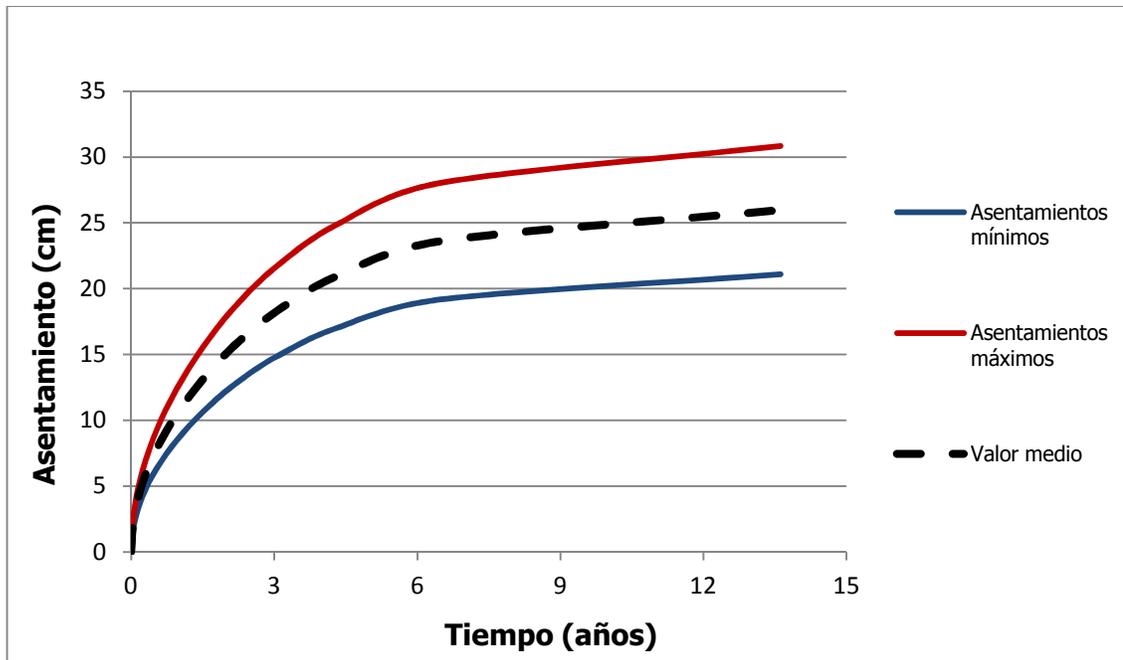


Figura 4.9 Proyección de asentamientos en el tiempo para P3 suponiendo dos fronteras drenantes

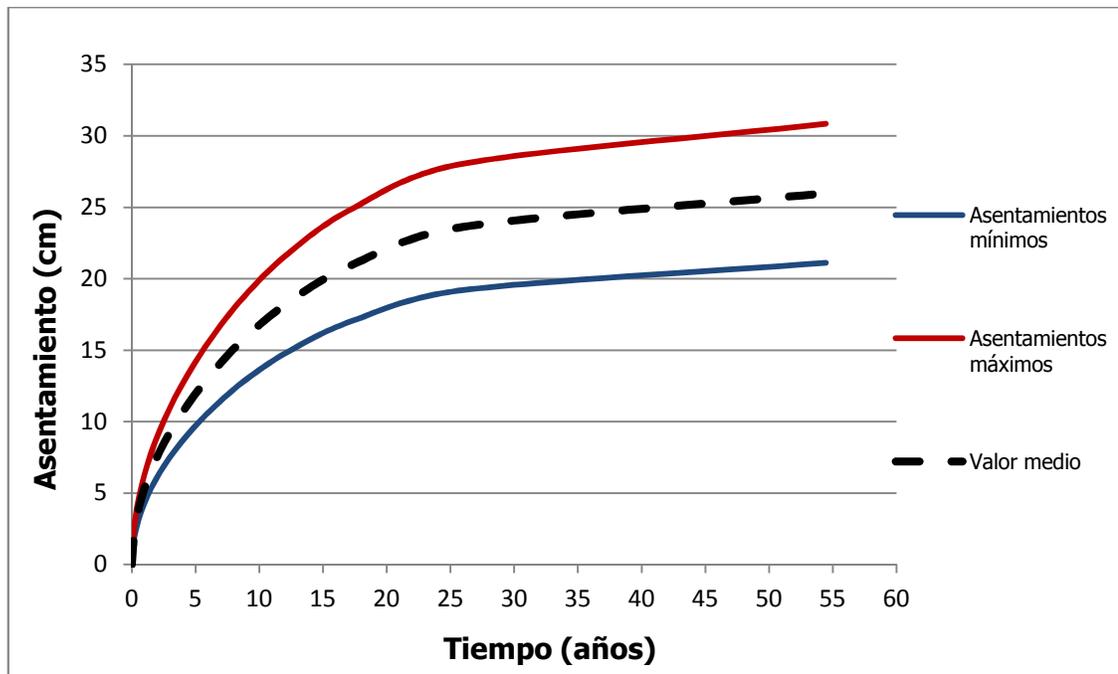


Figura 4.10 Proyección de asentamientos en el tiempo para P3 suponiendo una frontera drenante

4.3.3 Proyección en P8 (Mercado)

La curva de deformación - tiempo utilizada en este caso fue una de las obtenidas a partir del Punto de Muestreo 4. El cambio de esfuerzos en el punto medio de la capa compresible es de 118 kPa, por lo que se utilizó la misma curva que en P1 (Figura 4.4), se tiene por lo tanto, el mismo C_v de 0,23 cm²/min.

Cuadro 4.12 Tiempo para distintos grados de consolidación en P8, Punto de Muestreo 4

U(%)	T _v	Fracción de Asentamientos (cm)		2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	1,949	2,966	0,06	0,26
20%	0,0314	3,898	5,932	0,26	1,04
30%	0,0707	5,847	8,898	0,58	2,34
40%	0,126	7,796	11,864	1,04	4,17
50%	0,197	9,745	14,83	1,63	6,52
60%	0,286	11,694	17,796	2,37	9,46
70%	0,403	13,643	20,762	3,33	13,33
80%	0,567	15,592	23,728	4,69	18,76
90%	0,848	17,541	26,694	7,01	28,06
99%	1,781	19,2951	29,3634	14,73	58,93

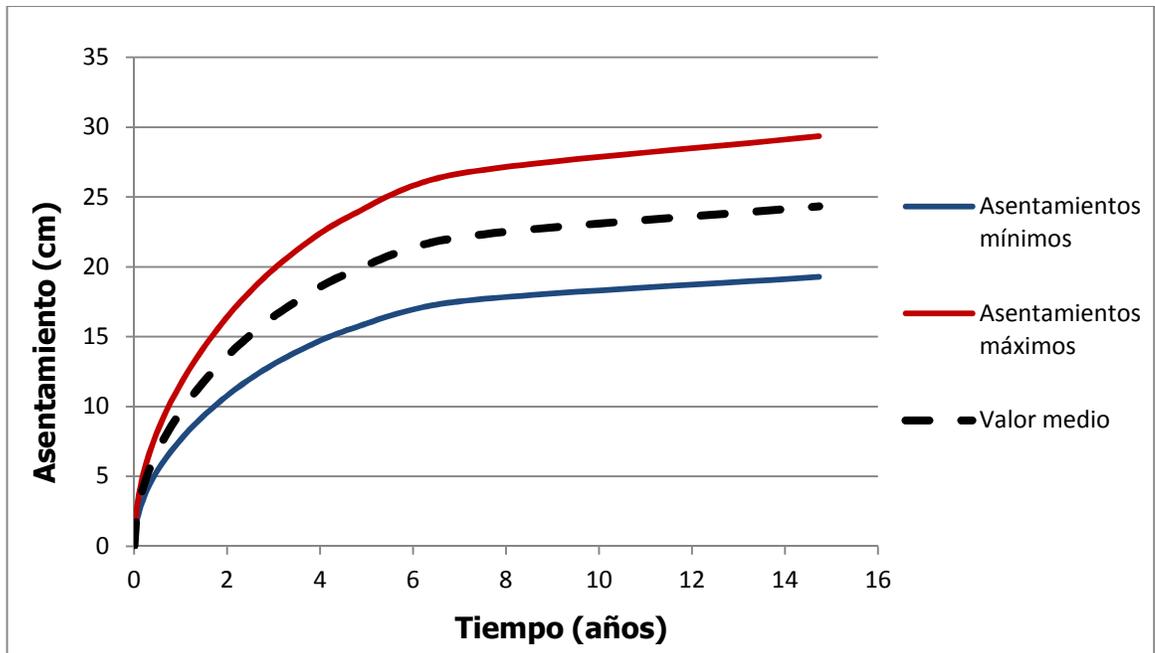


Figura 4.11 Proyección de asentamientos en el tiempo para P8 suponiendo dos fronteras drenantes

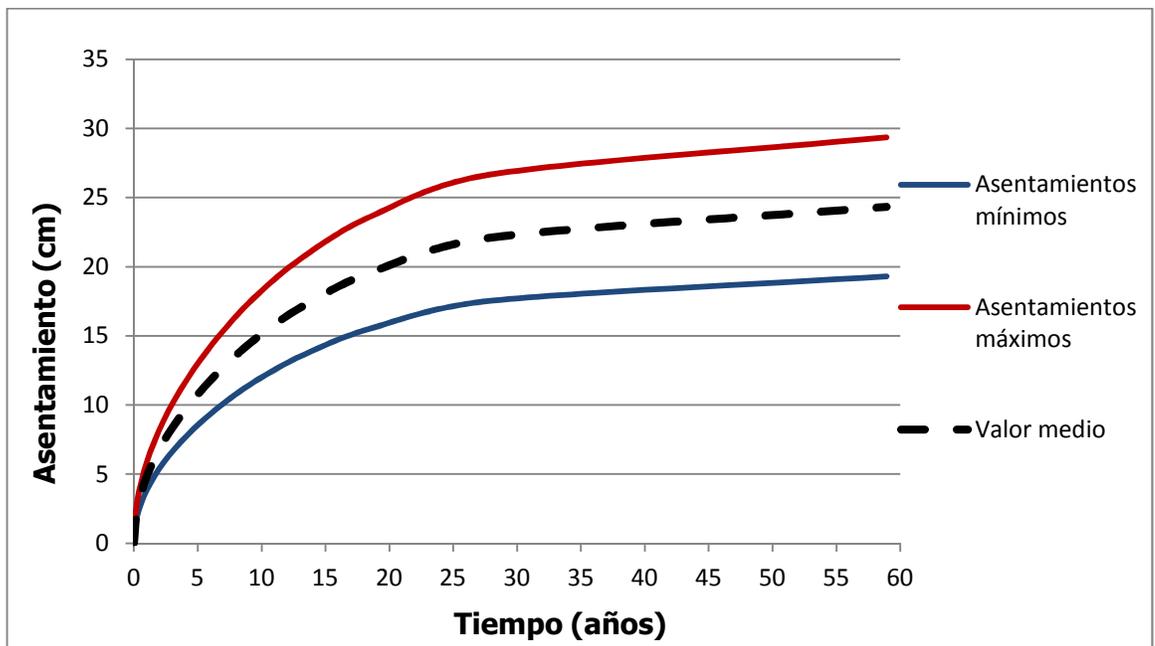


Figura 4.12 Proyección de asentamientos en el tiempo para P8 suponiendo una frontera drenante

4.3.4 Proyección en P9 (Bomberos)

La curva de deformación - tiempo utilizada en este caso fue una de las obtenidas a partir del Punto de Muestreo 2.

$\Delta\sigma'$ en punto medio de capa compresible: 88,29 kPa

$\Delta\sigma'$ de gráfico deformación - tiempo utilizado: 194,04 kPa

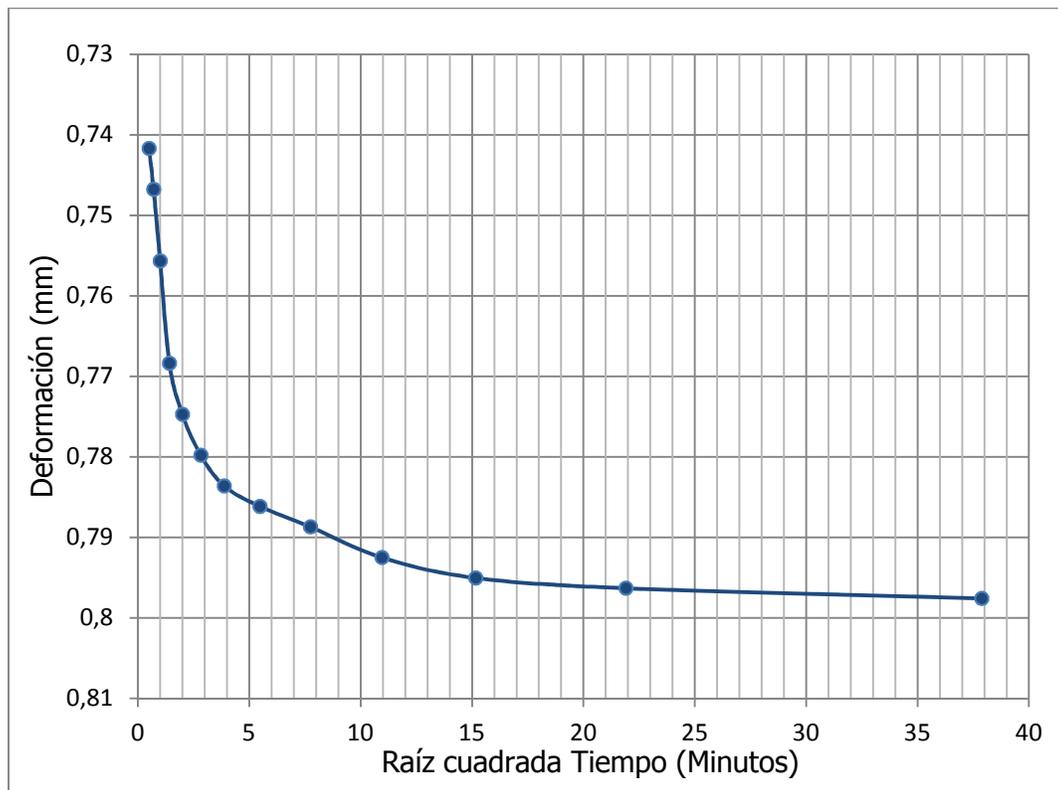


Figura 4.13 Gráfico deformación - tiempo Punto de Muestreo 3 (198 kPa)

$$H_{D50} = \frac{1,805 \text{ cm}}{2}$$

$$\sqrt{t_{90}} = \sqrt{2,0 \text{ min}}$$

$$c_v = 0,1727 \text{ cm}^2/\text{min}$$

Cuadro 4.13 Tiempo para distintos grados de consolidación en P9, Punto de Muestreo 2

U(%)	T _v	Fracción de Asentamientos (cm)		2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	3,048	3,163	0,09	0,35
20%	0,0314	6,096	6,326	0,35	1,38
30%	0,0707	9,144	9,489	0,78	3,12
40%	0,126	12,192	12,652	1,39	5,55
50%	0,197	15,24	15,815	2,17	8,68
60%	0,286	18,288	18,978	3,15	12,60
70%	0,403	21,336	22,141	4,44	17,76
80%	0,567	24,384	25,304	6,25	24,99
90%	0,848	27,432	28,467	9,34	37,37
99%	1,781	30,1752	31,3137	19,62	78,48

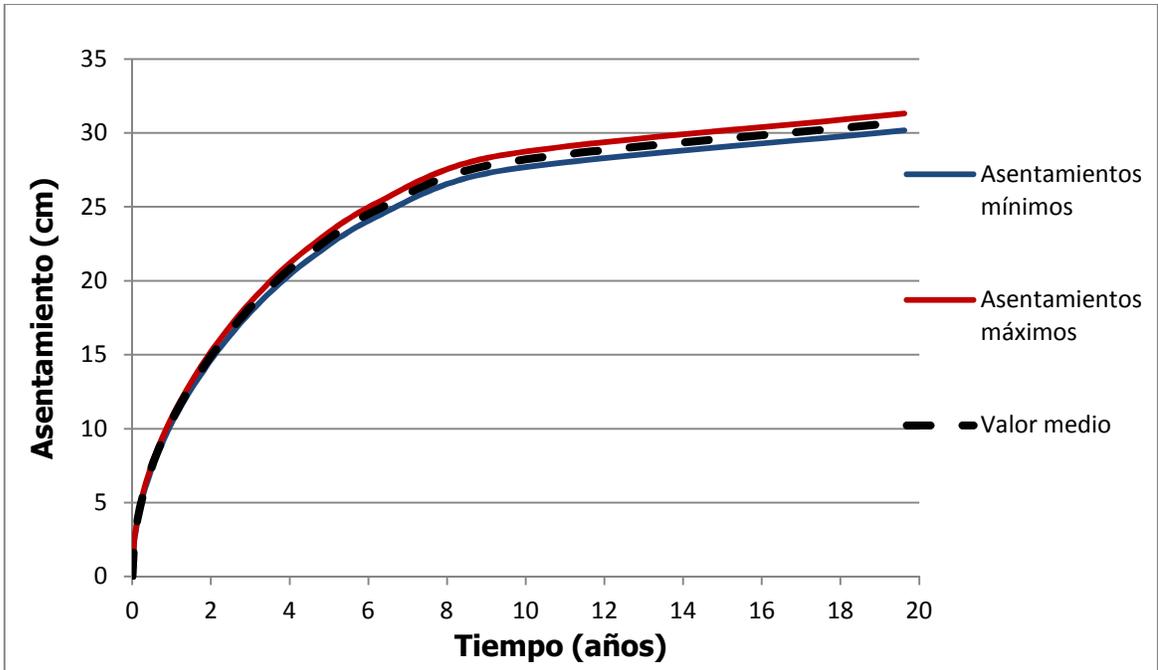


Figura 4.14 Proyección de asentamientos en el tiempo para P9 suponiendo dos fronteras drenantes

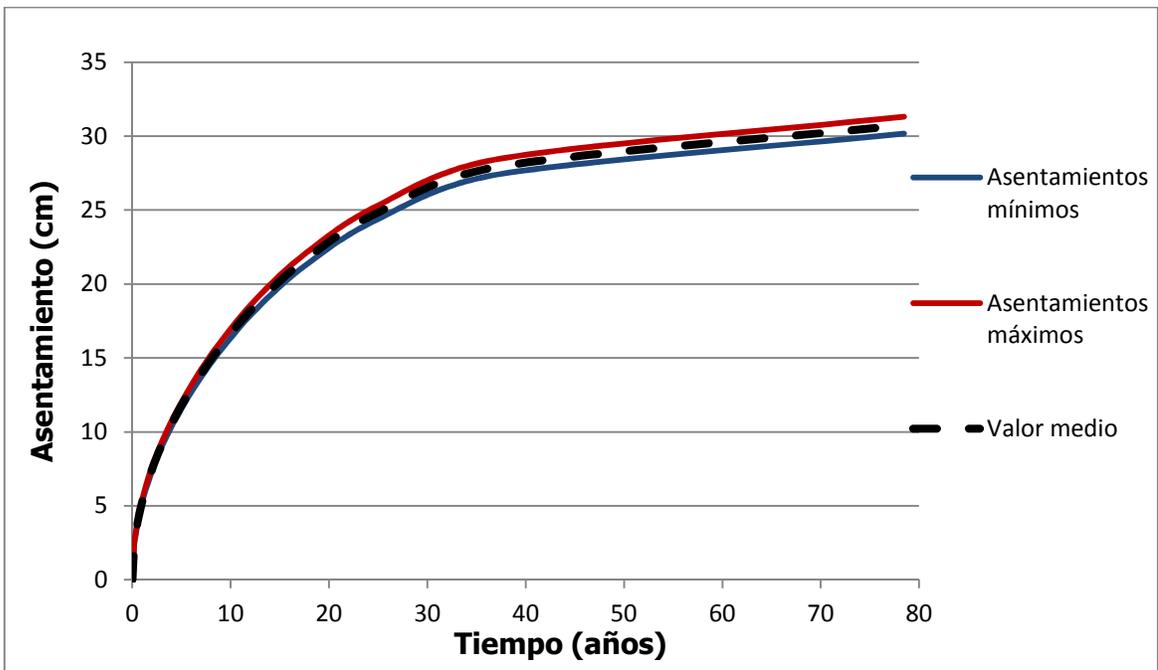


Figura 4.15 Proyección de asentamientos en el tiempo para P9 suponiendo una frontera drenante

4.3.5 Proyección en P10 (Banco de Costa Rica)

La curva de deformación – tiempo utilizada en este caso fue una de las obtenidas a partir del Punto de Muestreo 7. El cambio de esfuerzos en el punto medio de la capa compresible es de 172 kPa, por lo que se utilizó la misma curva que en P1 (Figura 4.5), se tiene por lo tanto, el mismo C_v de 0,2165 cm²/min.

Cuadro 4.14 Tiempo para distintos grados de consolidación en P10, Punto de Muestreo 7

U(%)	T_v	Fracción de Asentamientos (cm)		2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	3,264	3,385	0,07	0,28
20%	0,0314	6,528	6,77	0,28	1,10
30%	0,0707	9,792	10,155	0,62	2,49
40%	0,126	13,056	13,54	1,11	4,43
50%	0,197	16,32	16,925	1,73	6,92
60%	0,286	19,584	20,31	2,51	10,05
70%	0,403	22,848	23,695	3,54	14,17
80%	0,567	26,112	27,08	4,98	19,93
90%	0,848	29,376	30,465	7,45	29,81
99%	1,781	32,3136	33,5115	15,65	62,61

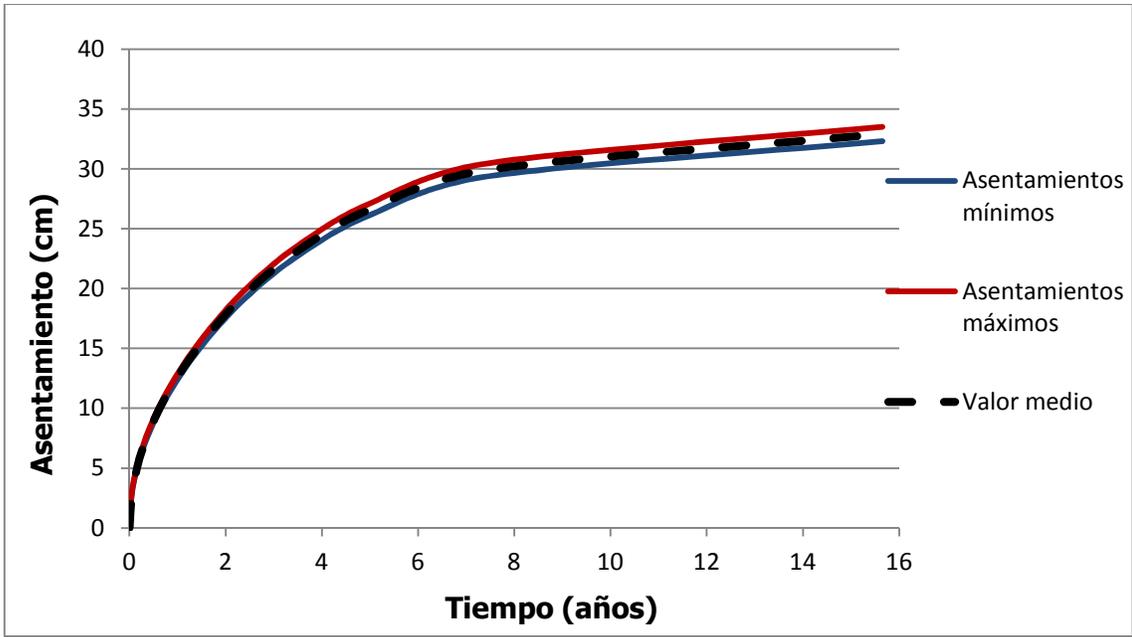


Figura 4.16 Proyección de asentamientos en el tiempo para P10 suponiendo dos fronteras drenantes

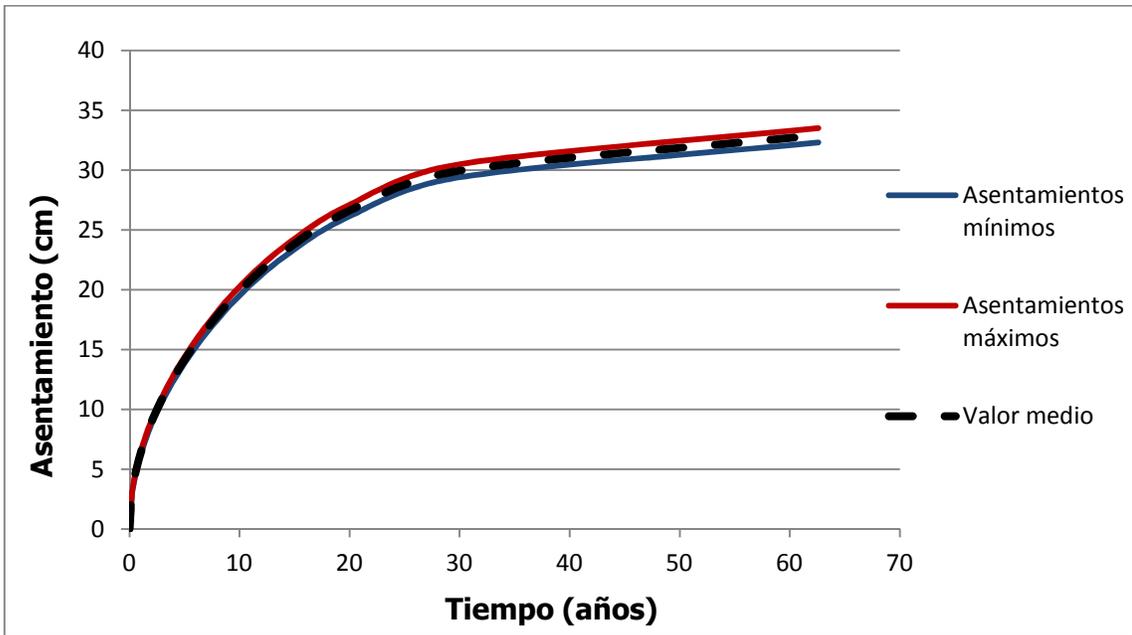


Figura 4.17 Proyección de asentamientos en el tiempo para P10 suponiendo una frontera drenante

4.3.6 Proyección en P12 (Estación de servicios)

La curva de deformación - tiempo utilizada en este caso fue una de las obtenidas a partir del Punto de Muestreo 2. El cambio de esfuerzos en el punto medio de la capa compresible es de 88 kPa, por lo que se utilizó la misma curva que en P9 (Figura 4.12), se tiene por lo tanto, el mismo C_v de 0,1727 cm²/min.

Cuadro 4.15 Tiempo para distintos grados de consolidación en P12, Punto de Muestreo 6

U(%)	T_v	Fracción de Asentamientos (cm)		2 Fronteras (H=10)	1 Frontera (H=20)
		Mínimo	Máximo	t (años)	t (años)
10%	0,00785	2,295	2,509	0,09	0,35
20%	0,0314	4,59	5,018	0,35	1,38
30%	0,0707	6,885	7,527	0,78	3,12
40%	0,126	9,18	10,036	1,39	5,55
50%	0,197	11,475	12,545	2,17	8,68
60%	0,286	13,77	15,054	3,15	12,60
70%	0,403	16,065	17,563	4,44	17,76
80%	0,567	18,36	20,072	6,25	24,99
90%	0,848	20,655	22,581	9,34	37,37
99%	1,781	22,7205	24,8391	19,62	78,48

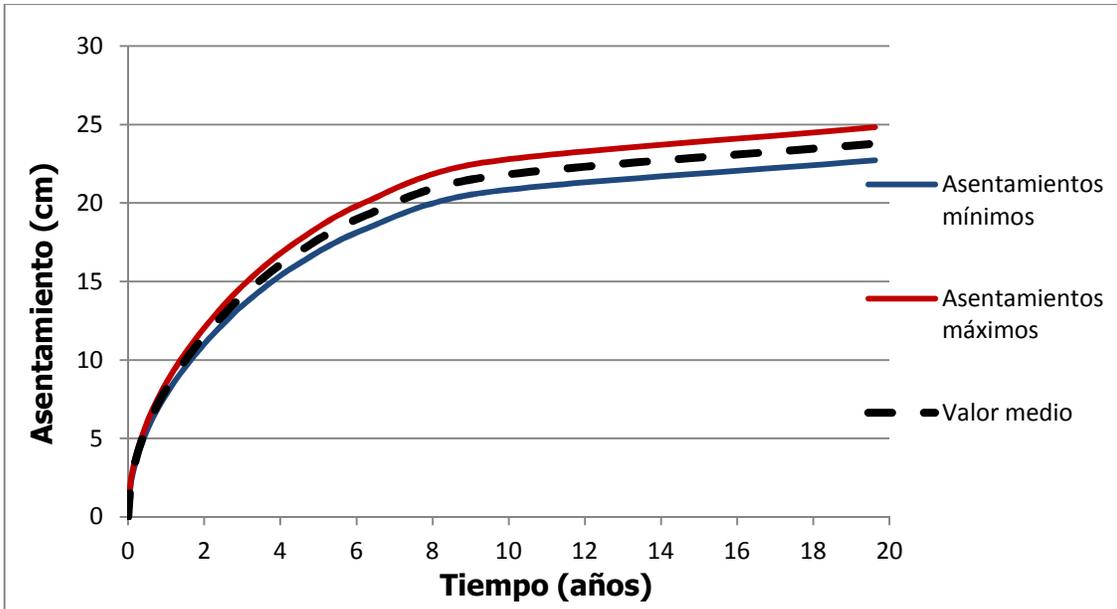


Figura 4.18 Proyección de asentamientos en el tiempo para P12 suponiendo dos fronteras drenantes

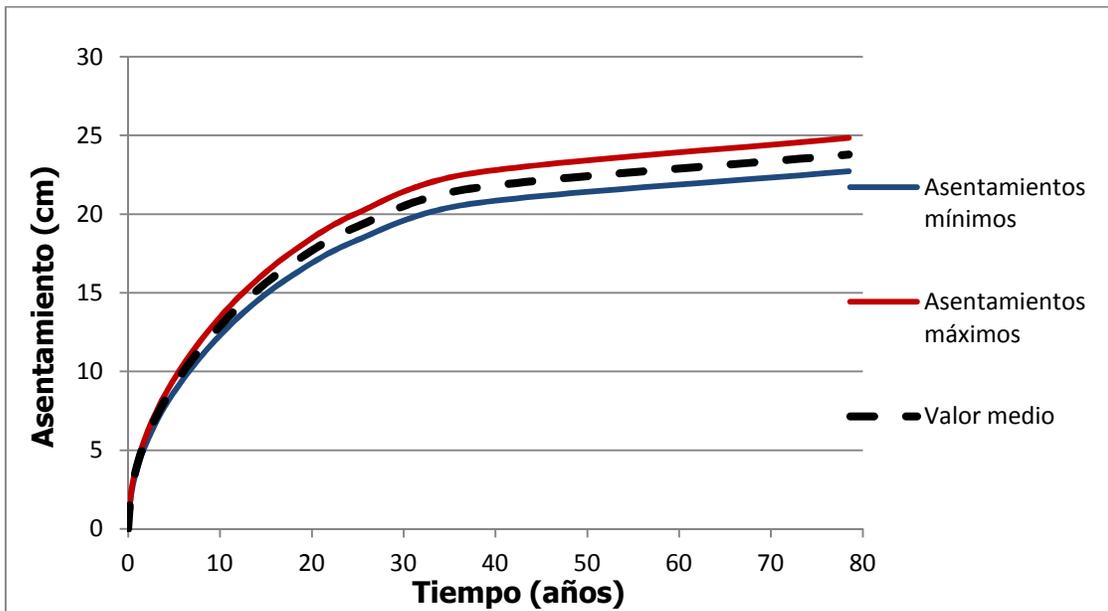


Figura 4.19 Proyección de asentamientos en el tiempo para P12 suponiendo una frontera drenante

4.3.7 Asentamientos al final de la vida útil

En caso de un abatimiento del nivel freático en Santiago, los mayores asentamientos se darían en los alrededores del parque y del mercado, como se puede apreciar en los mapas de asentamientos, en las áreas señaladas en color rojo oscuro. Esta área, así como el valor de asentamiento calculado, presenta ligeras variaciones en cada mapa.

Sin embargo, en términos generales se tiene un asentamiento de alrededor de 40 cm en varios cuadrantes de la ciudad donde se encuentran edificaciones importantes. No obstante, tomando en cuenta el tiempo que tarda en darse la consolidación, así como la antigüedad de estas estructuras, se realizó una estimación de los asentamientos al final de su vida útil y realizar una proyección específica para estas edificaciones en particular.

Esta nueva estimación se realizó a partir de las proyecciones en P1 y P8, utilizando las tendencias de las Figuras 4.6 y 4.11 para el caso en que se tuvieran dos fronteras drenantes y las Figuras 4.7 y 4.12 para el caso con una frontera drenante. Se incluyeron las edificaciones de las que se tuviera una aproximación de la fecha de construcción, según una entrevista con el señor Óscar Pérez de la Municipalidad de Puriscal. Se consideró una vida útil de 50 años y se supuso que el abatimiento se realiza en el presente.

Cuadro 4.16 Asentamientos al final de la vida útil de edificaciones en la zona de mayores asentamientos

Edificio	Año aproximado de construcción	Año al final de la vida útil	Asentamiento al final de vida útil para dos fronteras drenantes (cm)	Asentamiento al final de vida útil para una frontera drenantes (cm)
Casa cural	1970	2020	35	22
Juanchos Bar	1970	2020	35	22
Banco Popular	1975	2025	37	26
ICE	1975	2025	37	26
Banco de Costa Rica	1980	2030	38	30
Almacén Gollo	1980	2030	38	30
Mercado	1985	2035	24	21
Súper Mora	1990	2040	24	23
Importadora Monge	1990	2040	34	34

Fuente: (Pérez, 2012)

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

Las estructuras de menor antigüedad de Santiago fueron construidas a principios de los noventa. En el Cuadro 4.16 se muestran dos de estos casos: el "Súper Mora", al que para esa época se hizo una importante remodelación y la "Importadora Monge". A pesar de que el periodo de su vida útil finaliza el mismo año, los asentamientos son considerablemente distintos, debido a que en el primer caso se utilizó la curva de P8, por su cercanía con el mercado, y en el segundo la curva de P1, por su cercanía con el parque.

Debido a la situación anterior, se puede afirmar que los asentamientos máximos al final de la vida útil de las estructuras más jóvenes de Santiago se encontrarán entre los 16 y los 34 cm.

Es necesario tomar en cuenta que es muy poco probable que el abatimiento se realice en el mismo año del presente trabajo, por lo que se puede afirmar que para el momento en que eventualmente se lleve a cabo, la vida útil residual de las edificaciones va a ser menor que en estas estimaciones. Por lo tanto, los asentamientos estimados en ese momento serán ligeramente menores que los del Cuadro 4.17.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los asentamientos máximos que se experimentarían en la zona en caso de un eventual abatimiento del nivel freático a 20 m de profundidad se darían en las cercanías del parque y el mercado, y serían de alrededor de 40 cm.
- El espesor de la capa compresible en la zona de Santiago de Puriscal varía entre los 30 m y 39 m principalmente, aunque se tiene también en algunos sitios espesores de alrededor de 23 m.
- Los asentamientos se darían de forma gradual a lo largo de toda la zona de estudio, sin que existan cambios abruptos de asentamientos en sitios cercanos.
- Los valores mínimos y máximos de asentamientos para cada sitio, que se obtuvieron de realizar los cálculos utilizando los parámetros obtenidos de diferentes curvas de relación de vacíos - esfuerzo, ya sea de las obtenidas de muestras de distintos sitios cercanos o de la curva promedio, no varían más de 10 cm en ninguno de los casos.
- Debido a que no se muestran diferencias significativas en las distintas curvas de relación de vacíos - esfuerzo obtenidas a partir de los ensayos de las muestras de varios sitios de la ciudad, y dado que los resultados de asentamientos calculados a partir de curvas obtenidas de sitios cercanos a los analizados y los calculados a partir de la curva de relación de vacíos - esfuerzo promedio, se puede afirmar que se obtienen buenas aproximaciones al utilizar una curva promedio.
- En caso de que existiera una única frontera drenante, la consolidación que se produciría al abatir el nivel freático en Santiago de Puriscal, se completaría en aproximadamente 60 años, en promedio.
- En caso de que existieran dos fronteras drenantes, la consolidación que se produciría al abatir el nivel freático en Santiago de Puriscal, se completaría en aproximadamente 15 años, en promedio.

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

- En caso de que existiera una única frontera drenante, a partir de los 25 años después del abatimiento del nivel freático, no se darían aumentos significativos en los asentamientos.
- En caso de que existieran dos fronteras drenantes, a partir de los 7 años después del abatimiento del nivel freático, no se darían aumentos significativos en los asentamientos.
- Los asentamientos empezarían a hacerse notar, o sea, a alcanzar valores de aproximadamente 5 cm a partir del mismo año del abatimiento del nivel freático, en los sitios donde el asentamiento máximo sea mayor a este valor.
- En los primeros 5 años se experimentarán asentamientos mayores a los 10 cm, en la mayoría de los casos en que el asentamiento máximo sea mayor a este valor.
- En caso de que existiera una única frontera drenante, al final de la vida útil de las estructuras en los alrededores del parque y del mercado (zona de asentamientos críticos), se presentarían asentamientos entre 21 cm y 34 cm aproximadamente.
- En caso de que existieran dos fronteras drenantes, al final de la vida útil de las estructuras en los alrededores del parque y del mercado (zona de asentamientos críticos), se presentarían asentamientos entre 24 cm y 38 cm aproximadamente.
- El nivel freático se encuentra a muy distintas profundidades en distintos puntos de la zona de Santiago de Puriscal. Varía según el sitio, entre los 2,5 m y los 33 m de profundidad.
- De los distintos factores que intervienen en el cálculo de los asentamientos, y que cambiaron de un caso a otro según los sitios en que se realizó el cálculo, a saber, los parámetros obtenidos de las curvas de relación de vacíos - esfuerzo, los valores de N_{SPT} , los distintos espesores de la capa compresible y los distintos niveles freáticos, es este último el que presenta una mayor influencia en el resultado, debido a que mientras más superficial se encuentre el nivel freático en un punto, mayor va a ser la variación en los esfuerzos efectivos debidos al abatimiento y por lo tanto mayores los

asentamientos que este produzca; además, se tienen parámetros de compresibilidad y los espesores de la capa compresible son similares a lo largo de la ciudad.

5.2 Recomendaciones

- Implementar la medida de estabilización mediante galerías filtrantes, pese a que los resultados de los cálculos de asentamientos para varios puntos susceptibles de la ciudad son considerables; ya que al tomar en cuenta el tiempo que tardarían en darse los asentamientos, los problemas que estos llegarían a provocar serían considerablemente menores que el potencial colapso de la ciudad en caso de prescindir de una medida de estabilización.
- Revisar y optimizar el modelo geológico y geotécnico, para incluir más cantidad de información de campo, especialmente una mayor cantidad de muestras obtenidas a distintas profundidades, para realizar más cantidad de ensayos de consolidación.
- Implementar las recomendaciones del “Diseño de la instrumentación geotécnica en Santiago de Puriscal”, (Ocampo, 2002), con el fin de obtener las tasas y magnitudes de los movimientos en la zona y observar el comportamiento hidrogeológico, para monitorear los avances y la efectividad del abatimiento del nivel freático como solución al deslizamiento.
- Realizar los cálculos de asentamientos a partir del análisis de suelos no saturados, condición que se podría presentar una vez que se lleve a cabo el abatimiento del nivel freático, para obtener otros resultados con qué comparar los obtenidos siguiendo la metodología de este trabajo. Es de esperar que los resultados fueran menores que los aquí presentados. Sin embargo, con los presentes resultados se tiene criterio suficiente para decidir acerca de la implementación de una solución de estabilización.
- Tomar en cuenta los daños que los asentamientos provocados por un abatimiento del nivel freático podrían ocasionar a la infraestructura de la ciudad y elaborar un plan de mitigación en el que estos daños sean previstos y minimizados, partiendo del hecho de que la consolidación se daría en forma gradual y con suficiente tiempo para que las autoridades y los pobladores lleven a cabo las medidas del plan.

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

- Con el fin de llevar a cabo un plan de mitigación, es necesario que las autoridades pertinentes, especialmente la Municipalidad de Puriscal, se encarguen de crear conciencia del peligro que representa el deslizamiento y del sacrificio que deben hacer los habitantes de Santiago con el fin de evitar que el deslizamiento ocasione el colapso de la ciudad y las tragedias desde el punto de vista de pérdidas humanas y materiales.

Referencias bibliográficas

ASTM International. (2004). Designation: D2435-04. *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soil Using Incremental Loading* .

ASTM International. (2010). Designation: D4318-10. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils* .

ASTM International. (2010). Designation: D854-10. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer* .

Aymerich, A. (2000). Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. *Soluciones técnico constructivas, para el abatimiento del nivel freático como medio de estabilización del deslizamiento de Puriscal* . San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Bolaños, M., Valdés, R., Alfaro, A., Arias, O., Vásquez, R., Madrigal, A., y otros. (2007). *Análisis multidisciplinario de las condiciones de amenaza por deslizamiento en la Ciudad de Santiago de Puriscal*. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Cordero, M. (2008). *Guía de laboratorio mecánica de suelos* . San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, LanammeUCR.

Das, B. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México: International Thompson Editores, S.A de C.V.

González, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Editorial Prentice Hall.

González, M. (1996). Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. *Deslizamiento de Puriscal: Análisis de Estabilidad y Soluciones* . San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Güendel, F., Segura, J., Montero, G., González, V., Rojas, D., Brenes, D., y otros. (1990). *Informe preliminar: Secuencia sísmica de Puriscal 26 de marzo - 11 de julio 1990*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica – Universidad Nacional OVSICORI – UNA.

Jiménez, C. (2004). Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. *Retos y Oportunidades en el Desarrollo de Infraestructura Urbana en el Cantón de Puriscal* . San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Ocampo, J. R. (2002). Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. *Diseño de la instrumentación geotécnica en Santiago de Puriscal* . San José, Costa Rica: Escuela de ingeniería civil, Universidad de Costa Rica.

OVSICORI-UNA. (1 de Junio de 2011). Mayo mes movido por deformación en placa del coco. *Comunicado de Prensa* .

Peraldo, G. (1996). Investigación para optar por el grado de Licenciatura en Geología. *Amenaza de Deslizamientos, Sector Central de Puriscal y Problemática de la Ciudad de Santiago* . San José, Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

Pérez, Ó. (Marzo de 2012). Municipalidad de Puriscal.

Sáenz, S., & Laporte, G. (1986, agosto). Métodos aproximados al cálculo de asentamiento en limos compresibles. *3er Seminario Nacional de Geotecnia*. Costa Rica.

Simons, N., & Menzies, B. (1977). *A short course in Foundation Engineering*. London: ELBS, The English Language Book Society.

Skempton, A., & Bjerrum, L. (1957). *A contribution to the settlement analysis of foundations on clay*.

Vargas, W. (2008). Notas de clase del curso de Mecánica de Suelos I. *Mecánica de Suelos I* . San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Zilly, R. (1975). *Handbook of environmental civil engineering*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Apéndice A: Datos y cálculos iniciales de ensayos de consolidación

A.1 Datos y cálculos iniciales Muestra 1

Equipo CD-001

Datos del anillo	
Diametro (cm)	6,879
Altura (cm)	2,472
Área (cm ²)	37,166
Volumen (cm ³)	91,883
W _{anillo} (g)	64,540

W _{total inicial} (g)	151,35
W _{inicial muestra} (g)	86,810

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
11,12	25,1	20,9	9,78	4,2	42,94
10,86	25,54	21,12	10,26	4,42	43,08
10,89	28,74	23,31	12,42	5,43	43,72
				Promedio	43,25

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
66,01	157,34	125,04	59,03	32,3	54,72

G _s	2,63
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	91,33
w _{fp}	0,55
M_d (g)	59,03

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	86,81
M _d (g)	59,03
w₀ (%)	47,06

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	91,33
M _d (g)	59,03
w_f (%)	54,72

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	59,03
V ₀ (cm ³)	91,88
ρ_d (g/cm³)	0,64

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9,81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	0,64
γ_d (kN/m³)	6,30244268

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	59,03
G _s	2,63
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	22,44

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	22,44
A (cm ²)	37,17
H_s (cm)	0,604

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	2,472
H _s (cm)	0,604
e₀	3,094

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	2,239
H _s (cm)	0,604
e_f	2,707

A.2 Datos y cálculos iniciales Muestra 2

Equipo CD-002

Anillo # 3

Datos del anillo	
Diametro (cm)	6,307
Altura (cm)	1,885
Área (cm ²)	31,244
Volumen (cm ³)	58,880
W _{anillo} (g)	330,280

W _{total inicial} (g)	429,56
W _{inicial muestra} (g)	99,280

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
24,91	69,89	54,44	29,53	15,45	52,32
25,51	52,13	42,98	17,47	9,15	52,38
24,70	67,91	52,97	28,27	14,94	52,85
				Promedio	52,51

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
54,05	149,5	117,7	63,65	31,8	49,96

G _s	2,76
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	95,45
w _{fp}	0,50
M_d (g)	63,65

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	99,28
M _d (g)	63,65
w₀ (%)	55,98

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	95,45
M _d (g)	63,65
w_f (%)	49,96

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	63,65
V ₀ (cm ³)	58,88
ρ_d (g/cm³)	1,08

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9.81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	1,08
γ_d (kN/m³)	10,6047712

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	63,65
G _s	2,76
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	23,06

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	23,06
A (cm ²)	31,24
H_s (cm)	0,738

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	1,885
H _s (cm)	0,738
e₀	1,553

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	1,680
H _s (cm)	0,738
e_f	1,276

A.3 Datos y cálculos iniciales Muestra 3

Equipo CD-002

Dimensiones del anillo	
Diametro (cm)	6,248
Altura (cm)	1,915
Área (cm ²)	30,660
Volumen (cm ³)	58,699
W _{anillo} (g)	65,510

W _{total inicial} (g)	160,86
W _{inicial muestra} (g)	95,350

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
62,56	165,53	133,31	70,75	32,22	45,54
62,61	168,72	135,58	72,97	33,14	45,42
62,51	183,05	144,97	82,46	38,08	46,18
Promedio					45,71

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
41,49	139,22	103,72	62,23	35,5	57,05

G _s	2,54
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	97,73
w _{fp}	0,57
M_d (g)	62,23

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	95,35
M _d (g)	62,23
w₀ (%)	53,22

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	97,73
M _d (g)	62,23
w_f (%)	57,05

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	62,23
V ₀ (cm ³)	58,70
ρ_d (g/cm³)	1,06

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9.81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	1,06
γ_d (kN/m³)	10,4001958

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	62,23
G _s	2,54
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	24,50

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	24,50
A (cm ²)	30,66
H_s (cm)	0,799

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	1,915
H _s (cm)	0,799
e₀	1,396

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	1,827
H _s (cm)	0,799
e_f	1,286

A.4 Datos y cálculos iniciales Muestra 4

Equipo CD-001

Dimensiones del anillo	
Diametro (cm)	6,213
Altura (cm)	2,494
Área (cm ²)	30,317
Volumen (cm ³)	75,619
W _{anillo} (g)	62,130

W _{total inicial} (g)	154,72
W _{inicial muestra} (g)	92,590

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
10,66	30,53	25,36	14,7	5,17	35,17
10,56	29,96	24,51	13,95	5,45	39,07
10,78	28,27	23,4	12,62	4,87	38,59
Promedio					37,61

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
66,07	165,49	133,45	67,38	32,04	47,55

G _s	2,71
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	99,42
w _{fp}	0,48
M_d (g)	67,38

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	92,59
M _d (g)	67,38
w₀ (%)	37,41

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	99,42
M _d (g)	67,38
w_f (%)	47,55

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	67,38
V ₀ (cm ³)	75,62
ρ_d (g/cm³)	0,89

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9.81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	0,89
γ_d (kN/m³)	8,74

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	67,38
G _s	2,71
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	24,86

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	24,86
A (cm ²)	30,32
H_s (cm)	0,820

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	2,494
H _s (cm)	0,820
e₀	2,041

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	2,275
H _s (cm)	0,820
e_f	1,774

A.5 Datos y cálculos iniciales Muestra 5

Equipo CD-001

Dimensiones del anillo	
Diametro (cm)	6,329
Altura (cm)	2,190
Área (cm ²)	31,455
Volumen (cm ³)	68,879
W _{anillo} (g)	302,250

W _{total inicial} (g)	415,1
W _{inicial muestra} (g)	112,850

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
62,37	170,83	134,8	72,43	36,03	49,74
62,38	157,92	124,71	62,33	33,21	53,28
62,62	180,25	141,13	78,51	39,12	49,83
Promedio					50,95

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
62,15	171,25	135,12	72,97	36,13	49,51

G _s	2,64
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	109,1
w _{fp}	0,50
M_d (g)	72,97

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	112,85
M _d (g)	72,97
w₀ (%)	54,65

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	109,1
M _d (g)	72,97
w_f (%)	49,51

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	72,97
V ₀ (cm ³)	68,88
ρ_d (g/cm³)	1,06

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9,81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	1,06
γ_d (kN/m³)	10,3926755

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	72,97
G _s	2,64
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	27,64

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	27,64
A (cm ²)	31,46
H_s (cm)	0,879

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	2,190
H _s (cm)	0,879
e₀	1,492

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	1,913
H _s (cm)	0,879
e_f	1,177

A.6 Datos y cálculos iniciales Muestra 6

Equipo CD -
001

Anillo # 5

Dimensiones del anillo	
Diametro (cm)	6,282
Altura (cm)	2,227
Área (cm ²)	30,990
Volumen (cm ³)	69,014
W _{anillo} (g)	65,930

W _{total inicial} (g)	167,14
W _{inicial muestra} (g)	101,210

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
53,7	328,4	252,98	199,28	75,42	37,85
Promedio					37,85

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
41,64	147,41	108,23	66,59	39,18	58,84

G _s	2,65
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	105,77
w _{fp}	0,59
M_d (g)	66,59

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	101,21
M _d (g)	66,59
w₀ (%)	51,99

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	105,77
M _d (g)	66,59
w_f (%)	58,84

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	66,59
V ₀ (cm ³)	69,01
ρ_d (g/cm³)	0,96

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9.81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	0,96
γ_d (kN/m³)	9,46544847

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	66,59
G _s	2,65
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	25,13

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	25,13
A (cm ²)	30,99
H_s (cm)	0,811

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	2,227
H _s (cm)	0,811
e₀	1,746

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	2,115
H _s (cm)	0,811
e_f	1,608

A.7 Datos y cálculos iniciales Muestra 7

Equipo CD-001

Dimensiones del anillo	
Diametro (cm)	6,2815
Altura (cm)	2,227
Área (cm ²)	30,990
Volumen (cm ³)	69,014
W _{anillo} (g)	293,110

W _{total inicial} (g)	412,81
W _{inicial muestra} (g)	119,700

Humedad inicial					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
62,69	187,34	146,91	84,22	40,43	48,01
62,02	162,3	129,96	67,94	32,34	47,60
62,52	173,42	138,02	75,5	35,4	46,89
				Promedio	47,50

Humedad final					
W _{cap} (g)	W _{m+cap} (g)	W _{s+cap} (g)	W _s (g)	W _w (g)	w (%)
62,76	180,26	143,22	80,46	37,04	46,04

G _s	2,62
----------------	------

Masa Seca

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

M _{Tf} (g)	117,5
w _{fp}	0,46
M_d (g)	80,46

Porcentaje de humedad inicial

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{T0} (g)	119,7
M _d (g)	80,46
w₀ (%)	48,77

Porcentaje de humedad final (otra vez)

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M _{Tf} (g)	117,5
M _d (g)	80,46
w_f (%)	46,04

Densidad seca inicial de la muestra

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

M _d (g)	80,46
V ₀ (cm ³)	69,01
ρ_d (g/cm³)	1,17

Peso específico seco de la muestra

$$\gamma_d = 9.81 * \rho_d$$

ρ _d (g/cm ³)	1,17
Y_d (kN/m³)	11,4370023

Volumen de sólidos

$$V_s = \frac{M_d}{G * \rho_w}$$

M _d (g)	80,46
G _s	2,62
ρ _w (g/cm ³)	1,00
V_s (cm³)	30,71

Peso equivalente de sólidos

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V _s (cm ³)	30,71
A (cm ²)	30,99
H_s (cm)	0,991

Volumen de vacíos antes del ensayo

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H ₀ (cm)	2,227
H _s (cm)	0,991
e₀	1,247

Volumen de vacíos después del ensayo

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H _f (cm)	2,043
H _s (cm)	0,991
e_f	1,062

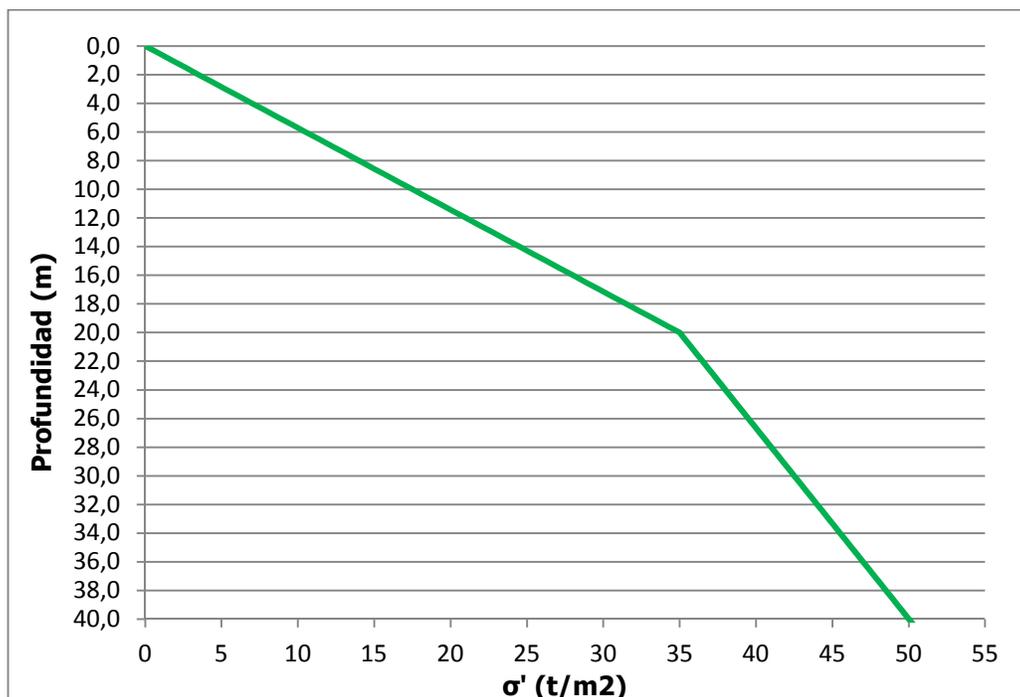
Apéndice B: Esfuerzos efectivos para los distintos niveles freáticos presentes en la zona de estudio

Los cálculos para obtener los esfuerzos efectivos que se producirían en la Ciudad de Santiago debido a un abatimiento del nivel freático, para los sitios donde se tenga un nivel freático a 2,5 m de profundidad, se muestran en la Sección 4.1.

A continuación se muestran los mismos resultados para todos los demás niveles freáticos presentes en la zona de estudio, según las perforaciones disponibles.

El siguiente gráfico es el mismo de la Figura 4.2, sin embargo se vuelve a mostrar aquí ya que es común a todos los niveles freáticos, porque representa el estado de esfuerzos una vez finalizado el abatimiento a 20 m de profundidad.

Estado final de esfuerzos después de un abatimiento del nivel freático a 20 m de profundidad



B.1 Nivel Freático inicial a 3,0 m

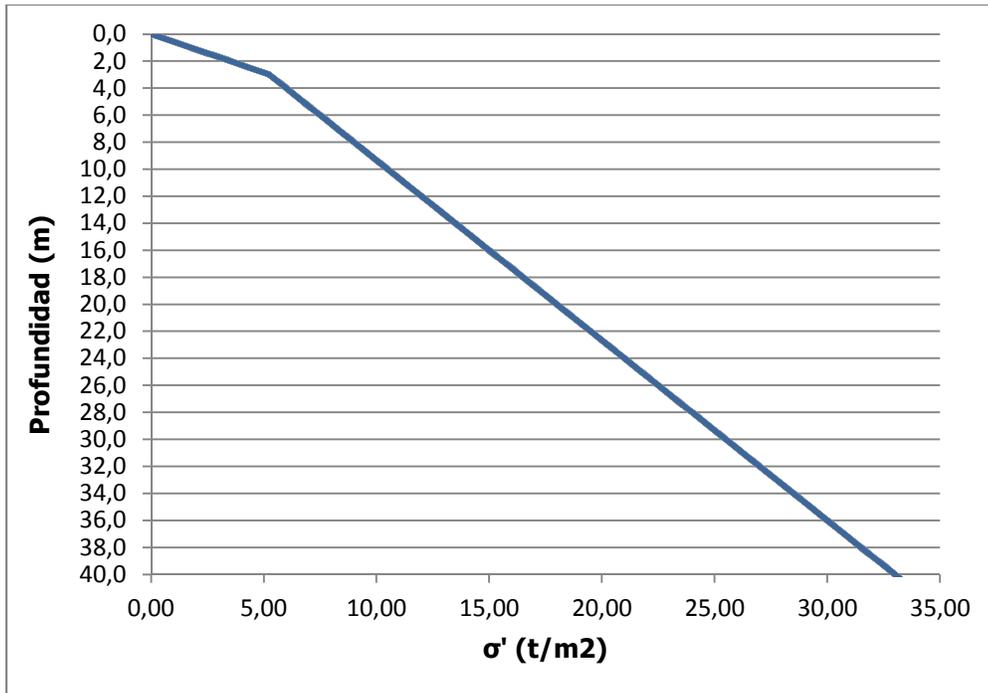
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 3,0 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	5,63	6,13	0,50	55,18	60,09
4,0	6,00	7,00	1,00	58,86	68,67
4,5	6,38	7,88	1,50	62,54	77,25
5,0	6,75	8,75	2,00	66,22	85,84
5,5	7,13	9,63	2,50	69,90	94,42
6,0	7,50	10,50	3,00	73,58	103,01
6,5	7,88	11,38	3,50	77,25	111,59
7,0	8,25	12,25	4,00	80,93	120,17
7,5	8,63	13,13	4,50	84,61	128,76
8,0	9,00	14,00	5,00	88,29	137,34
8,5	9,38	14,88	5,50	91,97	145,92
9,0	9,75	15,75	6,00	95,65	154,51
9,5	10,13	16,63	6,50	99,33	163,09
10,0	10,50	17,50	7,00	103,01	171,68
10,5	10,88	18,38	7,50	106,68	180,26
11,0	11,25	19,25	8,00	110,36	188,84
11,5	11,63	20,13	8,50	114,04	197,43
12,0	12,00	21,00	9,00	117,72	206,01
12,5	12,38	21,88	9,50	121,40	214,59
13,0	12,75	22,75	10,00	125,08	223,18
13,5	13,13	23,63	10,50	128,76	231,76
14,0	13,50	24,50	11,00	132,44	240,35
14,5	13,88	25,38	11,50	136,11	248,93
15,0	14,25	26,25	12,00	139,79	257,51
15,5	14,63	27,13	12,50	143,47	266,10
16,0	15,00	28,00	13,00	147,15	274,68
16,5	15,38	28,88	13,50	150,83	283,26
17,0	15,75	29,75	14,00	154,51	291,85
17,5	16,13	30,63	14,50	158,19	300,43
18,0	16,50	31,50	15,00	161,87	309,02
18,5	16,88	32,38	15,50	165,54	317,60
19,0	17,25	33,25	16,00	169,22	326,18
19,5	17,63	34,13	16,50	172,90	334,77
20,0	18,00	35,00	17,00	176,58	343,35
20,5	18,38	35,38	17,00	180,26	347,03
21,0	18,75	35,75	17,00	183,94	350,71
21,5	19,13	36,13	17,00	187,62	354,39
22,0	19,50	36,50	17,00	191,30	358,07

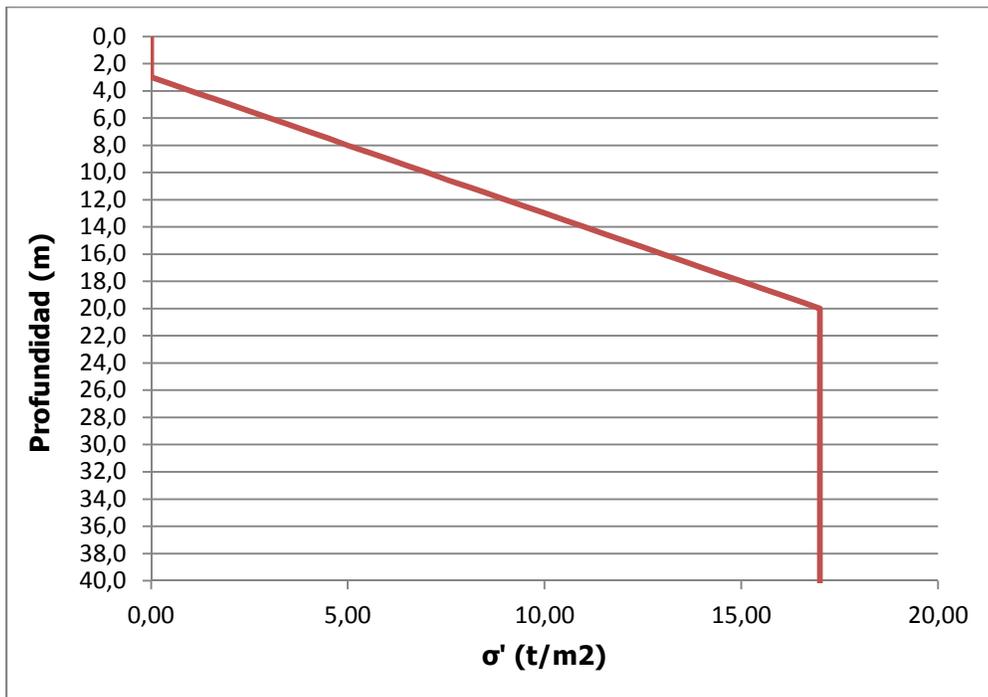
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 3,0 m (continuación)

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
22,5	19,88	36,88	17,00	194,97	361,74
23,0	20,25	37,25	17,00	198,65	365,42
23,5	20,63	37,63	17,00	202,33	369,10
24,0	21,00	38,00	17,00	206,01	372,78
24,5	21,38	38,38	17,00	209,69	376,46
25,0	21,75	38,75	17,00	213,37	380,14
25,5	22,13	39,13	17,00	217,05	383,82
26,0	22,50	39,50	17,00	220,73	387,50
26,5	22,88	39,88	17,00	224,40	391,17
27,0	23,25	40,25	17,00	228,08	394,85
27,5	23,63	40,63	17,00	231,76	398,53
28,0	24,00	41,00	17,00	235,44	402,21
28,5	24,38	41,38	17,00	239,12	405,89
29,0	24,75	41,75	17,00	242,80	409,57
29,5	25,13	42,13	17,00	246,48	413,25
30,0	25,50	42,50	17,00	250,16	416,93
30,5	25,88	42,88	17,00	253,83	420,60
31,0	26,25	43,25	17,00	257,51	424,28
31,5	26,63	43,63	17,00	261,19	427,96
32,0	27,00	44,00	17,00	264,87	431,64
32,5	27,38	44,38	17,00	268,55	435,32
33,0	27,75	44,75	17,00	272,23	439,00
33,5	28,13	45,13	17,00	275,91	442,68
34,0	28,50	45,50	17,00	279,59	446,36
34,5	28,88	45,88	17,00	283,26	450,03
35,0	29,25	46,25	17,00	286,94	453,71
35,5	29,63	46,63	17,00	290,62	457,39
36,0	30,00	47,00	17,00	294,30	461,07
36,5	30,38	47,38	17,00	297,98	464,75
37,0	30,75	47,75	17,00	301,66	468,43
37,5	31,13	48,13	17,00	305,34	472,11
38,0	31,50	48,50	17,00	309,02	475,79
38,5	31,88	48,88	17,00	312,69	479,46
39,0	32,25	49,25	17,00	316,37	483,14
39,5	32,63	49,63	17,00	320,05	486,82
40,0	33,00	50,00	17,00	323,73	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 3,0 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 3,0 m



B.2 Nivel Freático inicial a 3,5 m

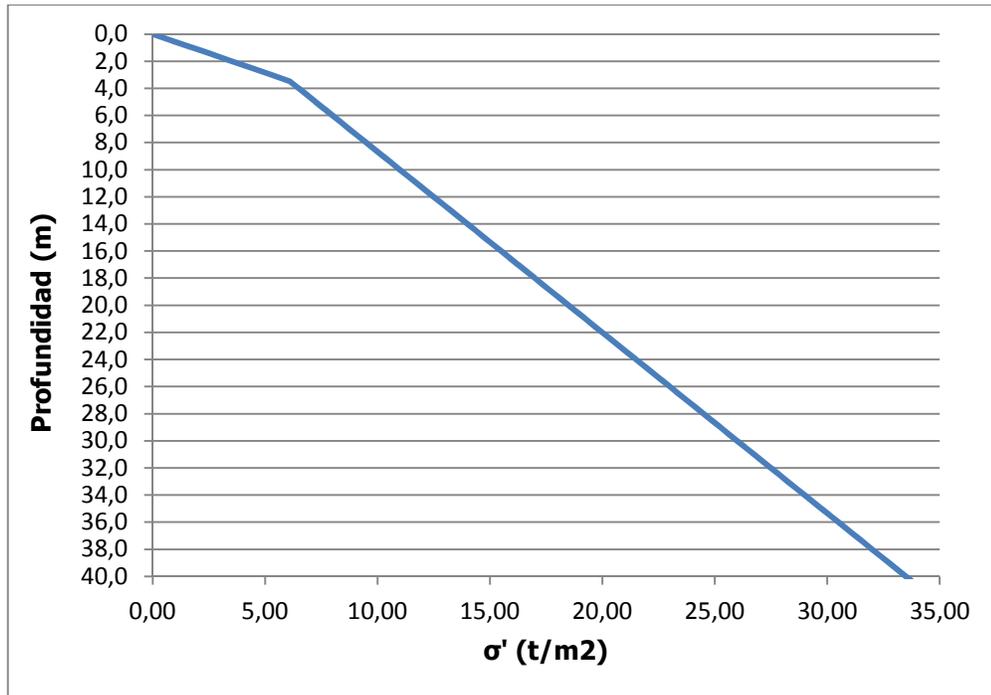
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 3,5 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	6,13	6,13	0,00	60,09	60,09
4,0	6,50	7,00	0,50	63,77	68,67
4,5	6,88	7,88	1,00	67,44	77,25
5,0	7,25	8,75	1,50	71,12	85,84
5,5	7,63	9,63	2,00	74,80	94,42
6,0	8,00	10,50	2,50	78,48	103,01
6,5	8,38	11,38	3,00	82,16	111,59
7,0	8,75	12,25	3,50	85,84	120,17
7,5	9,13	13,13	4,00	89,52	128,76
8,0	9,50	14,00	4,50	93,20	137,34
8,5	9,88	14,88	5,00	96,87	145,92
9,0	10,25	15,75	5,50	100,55	154,51
9,5	10,63	16,63	6,00	104,23	163,09
10,0	11,00	17,50	6,50	107,91	171,68
10,5	11,38	18,38	7,00	111,59	180,26
11,0	11,75	19,25	7,50	115,27	188,84
11,5	12,13	20,13	8,00	118,95	197,43
12,0	12,50	21,00	8,50	122,63	206,01
12,5	12,88	21,88	9,00	126,30	214,59
13,0	13,25	22,75	9,50	129,98	223,18
13,5	13,63	23,63	10,00	133,66	231,76
14,0	14,00	24,50	10,50	137,34	240,35
14,5	14,38	25,38	11,00	141,02	248,93
15,0	14,75	26,25	11,50	144,70	257,51
15,5	15,13	27,13	12,00	148,38	266,10
16,0	15,50	28,00	12,50	152,06	274,68
16,5	15,88	28,88	13,00	155,73	283,26
17,0	16,25	29,75	13,50	159,41	291,85
17,5	16,63	30,63	14,00	163,09	300,43
18,0	17,00	31,50	14,50	166,77	309,02
18,5	17,38	32,38	15,00	170,45	317,60
19,0	17,75	33,25	15,50	174,13	326,18
19,5	18,13	34,13	16,00	177,81	334,77
20,0	18,50	35,00	16,50	181,49	343,35
20,5	18,88	35,38	16,50	185,16	347,03
21,0	19,25	35,75	16,50	188,84	350,71
21,5	19,63	36,13	16,50	192,52	354,39
22,0	20,00	36,50	16,50	196,20	358,07

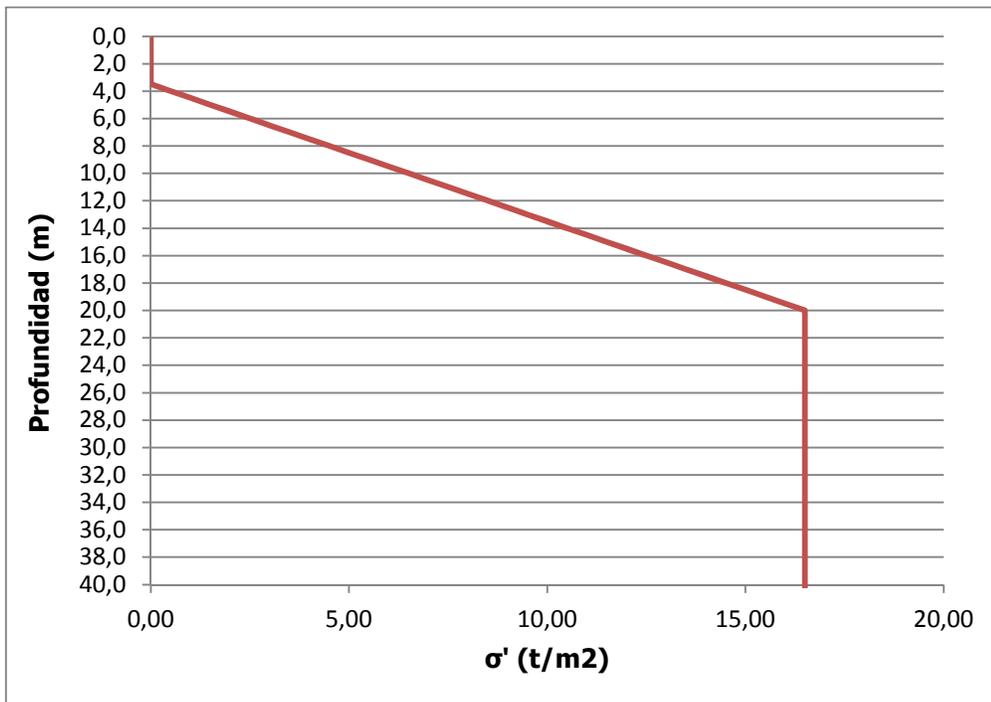
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 3,5 m (continuación)

Profundidad	σ' antes (t/m²)	σ' después (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
22,5	20,38	36,88	16,50	199,88	361,74
23,0	20,75	37,25	16,50	203,56	365,42
23,5	21,13	37,63	16,50	207,24	369,10
24,0	21,50	38,00	16,50	210,92	372,78
24,5	21,88	38,38	16,50	214,59	376,46
25,0	22,25	38,75	16,50	218,27	380,14
25,5	22,63	39,13	16,50	221,95	383,82
26,0	23,00	39,50	16,50	225,63	387,50
26,5	23,38	39,88	16,50	229,31	391,17
27,0	23,75	40,25	16,50	232,99	394,85
27,5	24,13	40,63	16,50	236,67	398,53
28,0	24,50	41,00	16,50	240,35	402,21
28,5	24,88	41,38	16,50	244,02	405,89
29,0	25,25	41,75	16,50	247,70	409,57
29,5	25,63	42,13	16,50	251,38	413,25
30,0	26,00	42,50	16,50	255,06	416,93
30,5	26,38	42,88	16,50	258,74	420,60
31,0	26,75	43,25	16,50	262,42	424,28
31,5	27,13	43,63	16,50	266,10	427,96
32,0	27,50	44,00	16,50	269,78	431,64
32,5	27,88	44,38	16,50	273,45	435,32
33,0	28,25	44,75	16,50	277,13	439,00
33,5	28,63	45,13	16,50	280,81	442,68
34,0	29,00	45,50	16,50	284,49	446,36
34,5	29,38	45,88	16,50	288,17	450,03
35,0	29,75	46,25	16,50	291,85	453,71
35,5	30,13	46,63	16,50	295,53	457,39
36,0	30,50	47,00	16,50	299,21	461,07
36,5	30,88	47,38	16,50	302,88	464,75
37,0	31,25	47,75	16,50	306,56	468,43
37,5	31,63	48,13	16,50	310,24	472,11
38,0	32,00	48,50	16,50	313,92	475,79
38,5	32,38	48,88	16,50	317,60	479,46
39,0	32,75	49,25	16,50	321,28	483,14
39,5	33,13	49,63	16,50	324,96	486,82
40,0	33,50	50,00	16,50	328,64	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 3,5 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 3,5 m



B.3 Nivel Freático inicial a 5,0 m

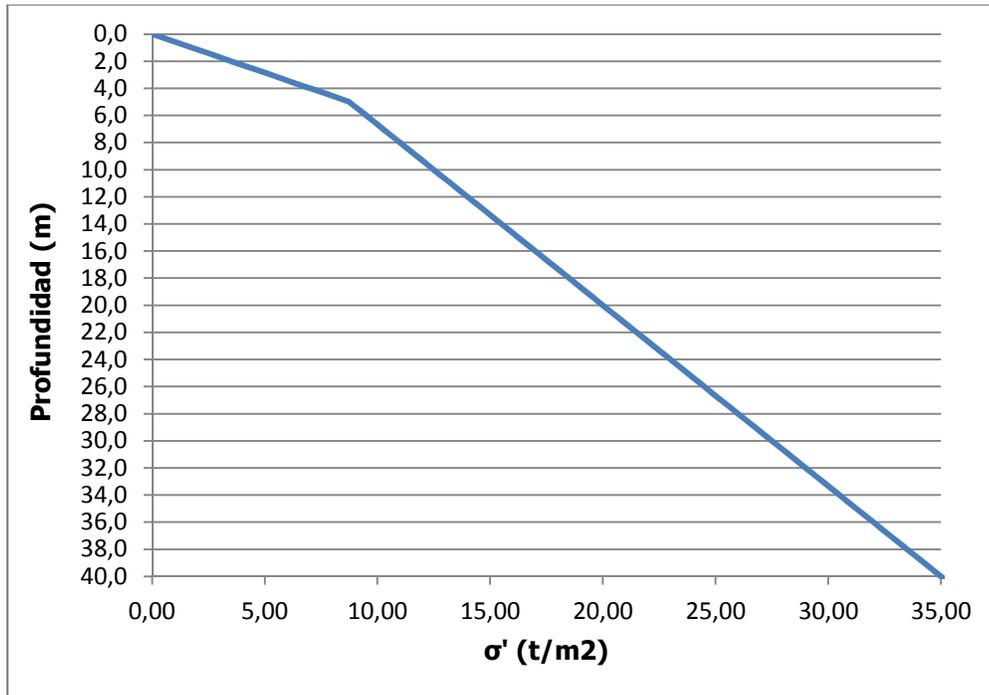
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 5,0 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	6,13	6,13	0,00	60,09	60,09
4,0	7,00	7,00	0,00	68,67	68,67
4,5	7,88	7,88	0,00	77,25	77,25
5,0	8,75	8,75	0,00	85,84	85,84
5,5	9,13	9,63	0,50	89,52	94,42
6,0	9,50	10,50	1,00	93,20	103,01
6,5	9,88	11,38	1,50	96,87	111,59
7,0	10,25	12,25	2,00	100,55	120,17
7,5	10,63	13,13	2,50	104,23	128,76
8,0	11,00	14,00	3,00	107,91	137,34
8,5	11,38	14,88	3,50	111,59	145,92
9,0	11,75	15,75	4,00	115,27	154,51
9,5	12,13	16,63	4,50	118,95	163,09
10,0	12,50	17,50	5,00	122,63	171,68
10,5	12,88	18,38	5,50	126,30	180,26
11,0	13,25	19,25	6,00	129,98	188,84
11,5	13,63	20,13	6,50	133,66	197,43
12,0	14,00	21,00	7,00	137,34	206,01
12,5	14,38	21,88	7,50	141,02	214,59
13,0	14,75	22,75	8,00	144,70	223,18
13,5	15,13	23,63	8,50	148,38	231,76
14,0	15,50	24,50	9,00	152,06	240,35
14,5	15,88	25,38	9,50	155,73	248,93
15,0	16,25	26,25	10,00	159,41	257,51
15,5	16,63	27,13	10,50	163,09	266,10
16,0	17,00	28,00	11,00	166,77	274,68
16,5	17,38	28,88	11,50	170,45	283,26
17,0	17,75	29,75	12,00	174,13	291,85
17,5	18,13	30,63	12,50	177,81	300,43
18,0	18,50	31,50	13,00	181,49	309,02
18,5	18,88	32,38	13,50	185,16	317,60
19,0	19,25	33,25	14,00	188,84	326,18
19,5	19,63	34,13	14,50	192,52	334,77
20,0	20,00	35,00	15,00	196,20	343,35
20,5	20,38	35,38	15,00	199,88	347,03
21,0	20,75	35,75	15,00	203,56	350,71
21,5	21,13	36,13	15,00	207,24	354,39
22,0	21,50	36,50	15,00	210,92	358,07

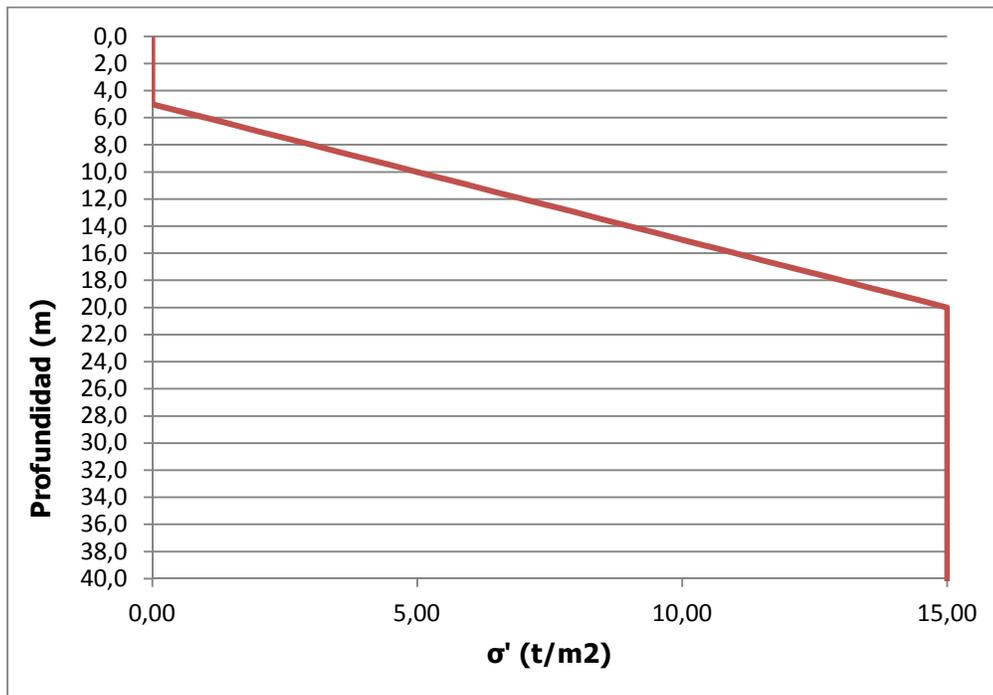
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 5,0 m (continuación)

Profundidad	σ' antes (t/m²)	σ' después (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
22,5	21,88	36,88	15,00	214,59	361,74
23,0	22,25	37,25	15,00	218,27	365,42
23,5	22,63	37,63	15,00	221,95	369,10
24,0	23,00	38,00	15,00	225,63	372,78
24,5	23,38	38,38	15,00	229,31	376,46
25,0	23,75	38,75	15,00	232,99	380,14
25,5	24,13	39,13	15,00	236,67	383,82
26,0	24,50	39,50	15,00	240,35	387,50
26,5	24,88	39,88	15,00	244,02	391,17
27,0	25,25	40,25	15,00	247,70	394,85
27,5	25,63	40,63	15,00	251,38	398,53
28,0	26,00	41,00	15,00	255,06	402,21
28,5	26,38	41,38	15,00	258,74	405,89
29,0	26,75	41,75	15,00	262,42	409,57
29,5	27,13	42,13	15,00	266,10	413,25
30,0	27,50	42,50	15,00	269,78	416,93
30,5	27,88	42,88	15,00	273,45	420,60
31,0	28,25	43,25	15,00	277,13	424,28
31,5	28,63	43,63	15,00	280,81	427,96
32,0	29,00	44,00	15,00	284,49	431,64
32,5	29,38	44,38	15,00	288,17	435,32
33,0	29,75	44,75	15,00	291,85	439,00
33,5	30,13	45,13	15,00	295,53	442,68
34,0	30,50	45,50	15,00	299,21	446,36
34,5	30,88	45,88	15,00	302,88	450,03
35,0	31,25	46,25	15,00	306,56	453,71
35,5	31,63	46,63	15,00	310,24	457,39
36,0	32,00	47,00	15,00	313,92	461,07
36,5	32,38	47,38	15,00	317,60	464,75
37,0	32,75	47,75	15,00	321,28	468,43
37,5	33,13	48,13	15,00	324,96	472,11
38,0	33,50	48,50	15,00	328,64	475,79
38,5	33,88	48,88	15,00	332,31	479,46
39,0	34,25	49,25	15,00	335,99	483,14
39,5	34,63	49,63	15,00	339,67	486,82
40,0	35,00	50,00	15,00	343,35	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 5,0 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 5,0 m



B.4 Nivel Freático inicial a 7,5 m

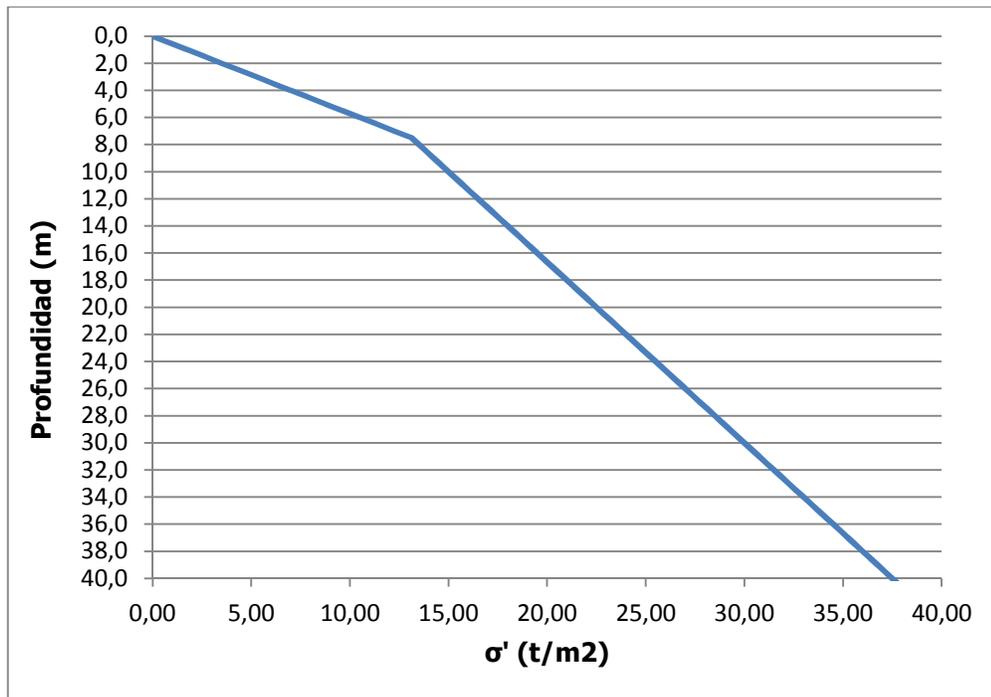
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 7,5 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	6,13	6,13	0,00	60,09	60,09
4,0	7,00	7,00	0,00	68,67	68,67
4,5	7,88	7,88	0,00	77,25	77,25
5,0	8,75	8,75	0,00	85,84	85,84
5,5	9,63	9,63	0,00	94,42	94,42
6,0	10,50	10,50	0,00	103,01	103,01
6,5	11,38	11,38	0,00	111,59	111,59
7,0	12,25	12,25	0,00	120,17	120,17
7,5	13,13	13,13	0,00	128,76	128,76
8,0	13,50	14,00	0,50	132,44	137,34
8,5	13,88	14,88	1,00	136,11	145,92
9,0	14,25	15,75	1,50	139,79	154,51
9,5	14,63	16,63	2,00	143,47	163,09
10,0	15,00	17,50	2,50	147,15	171,68
10,5	15,38	18,38	3,00	150,83	180,26
11,0	15,75	19,25	3,50	154,51	188,84
11,5	16,13	20,13	4,00	158,19	197,43
12,0	16,50	21,00	4,50	161,87	206,01
12,5	16,88	21,88	5,00	165,54	214,59
13,0	17,25	22,75	5,50	169,22	223,18
13,5	17,63	23,63	6,00	172,90	231,76
14,0	18,00	24,50	6,50	176,58	240,35
14,5	18,38	25,38	7,00	180,26	248,93
15,0	18,75	26,25	7,50	183,94	257,51
15,5	19,13	27,13	8,00	187,62	266,10
16,0	19,50	28,00	8,50	191,30	274,68
16,5	19,88	28,88	9,00	194,97	283,26
17,0	20,25	29,75	9,50	198,65	291,85
17,5	20,63	30,63	10,00	202,33	300,43
18,0	21,00	31,50	10,50	206,01	309,02
18,5	21,38	32,38	11,00	209,69	317,60
19,0	21,75	33,25	11,50	213,37	326,18
19,5	22,13	34,13	12,00	217,05	334,77
20,0	22,50	35,00	12,50	220,73	343,35
20,5	22,88	35,38	12,50	224,40	347,03
21,0	23,25	35,75	12,50	228,08	350,71
21,5	23,63	36,13	12,50	231,76	354,39
22,0	24,00	36,50	12,50	235,44	358,07

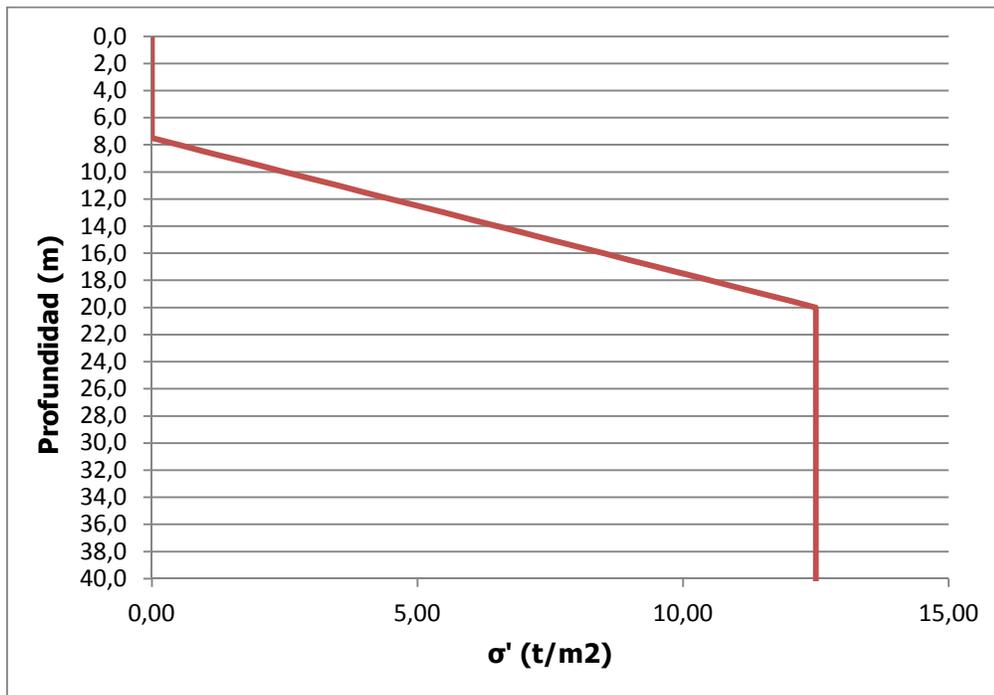
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 7,5 m (continuación)

Profundidad	σ' antes (t/m²)	σ' después (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
22,5	24,38	36,88	12,50	239,12	361,74
23,0	24,75	37,25	12,50	242,80	365,42
23,5	25,13	37,63	12,50	246,48	369,10
24,0	25,50	38,00	12,50	250,16	372,78
24,5	25,88	38,38	12,50	253,83	376,46
25,0	26,25	38,75	12,50	257,51	380,14
25,5	26,63	39,13	12,50	261,19	383,82
26,0	27,00	39,50	12,50	264,87	387,50
26,5	27,38	39,88	12,50	268,55	391,17
27,0	27,75	40,25	12,50	272,23	394,85
27,5	28,13	40,63	12,50	275,91	398,53
28,0	28,50	41,00	12,50	279,59	402,21
28,5	28,88	41,38	12,50	283,26	405,89
29,0	29,25	41,75	12,50	286,94	409,57
29,5	29,63	42,13	12,50	290,62	413,25
30,0	30,00	42,50	12,50	294,30	416,93
30,5	30,38	42,88	12,50	297,98	420,60
31,0	30,75	43,25	12,50	301,66	424,28
31,5	31,13	43,63	12,50	305,34	427,96
32,0	31,50	44,00	12,50	309,02	431,64
32,5	31,88	44,38	12,50	312,69	435,32
33,0	32,25	44,75	12,50	316,37	439,00
33,5	32,63	45,13	12,50	320,05	442,68
34,0	33,00	45,50	12,50	323,73	446,36
34,5	33,38	45,88	12,50	327,41	450,03
35,0	33,75	46,25	12,50	331,09	453,71
35,5	34,13	46,63	12,50	334,77	457,39
36,0	34,50	47,00	12,50	338,45	461,07
36,5	34,88	47,38	12,50	342,12	464,75
37,0	35,25	47,75	12,50	345,80	468,43
37,5	35,63	48,13	12,50	349,48	472,11
38,0	36,00	48,50	12,50	353,16	475,79
38,5	36,38	48,88	12,50	356,84	479,46
39,0	36,75	49,25	12,50	360,52	483,14
39,5	37,13	49,63	12,50	364,20	486,82
40,0	37,50	50,00	12,50	367,88	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 7,5 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 7,5 m



B.5 Nivel Freático inicial a 15,0 m

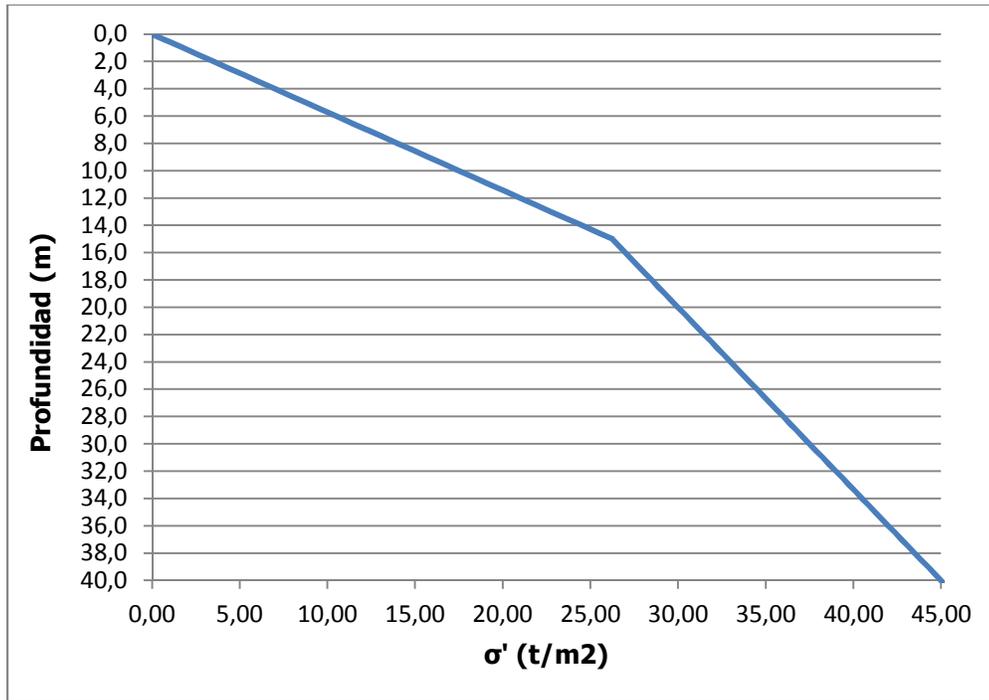
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 15,0 m

Profundidad	σ' antes (t/m ²)	σ' después (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	6,13	6,13	0,00	60,09	60,09
4,0	7,00	7,00	0,00	68,67	68,67
4,5	7,88	7,88	0,00	77,25	77,25
5,0	8,75	8,75	0,00	85,84	85,84
5,5	9,63	9,63	0,00	94,42	94,42
6,0	10,50	10,50	0,00	103,01	103,01
6,5	11,38	11,38	0,00	111,59	111,59
7,0	12,25	12,25	0,00	120,17	120,17
7,5	13,13	13,13	0,00	128,76	128,76
8,0	14,00	14,00	0,00	137,34	137,34
8,5	14,88	14,88	0,00	145,92	145,92
9,0	15,75	15,75	0,00	154,51	154,51
9,5	16,63	16,63	0,00	163,09	163,09
10,0	17,50	17,50	0,00	171,68	171,68
10,5	18,38	18,38	0,00	180,26	180,26
11,0	19,25	19,25	0,00	188,84	188,84
11,5	20,13	20,13	0,00	197,43	197,43
12,0	21,00	21,00	0,00	206,01	206,01
12,5	21,88	21,88	0,00	214,59	214,59
13,0	22,75	22,75	0,00	223,18	223,18
13,5	23,63	23,63	0,00	231,76	231,76
14,0	24,50	24,50	0,00	240,35	240,35
14,5	25,38	25,38	0,00	248,93	248,93
15,0	26,25	26,25	0,00	257,51	257,51
15,5	26,63	27,13	0,50	261,19	266,10
16,0	27,00	28,00	1,00	264,87	274,68
16,5	27,38	28,88	1,50	268,55	283,26
17,0	27,75	29,75	2,00	272,23	291,85
17,5	28,13	30,63	2,50	275,91	300,43
18,0	28,50	31,50	3,00	279,59	309,02
18,5	28,88	32,38	3,50	283,26	317,60
19,0	29,25	33,25	4,00	286,94	326,18
19,5	29,63	34,13	4,50	290,62	334,77
20,0	30,00	35,00	5,00	294,30	343,35
20,5	30,38	35,38	5,00	297,98	347,03
21,0	30,75	35,75	5,00	301,66	350,71
21,5	31,13	36,13	5,00	305,34	354,39
22,0	31,50	36,50	5,00	309,02	358,07

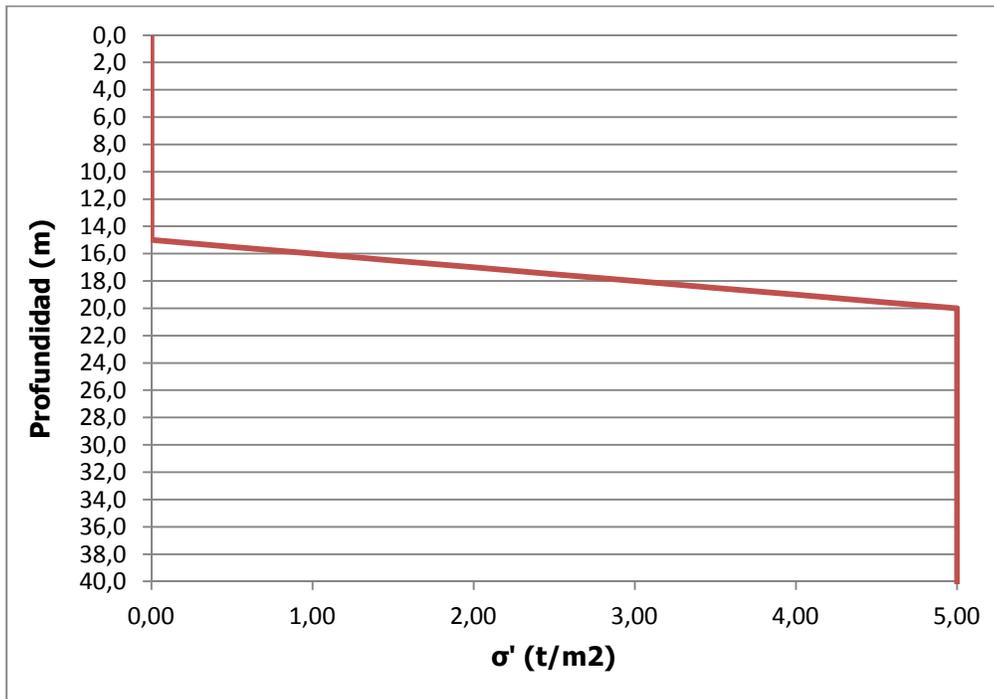
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 15,0 m (continuación)

Profundidad	σ' antes (t/m²)	σ' después (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
22,5	31,88	36,88	5,00	312,69	361,74
23,0	32,25	37,25	5,00	316,37	365,42
23,5	32,63	37,63	5,00	320,05	369,10
24,0	33,00	38,00	5,00	323,73	372,78
24,5	33,38	38,38	5,00	327,41	376,46
25,0	33,75	38,75	5,00	331,09	380,14
25,5	34,13	39,13	5,00	334,77	383,82
26,0	34,50	39,50	5,00	338,45	387,50
26,5	34,88	39,88	5,00	342,12	391,17
27,0	35,25	40,25	5,00	345,80	394,85
27,5	35,63	40,63	5,00	349,48	398,53
28,0	36,00	41,00	5,00	353,16	402,21
28,5	36,38	41,38	5,00	356,84	405,89
29,0	36,75	41,75	5,00	360,52	409,57
29,5	37,13	42,13	5,00	364,20	413,25
30,0	37,50	42,50	5,00	367,88	416,93
30,5	37,88	42,88	5,00	371,55	420,60
31,0	38,25	43,25	5,00	375,23	424,28
31,5	38,63	43,63	5,00	378,91	427,96
32,0	39,00	44,00	5,00	382,59	431,64
32,5	39,38	44,38	5,00	386,27	435,32
33,0	39,75	44,75	5,00	389,95	439,00
33,5	40,13	45,13	5,00	393,63	442,68
34,0	40,50	45,50	5,00	397,31	446,36
34,5	40,88	45,88	5,00	400,98	450,03
35,0	41,25	46,25	5,00	404,66	453,71
35,5	41,63	46,63	5,00	408,34	457,39
36,0	42,00	47,00	5,00	412,02	461,07
36,5	42,38	47,38	5,00	415,70	464,75
37,0	42,75	47,75	5,00	419,38	468,43
37,5	43,13	48,13	5,00	423,06	472,11
38,0	43,50	48,50	5,00	426,74	475,79
38,5	43,88	48,88	5,00	430,41	479,46
39,0	44,25	49,25	5,00	434,09	483,14
39,5	44,63	49,63	5,00	437,77	486,82
40,0	45,00	50,00	5,00	441,45	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 15,0 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 15,0 m



B.6 Nivel Freático inicial a 18,5 m

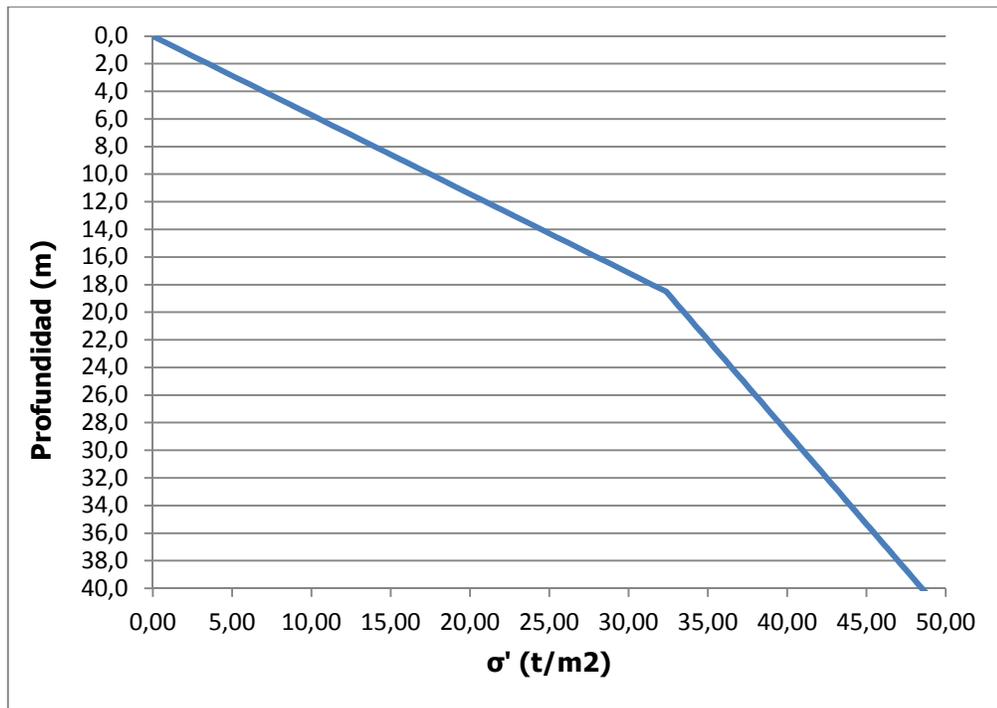
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 18,5 m

Profundidad	σ'_{antes} (t/m ²)	$\sigma'_{\text{después}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma'$ (t/m ²)	σ'_{antes} (kPa)	$\sigma'_{\text{después}}$ (kPa)
0,5	0,88	0,88	0,00	8,58	8,58
1,0	1,75	1,75	0,00	17,17	17,17
1,5	2,63	2,63	0,00	25,75	25,75
2,0	3,50	3,50	0,00	34,34	34,34
2,5	4,38	4,38	0,00	42,92	42,92
3,0	5,25	5,25	0,00	51,50	51,50
3,5	6,13	6,13	0,00	60,09	60,09
4,0	7,00	7,00	0,00	68,67	68,67
4,5	7,88	7,88	0,00	77,25	77,25
5,0	8,75	8,75	0,00	85,84	85,84
5,5	9,63	9,63	0,00	94,42	94,42
6,0	10,50	10,50	0,00	103,01	103,01
6,5	11,38	11,38	0,00	111,59	111,59
7,0	12,25	12,25	0,00	120,17	120,17
7,5	13,13	13,13	0,00	128,76	128,76
8,0	14,00	14,00	0,00	137,34	137,34
8,5	14,88	14,88	0,00	145,92	145,92
9,0	15,75	15,75	0,00	154,51	154,51
9,5	16,63	16,63	0,00	163,09	163,09
10,0	17,50	17,50	0,00	171,68	171,68
10,5	18,38	18,38	0,00	180,26	180,26
11,0	19,25	19,25	0,00	188,84	188,84
11,5	20,13	20,13	0,00	197,43	197,43
12,0	21,00	21,00	0,00	206,01	206,01
12,5	21,88	21,88	0,00	214,59	214,59
13,0	22,75	22,75	0,00	223,18	223,18
13,5	23,63	23,63	0,00	231,76	231,76
14,0	24,50	24,50	0,00	240,35	240,35
14,5	25,38	25,38	0,00	248,93	248,93
15,0	26,25	26,25	0,00	257,51	257,51
15,5	27,13	27,13	0,00	266,10	266,10
16,0	28,00	28,00	0,00	274,68	274,68
16,5	28,88	28,88	0,00	283,26	283,26
17,0	29,75	29,75	0,00	291,85	291,85
17,5	30,63	30,63	0,00	300,43	300,43
18,0	31,50	31,50	0,00	309,02	309,02
18,5	32,38	32,38	0,00	317,60	317,60
19,0	32,75	33,25	0,50	321,28	326,18
19,5	33,13	34,13	1,00	324,96	334,77
20,0	33,50	35,00	1,50	328,64	343,35
20,5	33,88	35,38	1,50	332,31	347,03
21,0	34,25	35,75	1,50	335,99	350,71
21,5	34,63	36,13	1,50	339,67	354,39
22,0	35,00	36,50	1,50	343,35	358,07

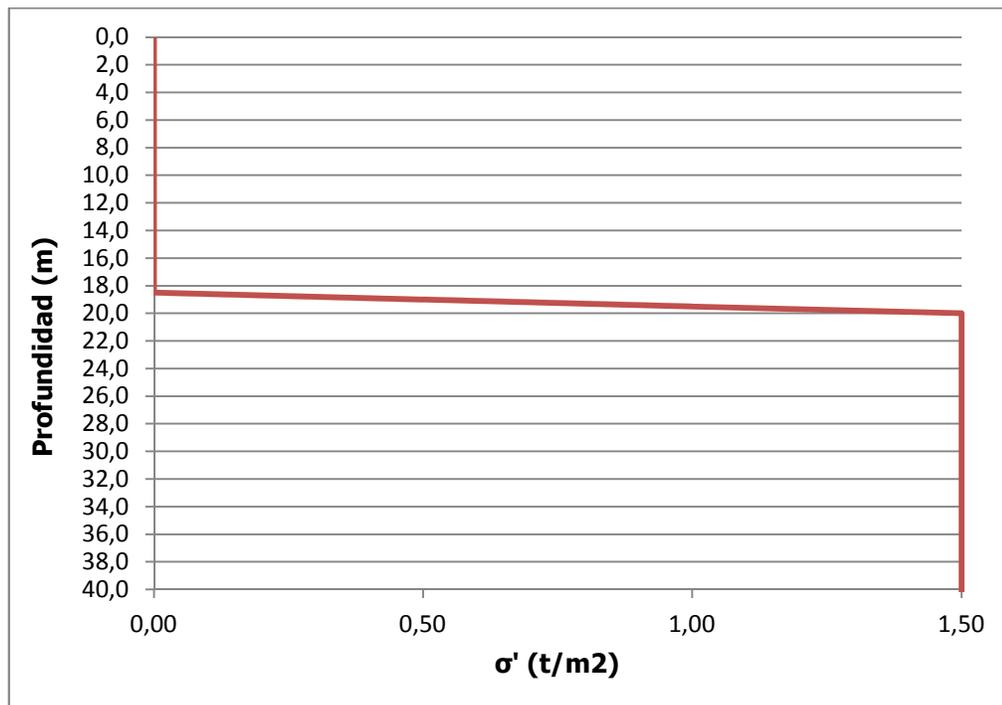
Esfuerzos efectivos para un nivel freático inicial a 18,5 m (continuación)

Profundidad	σ' antes (t/m²)	σ' después (t/m²)	$\Delta\sigma'$ (t/m²)	σ' antes (kPa)	σ' después (kPa)
22,5	35,38	36,88	1,50	347,03	361,74
23,0	35,75	37,25	1,50	350,71	365,42
23,5	36,13	37,63	1,50	354,39	369,10
24,0	36,50	38,00	1,50	358,07	372,78
24,5	36,88	38,38	1,50	361,74	376,46
25,0	37,25	38,75	1,50	365,42	380,14
25,5	37,63	39,13	1,50	369,10	383,82
26,0	38,00	39,50	1,50	372,78	387,50
26,5	38,38	39,88	1,50	376,46	391,17
27,0	38,75	40,25	1,50	380,14	394,85
27,5	39,13	40,63	1,50	383,82	398,53
28,0	39,50	41,00	1,50	387,50	402,21
28,5	39,88	41,38	1,50	391,17	405,89
29,0	40,25	41,75	1,50	394,85	409,57
29,5	40,63	42,13	1,50	398,53	413,25
30,0	41,00	42,50	1,50	402,21	416,93
30,5	41,38	42,88	1,50	405,89	420,60
31,0	41,75	43,25	1,50	409,57	424,28
31,5	42,13	43,63	1,50	413,25	427,96
32,0	42,50	44,00	1,50	416,93	431,64
32,5	42,88	44,38	1,50	420,60	435,32
33,0	43,25	44,75	1,50	424,28	439,00
33,5	43,63	45,13	1,50	427,96	442,68
34,0	44,00	45,50	1,50	431,64	446,36
34,5	44,38	45,88	1,50	435,32	450,03
35,0	44,75	46,25	1,50	439,00	453,71
35,5	45,13	46,63	1,50	442,68	457,39
36,0	45,50	47,00	1,50	446,36	461,07
36,5	45,88	47,38	1,50	450,03	464,75
37,0	46,25	47,75	1,50	453,71	468,43
37,5	46,63	48,13	1,50	457,39	472,11
38,0	47,00	48,50	1,50	461,07	475,79
38,5	47,38	48,88	1,50	464,75	479,46
39,0	47,75	49,25	1,50	468,43	483,14
39,5	48,13	49,63	1,50	472,11	486,82
40,0	48,50	50,00	1,50	475,79	490,50

Estado inicial de esfuerzos con nivel freático a 18,5 m



Cambio en el esfuerzo para un nivel freático a 15,0 m



Apéndice C: Cálculo de asentamientos

A continuación se muestran los cálculos de asentamientos de la perforación P2 en adelante. Los de P1 se pueden consultar en la Sección 4.2.1.

C.1 Asentamientos en P2 (Liceo de Puriscal) NF=18,5 m

Para este caso se realizó el análisis utilizando la curva de relación de vacíos - esfuerzo obtenida del Punto de Muestreo 2, debido a la cercanía con este sitio. Es de esperar que el resultado sea muy bajo, debido a que según el nivel freático registrado, con un abatimiento a los 20 m de profundidad, no se daría un aumento significativo en los esfuerzos efectivos.

No se incluye el cálculo con la curva promedio es muy similar a la curva del Punto de Muestreo 2, por lo que el resultado es casi equivalente (Ver Figura 3.26). De todas formas, no podría existir mucha variación, dado el insignificante aumento en los esfuerzos efectivos para este nivel freático inicial.

C.1.1 Asentamientos utilizando el Punto de Muestreo 2

Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 2

e	σ_v (kPa)
1,5409	12,0568
1,5332	24,1763
1,5144	48,4154
1,4857	96,9564
1,4451	194,0383
1,3658	388,2650
1,2417	776,7184

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

Asentamientos en P2, Punto de Muestreo 2

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	14	1,5426	1,5426	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	14	1,5370	1,5370	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	20	1,5315	1,5315	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	15	1,5237	1,5237	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	13	1,5177	1,5177	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	13	1,5119	1,5119	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	8	1,5055	1,5055	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	10	1,5000	1,5000	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	13	1,4951	1,4951	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	7	1,4907	1,4907	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	4	1,4868	1,4868	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	4	1,4822	1,4822	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	2	1,4775	1,4775	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	4	1,4731	1,4731	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	3	1,4691	1,4691	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	5	1,4653	1,4653	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,0	8,5	4	1,4618	1,4618	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,5	9,0	4	1,4584	1,4584	0,00000	0,00000	0,00	0,00
9,0	9,5	5	1,4553	1,4553	0,00000	0,00000	0,00	0,00
9,5	10,0	8	1,4523	1,4523	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,0	10,5	10	1,4494	1,4494	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,5	11,0	10	1,4467	1,4467	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,0	11,5	3	1,4431	1,4431	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,5	12,0	6	1,4383	1,4383	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,0	12,5	15	1,4336	1,4336	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,5	13,0	-	1,4291	1,4291	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,0	13,5	-	1,4248	1,4248	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,5	14,0	9	1,4206	1,4206	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,0	14,5	14	1,4166	1,4166	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,5	15,0	47	1,4127	1,4127	0,00000	0,00000	0,00	0,00
15,0	15,5	42	1,4090	1,4090	0,00000	0,00000	0,00	0,00
15,5	16,0	19	1,4054	1,4054	0,00000	0,00000	0,00	0,00
16,0	16,5	31	1,4018	1,4018	0,00000	0,00000	0,00	0,00
16,5	17,0	36	1,3984	1,3984	0,00000	0,00000	0,00	0,00
17,0	17,5	20	1,3951	1,3951	0,00000	0,00000	0,00	0,00
17,5	18,0	23	1,3919	1,3919	0,00000	0,00000	0,00	0,00
18,0	18,5	26	1,3888	1,3888	0,00000	0,00000	0,00	0,00
18,5	19,0	-	1,3874	1,3857	0,00173	0,00073	0,04	0,02
19,0	19,5	-	1,3861	1,3827	0,00340	0,00143	0,07	0,04
19,5	20,0	-	1,3848	1,3798	0,00501	0,00210	0,11	0,05
20,0	20,5	-	1,3836	1,3786	0,00495	0,00208	0,10	0,05
20,5	21,0	-	1,3823	1,3774	0,00490	0,00206	0,10	0,05
21,0	21,5	-	1,3811	1,3762	0,00485	0,00204	0,10	0,05
21,5	22,0	-	1,3798	1,3750	0,00480	0,00202	0,10	0,05
22,0	22,5	-	1,3786	1,3739	0,00475	0,00200	0,10	0,05
22,5	23,0	-	1,3774	1,3727	0,00470	0,00198	0,10	0,05
Σ							0,82	0,43

C.2 Asentamientos en P3 (Antiguo Aserradero) NF=3,0 m

Este punto se analizó utilizando la curva del Punto de Muestreo 6 y la curva promedio.

C.2.1 Asentamientos en P3 utilizando el Punto de Muestreo 6

Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 6

e	σ_v (kPa)
1,7321	15,8279
1,7225	31,6557
1,7015	63,3115
1,6728	126,6229
1,6353	253,2459
1,5710	506,4918

Asentamientos en P3, Punto de Muestreo 6

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	$\Delta H_{ajustado}$
De	A							
0,0	0,5	16	1,7352	1,7352	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	14	1,7309	1,7309	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	8	1,7253	1,7253	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	5	1,7200	1,7200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	5	1,7133	1,7133	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	0	1,7078	1,7078	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	0	1,7057	1,7031	0,00258	0,00095	0,05	0,16
3,5	4,0	0	1,7037	1,6982	0,00557	0,00206	0,10	0,34
4,0	4,5	2	1,7019	1,6933	0,00860	0,00318	0,16	0,80
4,5	5,0	4	1,6997	1,6889	0,01073	0,00397	0,20	0,50
5,0	5,5	2	1,6974	1,6850	0,01244	0,00461	0,23	1,15
5,5	6,0	2	1,6953	1,6814	0,01391	0,00516	0,26	1,29
6,0	6,5	3	1,6933	1,6781	0,01521	0,00565	0,28	0,94
6,5	7,0	10	1,6914	1,6750	0,01635	0,00607	0,30	0,30
7,0	7,5	36	1,6895	1,6719	0,01758	0,00654	0,33	0,09
7,5	8,0	10	1,6878	1,6684	0,01932	0,00719	0,36	0,36
8,0	8,5	8	1,6861	1,6652	0,02092	0,00779	0,39	0,49
8,5	9,0	9	1,6845	1,6621	0,02239	0,00834	0,42	0,46
9,0	9,5	7	1,6829	1,6591	0,02377	0,00886	0,44	0,63
9,5	10,0	12	1,6814	1,6563	0,02504	0,00934	0,47	0,39
10,0	10,5	15	1,6799	1,6537	0,02624	0,00979	0,49	0,33
10,5	11,0	13	1,6785	1,6512	0,02736	0,01021	0,51	0,39
11,0	11,5	25	1,6772	1,6488	0,02841	0,01061	0,53	0,21
11,5	12,0	18	1,6759	1,6465	0,02941	0,01099	0,55	0,31
12,0	12,5	22	1,6746	1,6442	0,03035	0,01135	0,57	0,26
12,5	13,0	5	1,6734	1,6421	0,03124	0,01169	0,58	1,17
13,0	13,5	19	1,6719	1,6401	0,03188	0,01193	0,60	0,31

Asentamientos en P3, Punto de Muestreo 6 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
13,5	14,0	15	1,6704	1,6381	0,03232	0,01210	0,61	0,40
14,0	14,5	36	1,6689	1,6362	0,03274	0,01227	0,61	0,17
14,5	15,0	23	1,6675	1,6337	0,03377	0,01266	0,63	0,28
15,0	15,5	20	1,6661	1,6307	0,03540	0,01328	0,66	0,33
15,5	16,0	48	1,6647	1,6277	0,03697	0,01387	0,69	0,14
16,0	16,5	26	1,6634	1,6249	0,03848	0,01445	0,72	0,28
16,5	17,0	57	1,6621	1,6221	0,03994	0,01500	0,75	0,13
17,0	17,5	13	1,6608	1,6194	0,04135	0,01554	0,78	0,60
17,5	18,0	66	1,6595	1,6168	0,04271	0,01606	0,80	0,12
18,0	18,5	-	1,6583	1,6143	0,04403	0,01656	0,83	0,16
18,5	19,0	-	1,6571	1,6118	0,04531	0,01705	0,85	0,17
19,0	19,5	-	1,6560	1,6094	0,04655	0,01753	0,88	0,17
19,5	20,0	-	1,6548	1,6071	0,04775	0,01799	0,90	0,18
20,0	20,5	-	1,6537	1,6061	0,04762	0,01795	0,90	0,18
20,5	21,0	35	1,6526	1,6051	0,04750	0,01791	0,90	0,26
21,0	21,5	33	1,6515	1,6041	0,04740	0,01788	0,89	0,27
21,5	22,0	29	1,6505	1,6032	0,04730	0,01785	0,89	0,31
22,0	22,5	38	1,6494	1,6022	0,04722	0,01782	0,89	0,23
22,5	23,0	25	1,6484	1,6013	0,04714	0,01780	0,89	0,36
23,0	23,5	-	1,6474	1,6004	0,04707	0,01778	0,89	0,36
23,5	24,0	-	1,6465	1,5994	0,04701	0,01776	0,89	0,36
24,0	24,5	-	1,6455	1,5985	0,04696	0,01775	0,89	0,36
24,5	25,0	-	1,6446	1,5976	0,04692	0,01774	0,89	0,35
25,0	25,5	-	1,6436	1,5967	0,04689	0,01774	0,89	0,35
25,5	26,0	-	1,6427	1,5959	0,04686	0,01773	0,89	0,35
26,0	26,5	-	1,6418	1,5950	0,04684	0,01773	0,89	0,35
26,5	27,0	-	1,6409	1,5941	0,04682	0,01773	0,89	0,35
27,0	27,5	24	1,6401	1,5933	0,04681	0,01773	0,89	0,37
27,5	28,0	66	1,6392	1,5924	0,04681	0,01774	0,89	0,13
28,0	28,5	-	1,6384	1,5916	0,04681	0,01774	0,89	0,16
28,5	29,0	-	1,6375	1,5907	0,04682	0,01775	0,89	0,16
29,0	29,5	-	1,6367	1,5899	0,04684	0,01776	0,89	0,16
29,5	30,0	-	1,6359	1,5891	0,04685	0,01777	0,89	0,16
30,0	30,5	-	1,6350	1,5883	0,04679	0,01776	0,89	0,16
30,5	31,0	-	1,6338	1,5874	0,04632	0,01759	0,88	0,16
31,0	31,5	-	1,6324	1,5866	0,04581	0,01740	0,87	0,16
31,5	32,0	-	1,6311	1,5858	0,04530	0,01722	0,86	0,15
32,0	32,5	-	1,6299	1,5850	0,04481	0,01704	0,85	0,15
32,5	33,0	-	1,6286	1,5843	0,04433	0,01686	0,84	0,15
33,0	33,5	45	1,6273	1,5835	0,04386	0,01669	0,83	0,19
33,5	34,0	42	1,6261	1,5827	0,04340	0,01652	0,83	0,20
34,0	34,5	43	1,6249	1,5820	0,04295	0,01636	0,82	0,19
34,5	35,0	60	1,6237	1,5812	0,04250	0,01620	0,81	0,13
35,0	35,5	90	1,6225	1,5805	0,04207	0,01604	0,80	0,09
Σ							44,60	21,32

C.2.2 Asentamientos en P3 utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	16	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	14	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	8	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	5	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	5	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	0	1,5274	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	0	1,5247	1,5200	0,00463	0,00183	0,09	0,31
3,5	4,0	0	1,5212	1,5128	0,00838	0,00332	0,17	0,55
4,0	4,5	2	1,5179	1,5064	0,01149	0,00456	0,23	1,14
4,5	5,0	4	1,5148	1,5007	0,01411	0,00561	0,28	0,70
5,0	5,5	2	1,5118	1,4955	0,01635	0,00651	0,33	1,63
5,5	6,0	2	1,5090	1,4907	0,01830	0,00729	0,36	1,82
6,0	6,5	3	1,5064	1,4859	0,02046	0,00816	0,41	1,36
6,5	7,0	10	1,5039	1,4804	0,02342	0,00935	0,47	0,47
7,0	7,5	36	1,5014	1,4753	0,02611	0,01044	0,52	0,14
7,5	8,0	10	1,4991	1,4706	0,02857	0,01143	0,57	0,57
8,0	8,5	8	1,4969	1,4661	0,03083	0,01235	0,62	0,77
8,5	9,0	9	1,4948	1,4618	0,03293	0,01320	0,66	0,73
9,0	9,5	7	1,4927	1,4578	0,03488	0,01399	0,70	1,00
9,5	10,0	12	1,4907	1,4540	0,03670	0,01473	0,74	0,61
10,0	10,5	15	1,4888	1,4504	0,03840	0,01543	0,77	0,51
10,5	11,0	13	1,4867	1,4470	0,03975	0,01598	0,80	0,61
11,0	11,5	25	1,4843	1,4437	0,04061	0,01635	0,82	0,33
11,5	12,0	18	1,4820	1,4406	0,04141	0,01668	0,83	0,46
12,0	12,5	22	1,4797	1,4375	0,04215	0,01700	0,85	0,39
12,5	13,0	5	1,4775	1,4339	0,04361	0,01760	0,88	1,76
13,0	13,5	19	1,4753	1,4299	0,04547	0,01837	0,92	0,48
13,5	14,0	15	1,4732	1,4260	0,04724	0,01910	0,96	0,64
14,0	14,5	36	1,4712	1,4223	0,04894	0,01980	0,99	0,28
14,5	15,0	23	1,4692	1,4187	0,05056	0,02048	1,02	0,45
15,0	15,5	20	1,4673	1,4152	0,05212	0,02112	1,06	0,53
15,5	16,0	48	1,4654	1,4118	0,05361	0,02175	1,09	0,23
16,0	16,5	26	1,4636	1,4086	0,05505	0,02235	1,12	0,43
16,5	17,0	57	1,4618	1,4054	0,05643	0,02292	1,15	0,20
17,0	17,5	13	1,4601	1,4023	0,05777	0,02348	1,17	0,90
17,5	18,0	66	1,4584	1,3993	0,05906	0,02402	1,20	0,18
18,0	18,5	-	1,4567	1,3964	0,06030	0,02454	1,23	0,24
18,5	19,0	-	1,4551	1,3936	0,06150	0,02505	1,25	0,25
19,0	19,5	-	1,4535	1,3908	0,06267	0,02554	1,28	0,25
19,5	20,0	-	1,4520	1,3882	0,06380	0,02602	1,30	0,26
20,0	20,5	-	1,4504	1,3870	0,06340	0,02587	1,29	0,25
20,5	21,0	35	1,4489	1,3859	0,06303	0,02574	1,29	0,37
21,0	21,5	33	1,4475	1,3848	0,06267	0,02560	1,28	0,39
21,5	22,0	29	1,4460	1,3837	0,06233	0,02548	1,27	0,44
22,0	22,5	38	1,4446	1,3826	0,06200	0,02536	1,27	0,33
22,5	23,0	25	1,4432	1,3816	0,06169	0,02525	1,26	0,50
23,0	23,5	-	1,4419	1,3805	0,06140	0,02514	1,26	0,50
23,5	24,0	-	1,4406	1,3794	0,06111	0,02504	1,25	0,50
24,0	24,5	-	1,4392	1,3784	0,06085	0,02495	1,25	0,50
24,5	25,0	-	1,4380	1,3774	0,06059	0,02485	1,24	0,50
25,0	25,5	-	1,4367	1,3763	0,06035	0,02477	1,24	0,50
25,5	26,0	-	1,4350	1,3753	0,05971	0,02452	1,23	0,49
26,0	26,5	-	1,4333	1,3743	0,05896	0,02423	1,21	0,48

Asentamientos en P3, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
26,5	27,0	-	1,4316	1,3733	0,05823	0,02395	1,20	0,48
27,0	27,5	24	1,4299	1,3723	0,05751	0,02367	1,18	0,49
27,5	28,0	66	1,4282	1,3714	0,05682	0,02340	1,17	0,18
28,0	28,5	-	1,4265	1,3704	0,05614	0,02314	1,16	0,21
28,5	29,0	-	1,4249	1,3695	0,05548	0,02288	1,14	0,20
29,0	29,5	-	1,4233	1,3685	0,05483	0,02263	1,13	0,20
29,5	30,0	-	1,4218	1,3676	0,05420	0,02238	1,12	0,20
30,0	30,5	-	1,4202	1,3666	0,05358	0,02214	1,11	0,20
30,5	31,0	-	1,4187	1,3657	0,05298	0,02190	1,10	0,20
31,0	31,5	-	1,4172	1,3648	0,05239	0,02167	1,08	0,19
31,5	32,0	-	1,4157	1,3639	0,05181	0,02145	1,07	0,19
32,0	32,5	-	1,4142	1,3630	0,05125	0,02123	1,06	0,19
32,5	33,0	-	1,4128	1,3610	0,05176	0,02145	1,07	0,19
33,0	33,5	45	1,4114	1,3589	0,05250	0,02177	1,09	0,24
33,5	34,0	42	1,4100	1,3567	0,05323	0,02209	1,10	0,26
34,0	34,5	43	1,4086	1,3546	0,05397	0,02241	1,12	0,26
34,5	35,0	60	1,4072	1,3525	0,05471	0,02273	1,14	0,19
35,0	35,5	90	1,4059	1,3504	0,05544	0,02305	1,15	0,13
Σ							63,36	31,15

C.3 Asentamientos en P4 (Polideportivo) NF=5,0 m

Este punto se analizó utilizando la curva del Punto de Muestreo 3 y la curva promedio.

C.3.1 Asentamientos en P4 utilizando el Punto de Muestreo 3

Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 3

e	σ _v (kPa)
1,3835	6,1433
1,3742	12,2865
1,3529	24,6370
1,3294	49,3380
1,3053	98,8040
1,2674	197,7359

Asentamientos en P4, Punto de Muestreo 3

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	5	1,3790	1,3790	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	4	1,3640	1,3640	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	5	1,3514	1,3514	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	4	1,3417	1,3417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	4	1,3341	1,3341	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	5	1,3279	1,3279	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	5	1,3226	1,3226	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	4	1,3179	1,3179	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	4	1,3138	1,3138	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	5	1,3102	1,3102	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	7	1,3087	1,3068	0,00186	0,00080	0,04	0,03
5,5	6,0	10	1,3073	1,3030	0,00430	0,00187	0,09	0,05
6,0	6,5	1	1,3060	1,2986	0,00732	0,00317	0,16	0,79
6,5	7,0	4	1,3043	1,2946	0,00972	0,00422	0,21	0,26
7,0	7,5	9	1,3024	1,2908	0,01152	0,00500	0,25	0,14
7,5	8,0	5	1,3005	1,2873	0,01315	0,00572	0,29	0,29
8,0	8,5	9	1,2986	1,2840	0,01463	0,00636	0,32	0,18
8,5	9,0	5	1,2969	1,2809	0,01597	0,00695	0,35	0,35
9,0	9,5	3	1,2952	1,2779	0,01721	0,00750	0,37	0,62
9,5	10,0	3	1,2935	1,2751	0,01834	0,00800	0,40	0,67
10,0	10,5	4	1,2919	1,2725	0,01939	0,00846	0,42	0,53
10,5	11,0	5	1,2903	1,2700	0,02036	0,00889	0,44	0,44
11,0	11,5	10	1,2888	1,2675	0,02127	0,00929	0,46	0,23
11,5	12,0	12	1,2873	1,2652	0,02211	0,00966	0,48	0,20
12,0	12,5	10	1,2859	1,2630	0,02289	0,01001	0,50	0,25
12,5	13,0	5	1,2845	1,2608	0,02362	0,01034	0,52	0,52
13,0	13,5	10	1,2831	1,2588	0,02431	0,01065	0,53	0,27
13,5	14,0	5	1,2818	1,2568	0,02496	0,01094	0,55	0,55
14,0	14,5	5	1,2805	1,2549	0,02557	0,01121	0,56	0,56
14,5	15,0	4	1,2792	1,2530	0,02615	0,01147	0,57	0,72
15,0	15,5	3	1,2779	1,2513	0,02669	0,01172	0,59	0,98
15,5	16,0	4	1,2767	1,2495	0,02720	0,01195	0,60	0,75
16,0	16,5	6	1,2755	1,2478	0,02769	0,01217	0,61	0,51
16,5	17,0	6	1,2744	1,2462	0,02816	0,01238	0,62	0,52
17,0	17,5	4	1,2732	1,2446	0,02860	0,01258	0,63	0,79
17,5	18,0	3	1,2721	1,2431	0,02902	0,01277	0,64	1,06
18,0	18,5	6	1,2710	1,2416	0,02942	0,01295	0,65	0,54
18,5	19,0	5	1,2700	1,2402	0,02980	0,01313	0,66	0,66
19,0	19,5	6	1,2689	1,2387	0,03016	0,01329	0,66	0,55
19,5	20,0	5	1,2679	1,2374	0,03051	0,01345	0,67	0,67
20,0	20,5	10	1,2669	1,2368	0,03008	0,01327	0,66	0,33
20,5	21,0	10	1,2659	1,2362	0,02966	0,01309	0,65	0,33
21,0	21,5	7	1,2649	1,2356	0,02925	0,01292	0,65	0,46
21,5	22,0	5	1,2639	1,2351	0,02886	0,01275	0,64	0,64
22,0	22,5	5	1,2630	1,2345	0,02847	0,01258	0,63	0,63
22,5	23,0	12	1,2621	1,2340	0,02809	0,01242	0,62	0,26
23,0	23,5	40	1,2611	1,2334	0,02773	0,01226	0,61	0,08
23,5	24,0	80	1,2602	1,2329	0,02737	0,01211	0,61	0,04
24,0	24,5	-	1,2594	1,2323	0,02703	0,01196	0,60	0,05
24,5	25,0	-	1,2585	1,2318	0,02669	0,01182	0,59	0,05
25,0	25,5	35	1,2576	1,2313	0,02636	0,01168	0,58	0,08
25,5	26,0	43	1,2568	1,2308	0,02604	0,01154	0,58	0,07
26,0	26,5	21	1,2560	1,2302	0,02573	0,01140	0,57	0,14
26,5	27,0	26	1,2552	1,2297	0,02542	0,01127	0,56	0,11
27,0	27,5	16	1,2544	1,2292	0,02512	0,01114	0,56	0,17
27,5	28,0	25	1,2536	1,2287	0,02483	0,01102	0,55	0,11

Asentamientos en P4, Punto de Muestreo 3 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
28,0	28,5	24	1,2528	1,2282	0,02455	0,01090	0,54	0,11
28,5	29,0	20	1,2520	1,2277	0,02427	0,01078	0,54	0,13
29,0	29,5	23	1,2513	1,2273	0,02400	0,01066	0,53	0,12
29,5	30,0	55	1,2505	1,2268	0,02373	0,01055	0,53	0,05
30,0	30,5	41	1,2498	1,2263	0,02347	0,01043	0,52	0,06
30,5	31,0	56	1,2490	1,2258	0,02322	0,01032	0,52	0,05
31,0	31,5	57	1,2483	1,2253	0,02297	0,01022	0,51	0,04
31,5	32,0	33	1,2476	1,2249	0,02273	0,01011	0,51	0,08
32,0	32,5	20	1,2469	1,2244	0,02249	0,01001	0,50	0,13
32,5	33,0	32	1,2462	1,2240	0,02226	0,00991	0,50	0,08
33,0	33,5	43	1,2455	1,2235	0,02203	0,00981	0,49	0,06
33,5	34,0	44	1,2449	1,2231	0,02181	0,00971	0,49	0,06
34,0	34,5	49	1,2442	1,2226	0,02159	0,00962	0,48	0,05
34,5	35,0	54	1,2435	1,2222	0,02137	0,00953	0,48	0,04
35,0	35,5	50	1,2429	1,2217	0,02116	0,00944	0,47	0,05
35,5	36,0	39	1,2422	1,2213	0,02096	0,00935	0,47	0,06
36,0	36,5	36	1,2416	1,2209	0,02076	0,00926	0,46	0,06
36,5	37,0	76	1,2410	1,2204	0,02056	0,00917	0,46	0,03
37,0	37,5	61	1,2404	1,2200	0,02036	0,00909	0,45	0,04
Σ							32,95	19,49

C.3.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	5	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	4	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	5	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	4	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	4	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	5	1,5274	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	5	1,5200	1,5200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	4	1,5128	1,5128	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	4	1,5064	1,5064	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	5	1,5007	1,5007	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	7	1,4984	1,4955	0,00290	0,00116	0,06	0,04
5,5	6,0	10	1,4962	1,4907	0,00544	0,00218	0,11	0,05
6,0	6,5	1	1,4941	1,4859	0,00816	0,00327	0,16	0,82
6,5	7,0	4	1,4921	1,4804	0,01162	0,00466	0,23	0,29
7,0	7,5	9	1,4901	1,4753	0,01477	0,00593	0,30	0,16
7,5	8,0	5	1,4882	1,4706	0,01766	0,00710	0,35	0,35
8,0	8,5	9	1,4859	1,4661	0,01985	0,00799	0,40	0,22
8,5	9,0	5	1,4835	1,4618	0,02168	0,00873	0,44	0,44
9,0	9,5	3	1,4812	1,4578	0,02336	0,00941	0,47	0,78
9,5	10,0	3	1,4789	1,4540	0,02490	0,01004	0,50	0,84
10,0	10,5	4	1,4768	1,4504	0,02632	0,01063	0,53	0,66
10,5	11,0	5	1,4746	1,4470	0,02764	0,01117	0,56	0,56
11,0	11,5	10	1,4726	1,4437	0,02886	0,01167	0,58	0,29
11,5	12,0	12	1,4706	1,4406	0,03000	0,01214	0,61	0,25

Asentamientos en P4, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
12,0	12,5	10	1,4686	1,4375	0,03107	0,01259	0,63	0,31
12,5	13,0	5	1,4667	1,4339	0,03283	0,01331	0,67	0,67
13,0	13,5	10	1,4648	1,4299	0,03497	0,01419	0,71	0,35
13,5	14,0	5	1,4630	1,4260	0,03702	0,01503	0,75	0,75
14,0	14,5	5	1,4613	1,4223	0,03897	0,01583	0,79	0,79
14,5	15,0	4	1,4595	1,4187	0,04084	0,01661	0,83	1,04
15,0	15,5	3	1,4578	1,4152	0,04263	0,01735	0,87	1,45
15,5	16,0	4	1,4562	1,4118	0,04435	0,01806	0,90	1,13
16,0	16,5	6	1,4546	1,4086	0,04600	0,01874	0,94	0,78
16,5	17,0	6	1,4530	1,4054	0,04759	0,01940	0,97	0,81
17,0	17,5	4	1,4514	1,4023	0,04912	0,02004	1,00	1,25
17,5	18,0	3	1,4499	1,3993	0,05059	0,02065	1,03	1,72
18,0	18,5	6	1,4484	1,3964	0,05201	0,02124	1,06	0,89
18,5	19,0	5	1,4470	1,3936	0,05339	0,02182	1,09	1,09
19,0	19,5	6	1,4456	1,3908	0,05471	0,02237	1,12	0,93
19,5	20,0	5	1,4442	1,3882	0,05600	0,02291	1,15	1,15
20,0	20,5	10	1,4428	1,3870	0,05576	0,02282	1,14	0,57
20,5	21,0	10	1,4414	1,3859	0,05553	0,02274	1,14	0,57
21,0	21,5	7	1,4401	1,3848	0,05531	0,02267	1,13	0,81
21,5	22,0	5	1,4388	1,3837	0,05510	0,02259	1,13	1,13
22,0	22,5	5	1,4375	1,3826	0,05491	0,02253	1,13	1,13
22,5	23,0	12	1,4362	1,3816	0,05467	0,02244	1,12	0,47
23,0	23,5	40	1,4345	1,3805	0,05396	0,02217	1,11	0,14
23,5	24,0	80	1,4327	1,3794	0,05327	0,02190	1,09	0,07
24,0	24,5	-	1,4310	1,3784	0,05260	0,02164	1,08	0,09
24,5	25,0	-	1,4293	1,3774	0,05194	0,02138	1,07	0,09
25,0	25,5	35	1,4276	1,3763	0,05130	0,02113	1,06	0,15
25,5	26,0	43	1,4260	1,3753	0,05068	0,02089	1,04	0,12
26,0	26,5	21	1,4244	1,3743	0,05007	0,02065	1,03	0,25
26,5	27,0	26	1,4228	1,3733	0,04947	0,02042	1,02	0,20
27,0	27,5	16	1,4212	1,3723	0,04889	0,02019	1,01	0,32
27,5	28,0	25	1,4197	1,3714	0,04833	0,01997	1,00	0,20
28,0	28,5	24	1,4182	1,3704	0,04777	0,01976	0,99	0,21
28,5	29,0	20	1,4167	1,3695	0,04723	0,01954	0,98	0,24
29,0	29,5	23	1,4152	1,3685	0,04670	0,01934	0,97	0,21
29,5	30,0	55	1,4137	1,3676	0,04619	0,01913	0,96	0,09
30,0	30,5	41	1,4123	1,3666	0,04568	0,01894	0,95	0,12
30,5	31,0	56	1,4109	1,3657	0,04519	0,01874	0,94	0,08
31,0	31,5	57	1,4095	1,3648	0,04470	0,01855	0,93	0,08
31,5	32,0	33	1,4081	1,3639	0,04423	0,01837	0,92	0,14
32,0	32,5	20	1,4068	1,3630	0,04377	0,01819	0,91	0,23
32,5	33,0	32	1,4054	1,3610	0,04438	0,01845	0,92	0,14
33,0	33,5	43	1,4041	1,3589	0,04521	0,01881	0,94	0,11
33,5	34,0	44	1,4028	1,3567	0,04604	0,01916	0,96	0,11
34,0	34,5	49	1,4015	1,3546	0,04686	0,01951	0,98	0,10
34,5	35,0	54	1,4002	1,3525	0,04769	0,01987	0,99	0,09
35,0	35,5	50	1,3989	1,3504	0,04851	0,02022	1,01	0,10
35,5	36,0	39	1,3977	1,3483	0,04933	0,02058	1,03	0,13
36,0	36,5	36	1,3964	1,3463	0,05015	0,02093	1,05	0,15
36,5	37,0	76	1,3952	1,3442	0,05097	0,02128	1,06	0,07
37,0	37,5	61	1,3940	1,3422	0,05179	0,02163	1,08	0,09
Σ							55,67	29,66

C.4 Asentamientos en P5 (250 m O del polideportivo) NF=15 m

Este punto se analizó utilizando la curva del Punto de Muestreo 3 y la curva promedio.

C.4.1 Asentamientos en P5 utilizando el Punto de Muestreo 3

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	11	1,3790	1,3790	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	16	1,3640	1,3640	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	22	1,3514	1,3514	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	26	1,3417	1,3417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	16	1,3341	1,3341	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	14	1,3279	1,3279	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	10	1,3226	1,3226	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	13	1,3179	1,3179	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	15	1,3138	1,3138	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	20	1,3102	1,3102	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	12	1,3068	1,3068	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	-	1,3030	1,3030	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	-	1,2986	1,2986	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	4	1,2946	1,2946	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	6	1,2908	1,2908	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	22	1,2873	1,2873	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,0	8,5	13	1,2840	1,2840	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,5	9,0	11	1,2809	1,2809	0,00000	0,00000	0,00	0,00
9,0	9,5	14	1,2779	1,2779	0,00000	0,00000	0,00	0,00
9,5	10,0	16	1,2751	1,2751	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,0	10,5	10	1,2725	1,2725	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,5	11,0	6	1,2700	1,2700	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,0	11,5	10	1,2675	1,2675	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,5	12,0	24	1,2652	1,2652	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,0	12,5	14	1,2630	1,2630	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,5	13,0	22	1,2608	1,2608	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,0	13,5	19	1,2588	1,2588	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,5	14,0	20	1,2568	1,2568	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,0	14,5	85	1,2549	1,2549	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,5	15,0	42	1,2530	1,2530	0,00000	0,00000	0,00	0,00
15,0	15,5	98	1,2523	1,2513	0,00101	0,00045	0,02	0,00
15,5	16,0	-	1,2515	1,2495	0,00198	0,00088	0,04	0,01
16,0	16,5	37	1,2508	1,2478	0,00291	0,00129	0,06	0,02
16,5	17,0	52	1,2500	1,2462	0,00379	0,00169	0,08	0,02
17,0	17,5	-	1,2493	1,2446	0,00464	0,00206	0,10	0,02
17,5	18,0	-	1,2486	1,2431	0,00546	0,00243	0,12	0,02
18,0	18,5	-	1,2478	1,2416	0,00624	0,00277	0,14	0,03
18,5	19,0	-	1,2471	1,2402	0,00699	0,00311	0,16	0,03
19,0	19,5	-	1,2464	1,2387	0,00771	0,00343	0,17	0,03
19,5	20,0	60	1,2458	1,2374	0,00840	0,00374	0,19	0,03
20,0	20,5	59	1,2451	1,2368	0,00831	0,00370	0,19	0,03
20,5	21,0	56	1,2444	1,2362	0,00821	0,00366	0,18	0,04
21,0	21,5	59	1,2438	1,2356	0,00812	0,00362	0,18	0,03
21,5	22,0	43	1,2431	1,2351	0,00803	0,00358	0,18	0,05
22,0	22,5	41	1,2425	1,2345	0,00794	0,00354	0,18	0,05
22,5	23,0	38	1,2418	1,2340	0,00786	0,00351	0,18	0,05

Asentamientos en P5, Punto de Muestreo 3 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
23,0	23,5	42	1,2412	1,2334	0,00777	0,00347	0,17	0,05
23,5	24,0	25	1,2406	1,2329	0,00769	0,00343	0,17	0,08
24,0	24,5	25	1,2399	1,2323	0,00761	0,00340	0,17	0,07
24,5	25,0	29	1,2393	1,2318	0,00753	0,00336	0,17	0,06
25,0	25,5	52	1,2387	1,2313	0,00745	0,00333	0,17	0,04
25,5	26,0	67	1,2381	1,2308	0,00738	0,00330	0,16	0,03
26,0	26,5	77	1,2376	1,2302	0,00730	0,00326	0,16	0,02
26,5	27,0	87	1,2370	1,2297	0,00723	0,00323	0,16	0,02
27,0	27,5	44	1,2364	1,2292	0,00716	0,00320	0,16	0,04
27,5	28,0	92	1,2358	1,2287	0,00709	0,00317	0,16	0,02
28,0	28,5	99	1,2353	1,2282	0,00702	0,00314	0,16	0,02
28,5	29,0	18	1,2347	1,2277	0,00695	0,00311	0,16	0,10
29,0	29,5	78	1,2341	1,2273	0,00689	0,00308	0,15	0,02
29,5	30,0	85	1,2336	1,2268	0,00682	0,00306	0,15	0,02
30,0	30,5	62	1,2331	1,2263	0,00676	0,00303	0,15	0,03
30,5	31,0	48	1,2325	1,2258	0,00670	0,00300	0,15	0,03
31,0	31,5	40	1,2320	1,2253	0,00664	0,00297	0,15	0,04
31,5	32,0	84	1,2315	1,2249	0,00658	0,00295	0,15	0,02
32,0	32,5	25	1,2309	1,2244	0,00652	0,00292	0,15	0,06
32,5	33,0	-	1,2304	1,2240	0,00646	0,00290	0,14	0,03
33,0	33,5	-	1,2299	1,2235	0,00640	0,00287	0,14	0,03
33,5	34,0	-	1,2294	1,2231	0,00635	0,00285	0,14	0,03
34,0	34,5	-	1,2289	1,2226	0,00629	0,00282	0,14	0,03
34,5	35,0	99	1,2284	1,2222	0,00624	0,00280	0,14	0,02
35,0	35,5	80	1,2279	1,2217	0,00618	0,00278	0,14	0,02
Σ						6,05	1,37	

C.4.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	11	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	16	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	22	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	26	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	16	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	14	1,5274	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	10	1,5200	1,5200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	13	1,5128	1,5128	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	15	1,5064	1,5064	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	20	1,5007	1,5007	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	12	1,4955	1,4955	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	-	1,4907	1,4907	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	-	1,4859	1,4859	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	4	1,4804	1,4804	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	6	1,4753	1,4753	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	22	1,4706	1,4706	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,0	8,5	13	1,4661	1,4661	0,00000	0,00000	0,00	0,00
8,5	9,0	11	1,4618	1,4618	0,00000	0,00000	0,00	0,00

Asentamientos en P5, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
9,0	9,5	14	1,4578	1,4578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
9,5	10,0	16	1,4540	1,4540	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,0	10,5	10	1,4504	1,4504	0,00000	0,00000	0,00	0,00
10,5	11,0	6	1,4470	1,4470	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,0	11,5	10	1,4437	1,4437	0,00000	0,00000	0,00	0,00
11,5	12,0	24	1,4406	1,4406	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,0	12,5	14	1,4375	1,4375	0,00000	0,00000	0,00	0,00
12,5	13,0	22	1,4339	1,4339	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,0	13,5	19	1,4299	1,4299	0,00000	0,00000	0,00	0,00
13,5	14,0	20	1,4260	1,4260	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,0	14,5	85	1,4223	1,4223	0,00000	0,00000	0,00	0,00
14,5	15,0	42	1,4187	1,4187	0,00000	0,00000	0,00	0,00
15,0	15,5	98	1,4172	1,4152	0,00197	0,00082	0,04	0,00
15,5	16,0	-	1,4157	1,4118	0,00386	0,00160	0,08	0,01
16,0	16,5	37	1,4142	1,4086	0,00566	0,00234	0,12	0,03
16,5	17,0	52	1,4128	1,4054	0,00738	0,00306	0,15	0,03
17,0	17,5	-	1,4114	1,4023	0,00904	0,00375	0,19	0,04
17,5	18,0	-	1,4100	1,3993	0,01062	0,00441	0,22	0,04
18,0	18,5	-	1,4086	1,3964	0,01214	0,00504	0,25	0,05
18,5	19,0	-	1,4072	1,3936	0,01360	0,00565	0,28	0,06
19,0	19,5	-	1,4059	1,3908	0,01500	0,00624	0,31	0,06
19,5	20,0	60	1,4045	1,3882	0,01636	0,00680	0,34	0,06
20,0	20,5	59	1,4032	1,3870	0,01617	0,00673	0,34	0,06
20,5	21,0	56	1,4019	1,3859	0,01598	0,00666	0,33	0,07
21,0	21,5	59	1,4006	1,3848	0,01581	0,00658	0,33	0,06
21,5	22,0	43	1,3993	1,3837	0,01563	0,00651	0,33	0,08
22,0	22,5	41	1,3981	1,3826	0,01546	0,00645	0,32	0,09
22,5	23,0	38	1,3968	1,3816	0,01529	0,00638	0,32	0,09
23,0	23,5	42	1,3956	1,3805	0,01513	0,00632	0,32	0,08
23,5	24,0	25	1,3944	1,3794	0,01497	0,00625	0,31	0,14
24,0	24,5	25	1,3932	1,3784	0,01481	0,00619	0,31	0,14
24,5	25,0	29	1,3920	1,3774	0,01466	0,00613	0,31	0,12
25,0	25,5	52	1,3908	1,3763	0,01451	0,00607	0,30	0,06
25,5	26,0	67	1,3897	1,3753	0,01436	0,00601	0,30	0,05
26,0	26,5	77	1,3885	1,3743	0,01422	0,00595	0,30	0,04
26,5	27,0	87	1,3874	1,3733	0,01407	0,00589	0,29	0,04
27,0	27,5	44	1,3863	1,3723	0,01393	0,00584	0,29	0,07
27,5	28,0	92	1,3852	1,3714	0,01380	0,00579	0,29	0,03
28,0	28,5	99	1,3841	1,3704	0,01367	0,00573	0,29	0,03
28,5	29,0	18	1,3830	1,3695	0,01353	0,00568	0,28	0,17
29,0	29,5	78	1,3819	1,3685	0,01341	0,00563	0,28	0,04
29,5	30,0	85	1,3808	1,3676	0,01328	0,00558	0,28	0,04
30,0	30,5	62	1,3798	1,3666	0,01316	0,00553	0,28	0,05
30,5	31,0	48	1,3787	1,3657	0,01303	0,00548	0,27	0,06
31,0	31,5	40	1,3777	1,3648	0,01292	0,00543	0,27	0,07
31,5	32,0	84	1,3767	1,3639	0,01280	0,00539	0,27	0,04
32,0	32,5	25	1,3757	1,3630	0,01268	0,00534	0,27	0,12
32,5	33,0	-	1,3747	1,3610	0,01363	0,00574	0,29	0,05
33,0	33,5	-	1,3737	1,3589	0,01480	0,00623	0,31	0,06
33,5	34,0	-	1,3727	1,3567	0,01595	0,00672	0,34	0,06
34,0	34,5	-	1,3717	1,3546	0,01710	0,00721	0,36	0,06
34,5	35,0	99	1,3707	1,3525	0,01823	0,00769	0,38	0,04
35,0	35,5	80	1,3698	1,3504	0,01936	0,00817	0,41	0,06
Σ							11,55	2,57

C.5 Asentamientos en P7 (Hogar de ancianos) NF=7,5 m

Este punto se analizó utilizando las curvas del Punto de Muestreo 5, del Punto de Muestreo 6 y la curva promedio.

Relación de vacíos y esfuerzos efectivos del Punto de Muestreo 5

e	σ_v (kPa)
1,4703	15,5936
1,4535	31,1873
1,4215	62,3746
1,3746	124,7491
1,3100	249,4983
1,2222	498,9965
1,1162	997,9931

C.5.1 Asentamientos en P7 utilizando el Punto de Muestreo 5

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	-	1,4750	1,4750	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	4	1,4680	1,4680	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	3	1,4582	1,4582	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	3	1,4491	1,4491	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	6	1,4388	1,4388	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	-	1,4303	1,4303	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	-	1,4232	1,4232	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	3	1,4150	1,4150	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	-	1,4070	1,4070	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	-	1,3999	1,3999	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	-	1,3934	1,3934	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	-	1,3876	1,3876	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	3	1,3822	1,3822	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	3	1,3772	1,3772	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	5	1,3717	1,3717	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	8	1,3691	1,3657	0,00339	0,00143	0,07	0,04
8,0	8,5	12	1,3665	1,3600	0,00649	0,00274	0,14	0,05
8,5	9,0	10	1,3640	1,3547	0,00933	0,00395	0,20	0,08
9,0	9,5	16	1,3616	1,3496	0,01195	0,00506	0,25	0,06
9,5	10,0	10	1,3592	1,3449	0,01437	0,00609	0,30	0,12
10,0	10,5	36	1,3569	1,3403	0,01661	0,00705	0,35	0,04
10,5	11,0	21	1,3547	1,3360	0,01870	0,00794	0,40	0,08
11,0	11,5	11	1,3525	1,3318	0,02065	0,00878	0,44	0,16
11,5	12,0	9	1,3504	1,3279	0,02248	0,00956	0,48	0,21
12,0	12,5	10	1,3483	1,3241	0,02419	0,01030	0,52	0,21

Asentamientos en P7, Punto de Muestreo 5 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
13,0	13,5	19	1,3442	1,3169	0,02731	0,01165	0,58	0,12
13,5	14,0	39	1,3422	1,3135	0,02874	0,01227	0,61	0,06
14,0	14,5	20	1,3403	1,3102	0,03008	0,01285	0,64	0,13
14,5	15,0	20	1,3384	1,3060	0,03242	0,01386	0,69	0,14
15,0	15,5	28	1,3366	1,3019	0,03473	0,01486	0,74	0,11
15,5	16,0	28	1,3348	1,2978	0,03695	0,01583	0,79	0,11
16,0	16,5	36	1,3330	1,2939	0,03907	0,01675	0,84	0,09
16,5	17,0	36	1,3313	1,2901	0,04112	0,01764	0,88	0,10
17,0	17,5	39	1,3296	1,2865	0,04308	0,01849	0,92	0,09
17,5	18,0	16	1,3279	1,2829	0,04497	0,01932	0,97	0,24
18,0	18,5	26	1,3262	1,2794	0,04680	0,02012	1,01	0,15
18,5	19,0	60	1,3246	1,2760	0,04856	0,02089	1,04	0,07
19,0	19,5	50	1,3230	1,2728	0,05026	0,02163	1,08	0,09
19,5	20,0	60	1,3214	1,2695	0,05190	0,02236	1,12	0,07
20,0	20,5	36	1,3199	1,2682	0,05171	0,02229	1,11	0,12
20,5	21,0	26	1,3184	1,2669	0,05153	0,02223	1,11	0,17
21,0	21,5	50	1,3169	1,2655	0,05136	0,02217	1,11	0,09
21,5	22,0	69	1,3154	1,2642	0,05120	0,02211	1,11	0,06
22,0	22,5	-	1,3140	1,2629	0,05106	0,02206	1,10	0,10
22,5	23,0	-	1,3126	1,2616	0,05091	0,02202	1,10	0,10
23,0	23,5	-	1,3112	1,2604	0,05078	0,02197	1,10	0,10
23,5	24,0	-	1,3097	1,2591	0,05057	0,02190	1,09	0,10
24,0	24,5	-	1,3078	1,2579	0,04997	0,02165	1,08	0,09
24,5	25,0	-	1,3060	1,2566	0,04937	0,02141	1,07	0,09
25,0	25,5	-	1,3042	1,2554	0,04880	0,02118	1,06	0,09
25,5	26,0	-	1,3024	1,2542	0,04823	0,02095	1,05	0,09
26,0	26,5	-	1,3007	1,2530	0,04768	0,02073	1,04	0,09
26,5	27,0	-	1,2990	1,2518	0,04714	0,02051	1,03	0,09
27,0	27,5	-	1,2973	1,2507	0,04662	0,02029	1,01	0,09
27,5	28,0	-	1,2956	1,2495	0,04610	0,02008	1,00	0,09
28,0	28,5	-	1,2939	1,2483	0,04560	0,01988	0,99	0,09
28,5	29,0	-	1,2923	1,2472	0,04511	0,01968	0,98	0,09
29,0	29,5	23	1,2907	1,2461	0,04463	0,01948	0,97	0,17
29,5	30,0	55	1,2891	1,2449	0,04416	0,01929	0,96	0,07
30,0	30,5	75	1,2875	1,2438	0,04370	0,01910	0,96	0,05
Σ							37,67	4,82

C.5.2 Asentamientos en P7 utilizando el Punto de Muestreo 6

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	-	1,7352	1,7352	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	4	1,7309	1,7309	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	3	1,7253	1,7253	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	3	1,7200	1,7200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	6	1,7133	1,7133	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	-	1,7078	1,7078	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	-	1,7031	1,7031	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	3	1,6982	1,6982	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	-	1,6933	1,6933	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	-	1,6889	1,6889	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	-	1,6850	1,6850	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	-	1,6814	1,6814	0,00000	0,00000	0,00	0,00

Asentamientos en P7, Punto de Muestreo 6 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
6,0	6,5	3	1,6781	1,6781	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	3	1,6750	1,6750	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	5	1,6719	1,6719	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	8	1,6704	1,6684	0,00197	0,00074	0,04	0,02
8,0	8,5	12	1,6689	1,6652	0,00377	0,00141	0,07	0,02
8,5	9,0	10	1,6675	1,6621	0,00543	0,00203	0,10	0,04
9,0	9,5	16	1,6661	1,6591	0,00695	0,00261	0,13	0,03
9,5	10,0	10	1,6647	1,6563	0,00836	0,00314	0,16	0,06
10,0	10,5	36	1,6634	1,6537	0,00967	0,00363	0,18	0,02
10,5	11,0	21	1,6621	1,6512	0,01088	0,00409	0,20	0,04
11,0	11,5	11	1,6608	1,6488	0,01202	0,00452	0,23	0,08
11,5	12,0	9	1,6595	1,6465	0,01308	0,00492	0,25	0,11
12,0	12,5	10	1,6583	1,6442	0,01407	0,00529	0,26	0,11
12,5	13,0	12	1,6571	1,6421	0,01501	0,00565	0,28	0,09
13,0	13,5	19	1,6560	1,6401	0,01589	0,00598	0,30	0,06
13,5	14,0	39	1,6548	1,6381	0,01672	0,00630	0,31	0,03
14,0	14,5	20	1,6537	1,6362	0,01750	0,00660	0,33	0,07
14,5	15,0	20	1,6526	1,6337	0,01889	0,00712	0,36	0,07
15,0	15,5	28	1,6515	1,6307	0,02085	0,00786	0,39	0,06
15,5	16,0	28	1,6505	1,6277	0,02274	0,00858	0,43	0,06
16,0	16,5	36	1,6494	1,6249	0,02456	0,00927	0,46	0,05
16,5	17,0	36	1,6484	1,6221	0,02631	0,00993	0,50	0,06
17,0	17,5	39	1,6474	1,6194	0,02800	0,01058	0,53	0,05
17,5	18,0	16	1,6465	1,6168	0,02963	0,01120	0,56	0,14
18,0	18,5	26	1,6455	1,6143	0,03121	0,01180	0,59	0,09
18,5	19,0	60	1,6446	1,6118	0,03274	0,01238	0,62	0,04
19,0	19,5	50	1,6436	1,6094	0,03422	0,01294	0,65	0,05
19,5	20,0	60	1,6427	1,6071	0,03565	0,01349	0,67	0,04
20,0	20,5	36	1,6418	1,6061	0,03574	0,01353	0,68	0,08
20,5	21,0	26	1,6409	1,6051	0,03584	0,01357	0,68	0,10
21,0	21,5	50	1,6401	1,6041	0,03594	0,01361	0,68	0,05
21,5	22,0	69	1,6392	1,6032	0,03604	0,01366	0,68	0,04
22,0	22,5	-	1,6384	1,6022	0,03615	0,01370	0,69	0,06
22,5	23,0	-	1,6375	1,6013	0,03626	0,01375	0,69	0,06
23,0	23,5	-	1,6367	1,6004	0,03637	0,01379	0,69	0,06
23,5	24,0	-	1,6359	1,5994	0,03648	0,01384	0,69	0,06
24,0	24,5	-	1,6350	1,5985	0,03651	0,01386	0,69	0,06
24,5	25,0	-	1,6337	1,5976	0,03608	0,01370	0,68	0,06
25,0	25,5	-	1,6324	1,5967	0,03566	0,01355	0,68	0,06
25,5	26,0	-	1,6311	1,5959	0,03525	0,01340	0,67	0,06
26,0	26,5	-	1,6298	1,5950	0,03485	0,01325	0,66	0,06
26,5	27,0	-	1,6286	1,5941	0,03445	0,01311	0,66	0,06
27,0	27,5	-	1,6273	1,5933	0,03407	0,01297	0,65	0,06
27,5	28,0	-	1,6261	1,5924	0,03369	0,01283	0,64	0,06
28,0	28,5	-	1,6249	1,5916	0,03332	0,01270	0,63	0,06
28,5	29,0	-	1,6237	1,5907	0,03296	0,01256	0,63	0,05
29,0	29,5	23	1,6225	1,5899	0,03261	0,01244	0,62	0,11
29,5	30,0	55	1,6213	1,5891	0,03227	0,01231	0,62	0,04
30,0	30,5	75	1,6202	1,5883	0,03193	0,01219	0,61	0,03
Σ							22,52	2,78

C.5.3 Asentamientos en P7 utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	-	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	4	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	3	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	3	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	6	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	-	1,5274	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	-	1,5200	1,5200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	3	1,5128	1,5128	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	-	1,5064	1,5064	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	-	1,5007	1,5007	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	-	1,4955	1,4955	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	-	1,4907	1,4907	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	3	1,4859	1,4859	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	3	1,4804	1,4804	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	5	1,4753	1,4753	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	8	1,4732	1,4706	0,00269	0,00109	0,05	0,03
8,0	8,5	12	1,4712	1,4661	0,00515	0,00208	0,10	0,03
8,5	9,0	10	1,4692	1,4618	0,00741	0,00300	0,15	0,06
9,0	9,5	16	1,4673	1,4578	0,00948	0,00384	0,19	0,05
9,5	10,0	10	1,4654	1,4540	0,01141	0,00463	0,23	0,09
10,0	10,5	36	1,4636	1,4504	0,01319	0,00535	0,27	0,03
10,5	11,0	21	1,4618	1,4470	0,01485	0,00603	0,30	0,06
11,0	11,5	11	1,4601	1,4437	0,01640	0,00667	0,33	0,12
11,5	12,0	9	1,4584	1,4406	0,01785	0,00726	0,36	0,16
12,0	12,5	10	1,4567	1,4375	0,01920	0,00782	0,39	0,16
12,5	13,0	12	1,4551	1,4339	0,02124	0,00865	0,43	0,14
13,0	13,5	19	1,4535	1,4299	0,02365	0,00964	0,48	0,10
13,5	14,0	39	1,4520	1,4260	0,02595	0,01058	0,53	0,05
14,0	14,5	20	1,4504	1,4223	0,02815	0,01149	0,57	0,11
14,5	15,0	20	1,4489	1,4187	0,03025	0,01235	0,62	0,12
15,0	15,5	28	1,4475	1,4152	0,03227	0,01318	0,66	0,09
15,5	16,0	28	1,4460	1,4118	0,03420	0,01398	0,70	0,10
16,0	16,5	36	1,4446	1,4086	0,03605	0,01475	0,74	0,08
16,5	17,0	36	1,4432	1,4054	0,03784	0,01549	0,77	0,09
17,0	17,5	39	1,4419	1,4023	0,03956	0,01620	0,81	0,08
17,5	18,0	16	1,4406	1,3993	0,04121	0,01689	0,84	0,21
18,0	18,5	26	1,4392	1,3964	0,04281	0,01755	0,88	0,13
18,5	19,0	60	1,4380	1,3936	0,04435	0,01819	0,91	0,06
19,0	19,5	50	1,4367	1,3908	0,04584	0,01881	0,94	0,08
19,5	20,0	60	1,4350	1,3882	0,04688	0,01925	0,96	0,06
20,0	20,5	36	1,4333	1,3870	0,04625	0,01901	0,95	0,11
20,5	21,0	26	1,4316	1,3859	0,04565	0,01877	0,94	0,14
21,0	21,5	50	1,4299	1,3848	0,04506	0,01854	0,93	0,07
21,5	22,0	69	1,4282	1,3837	0,04448	0,01832	0,92	0,05
22,0	22,5	-	1,4265	1,3826	0,04392	0,01810	0,91	0,08
22,5	23,0	-	1,4249	1,3816	0,04338	0,01789	0,89	0,08
23,0	23,5	-	1,4233	1,3805	0,04284	0,01768	0,88	0,08
23,5	24,0	-	1,4218	1,3794	0,04232	0,01748	0,87	0,08
24,0	24,5	-	1,4202	1,3784	0,04182	0,01728	0,86	0,08
24,5	25,0	-	1,4187	1,3774	0,04132	0,01708	0,85	0,07
25,0	25,5	-	1,4172	1,3763	0,04084	0,01690	0,84	0,07
25,5	26,0	-	1,4157	1,3753	0,04037	0,01671	0,84	0,07
26,0	26,5	-	1,4142	1,3743	0,03991	0,01653	0,83	0,07

Asentamientos en P7, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}	
De	A								
26,5	27,0	-	1,4128	1,3733	0,03946	0,01635	0,82	0,07	
27,0	27,5	-	1,4114	1,3723	0,03902	0,01618	0,81	0,07	
27,5	28,0	-	1,4100	1,3714	0,03858	0,01601	0,80	0,07	
28,0	28,5	-	1,4086	1,3704	0,03816	0,01585	0,79	0,07	
28,5	29,0	-	1,4072	1,3695	0,03775	0,01568	0,78	0,07	
29,0	29,5	23	1,4059	1,3685	0,03735	0,01552	0,78	0,13	
29,5	30,0	55	1,4045	1,3676	0,03695	0,01537	0,77	0,06	
30,0	30,5	75	1,4032	1,3666	0,03657	0,01522	0,76	0,04	
Σ							31,06	3,95	

C.6 Asentamientos en P8 (Mercado) NF=7,5 m

Para este punto se disponía de 4 perforaciones superficiales: tres de ellas de 10 m de profundidad (T1, T2 y T4) y una de 14 m (T3). Los cálculos se llevaron a cabo con todas ellas, utilizando los valores de N_{SPT} de T3 a partir de los 10 m y los de P1 (la perforación del parque) a partir de los 14 m. Esto porque fue esta la perforación profunda más cercana al sitio.

No se obtuvo una diferencia considerable entre los cuatro resultados, por lo tanto, se muestran únicamente los obtenidos para T3 (ver Anexos). En este caso, la curva de relación de vacíos – esfuerzo utilizada es la del Punto de Muestreo 4. Se realizó también el cálculo, como en todos los casos, con la curva promedio.

C.6.1 Asentamientos en P8 utilizando el Punto de Muestreo 4

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	10	2,0282	2,0282	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	23	2,0234	2,0234	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	13	2,0167	2,0167	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	16	2,0105	2,0105	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	5	2,0014	2,0014	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	7	1,9940	1,9940	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	6	1,9877	1,9877	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	9	1,9794	1,9794	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	12	1,9688	1,9688	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	11	1,9594	1,9594	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	5	1,9509	1,9509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	4	1,9431	1,9431	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	10	1,9359	1,9359	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	25	1,9293	1,9293	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	14	1,9231	1,9231	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	13	1,9196	1,9150	0,00469	0,00161	0,08	0,06
8,0	8,5	17	1,9161	1,9071	0,00897	0,00308	0,15	0,09
8,5	9,0	19	1,9127	1,8998	0,01290	0,00443	0,22	0,12
9,0	9,5	20	1,9093	1,8928	0,01652	0,00568	0,28	0,14
9,5	10,0	27	1,9061	1,8862	0,01987	0,00684	0,34	0,13
10,0	10,5	19	1,9029	1,8799	0,02298	0,00792	0,40	0,21
10,5	11,0	12	1,8998	1,8739	0,02587	0,00892	0,45	0,37
11,0	11,5	22	1,8967	1,8682	0,02857	0,00986	0,49	0,22
11,5	12,0	21	1,8938	1,8627	0,03109	0,01074	0,54	0,26
12,0	12,5	23	1,8909	1,8574	0,03345	0,01157	0,58	0,25
12,5	13,0	17	1,8880	1,8524	0,03568	0,01235	0,62	0,36
13,0	13,5	33	1,8853	1,8475	0,03777	0,01309	0,65	0,20
13,5	14,0	25	1,8826	1,8428	0,03974	0,01379	0,69	0,28
14,0	14,5	9	1,8799	1,8383	0,04161	0,01445	0,72	0,80
14,5	15,0	7	1,8773	1,8339	0,04337	0,01507	0,75	1,08
15,0	15,5	8	1,8747	1,8291	0,04566	0,01588	0,79	0,99
15,5	16,0	5	1,8722	1,8243	0,04795	0,01669	0,83	1,67
16,0	16,5	5	1,8698	1,8196	0,05014	0,01747	0,87	1,75
16,5	17,0	9	1,8674	1,8151	0,05224	0,01822	0,91	1,01
17,0	17,5	6	1,8650	1,8108	0,05425	0,01894	0,95	1,58
17,5	18,0	4	1,8627	1,8065	0,05619	0,01963	0,98	2,45
18,0	18,5	3	1,8604	1,8024	0,05804	0,02029	1,01	3,38
18,5	19,0	5	1,8582	1,7983	0,05983	0,02093	1,05	2,09
19,0	19,5	8	1,8560	1,7944	0,06155	0,02155	1,08	1,35
19,5	20,0	8	1,8538	1,7906	0,06320	0,02215	1,11	1,38
20,0	20,5	10	1,8517	1,7890	0,06268	0,02198	1,10	1,10
20,5	21,0	10	1,8496	1,7874	0,06218	0,02182	1,09	1,09
21,0	21,5	10	1,8475	1,7858	0,06169	0,02167	1,08	1,08
21,5	22,0	10	1,8455	1,7843	0,06122	0,02152	1,08	1,08
22,0	22,5	12	1,8435	1,7827	0,06077	0,02137	1,07	0,89
22,5	23,0	12	1,8415	1,7812	0,06033	0,02123	1,06	0,88
23,0	23,5	11	1,8396	1,7797	0,05990	0,02110	1,05	0,96
23,5	24,0	13	1,8377	1,7782	0,05949	0,02096	1,05	0,81
24,0	24,5	16	1,8358	1,7767	0,05909	0,02084	1,04	0,65
24,5	25,0	16	1,8339	1,7752	0,05870	0,02071	1,04	0,65
25,0	25,5	13	1,8319	1,7738	0,05813	0,02053	1,03	0,79
25,5	26,0	15	1,8298	1,7723	0,05746	0,02031	1,02	0,68
26,0	26,5	21	1,8277	1,7709	0,05680	0,02009	1,00	0,48
26,5	27,0	15	1,8256	1,7695	0,05616	0,01988	0,99	0,66

Asentamientos en P8, Punto de Muestreo 4 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
27,0	27,5	15	1,8236	1,7681	0,05554	0,01967	0,98	0,66
27,5	28,0	26	1,8216	1,7667	0,05492	0,01947	0,97	0,37
28,0	28,5	22	1,8196	1,7653	0,05432	0,01927	0,96	0,44
28,5	29,0	31	1,8177	1,7640	0,05374	0,01907	0,95	0,31
29,0	29,5	35	1,8158	1,7626	0,05317	0,01888	0,94	0,27
29,5	30,0	20	1,8139	1,7613	0,05260	0,01869	0,93	0,47
30,0	30,5	15	1,8120	1,7599	0,05205	0,01851	0,93	0,62
30,5	31,0	16	1,8101	1,7586	0,05152	0,01833	0,92	0,57
31,0	31,5	65	1,8083	1,7573	0,05099	0,01816	0,91	0,14
31,5	32,0	-	1,8065	1,7560	0,05047	0,01798	0,90	0,21
32,0	32,5	-	1,8047	1,7547	0,04997	0,01782	0,89	0,21
32,5	33,0	-	1,8030	1,7535	0,04947	0,01765	0,88	0,21
33,0	33,5	-	1,8012	1,7522	0,04899	0,01749	0,87	0,20
33,5	34,0	-	1,7995	1,7510	0,04851	0,01733	0,87	0,20
34,0	34,5	-	1,7978	1,7497	0,04804	0,01717	0,86	0,20
34,5	35,0	20	1,7961	1,7485	0,04759	0,01702	0,85	0,43
35,0	35,5	36	1,7944	1,7473	0,04714	0,01687	0,84	0,23
35,5	36,0	57	1,7928	1,7461	0,04670	0,01672	0,84	0,15
36,0	36,5	76	1,7911	1,7449	0,04626	0,01658	0,83	0,11
36,5	37,0	43	1,7895	1,7437	0,04584	0,01643	0,82	0,19
37,0	37,5	36	1,7879	1,7425	0,04542	0,01629	0,81	0,23
37,5	38,0	30	1,7863	1,7413	0,04501	0,01615	0,81	0,27
38,0	38,5	24	1,7848	1,7402	0,04461	0,01602	0,80	0,33
Σ							50,83	40,69

C.6.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	σ' _{después} (kPa)	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A								
0,0	0,5	10	1,5649	8,58	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	23	1,5578	17,17	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	13	1,5509	25,75	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	16	1,5417	34,34	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	5	1,5338	42,92	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	7	1,5274	51,50	1,5274	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	6	1,5200	60,09	1,5200	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,5	4,0	9	1,5128	68,67	1,5128	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,0	4,5	12	1,5064	77,25	1,5064	0,00000	0,00000	0,00	0,00
4,5	5,0	11	1,5007	85,84	1,5007	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,0	5,5	5	1,4955	94,42	1,4955	0,00000	0,00000	0,00	0,00
5,5	6,0	4	1,4907	103,01	1,4907	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,0	6,5	10	1,4859	111,59	1,4859	0,00000	0,00000	0,00	0,00
6,5	7,0	25	1,4804	120,17	1,4804	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,0	7,5	14	1,4753	128,76	1,4753	0,00000	0,00000	0,00	0,00
7,5	8,0	13	1,4732	137,34	1,4706	0,00269	0,00109	0,05	0,04
8,0	8,5	17	1,4712	145,92	1,4661	0,00515	0,00208	0,10	0,06
8,5	9,0	19	1,4692	154,51	1,4618	0,00741	0,00300	0,15	0,08
9,0	9,5	20	1,4673	163,09	1,4578	0,00948	0,00384	0,19	0,10
9,5	10,0	27	1,4654	171,68	1,4540	0,01141	0,00463	0,23	0,09
10,0	10,5	19	1,4636	180,26	1,4504	0,01319	0,00535	0,27	0,14

Asentamientos en P8, Curva promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	σ' _{después} (kPa)	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A								
10,5	11,0	12	1,4618	188,84	1,4470	0,01485	0,00603	0,30	0,25
11,0	11,5	22	1,4601	197,43	1,4437	0,01640	0,00667	0,33	0,15
11,5	12,0	21	1,4584	206,01	1,4406	0,01785	0,00726	0,36	0,17
12,0	12,5	23	1,4567	214,59	1,4375	0,01920	0,00782	0,39	0,17
12,5	13,0	17	1,4551	223,18	1,4339	0,02124	0,00865	0,43	0,25
13,0	13,5	33	1,4535	231,76	1,4299	0,02365	0,00964	0,48	0,15
13,5	14,0	25	1,4520	240,35	1,4260	0,02595	0,01058	0,53	0,21
14,0	14,5	9	1,4504	248,93	1,4223	0,02815	0,01149	0,57	0,64
14,5	15,0	7	1,4489	257,51	1,4187	0,03025	0,01235	0,62	0,88
15,0	15,5	8	1,4475	266,10	1,4152	0,03227	0,01318	0,66	0,82
15,5	16,0	5	1,4460	274,68	1,4118	0,03420	0,01398	0,70	1,40
16,0	16,5	5	1,4446	283,26	1,4086	0,03605	0,01475	0,74	1,47
16,5	17,0	9	1,4432	291,85	1,4054	0,03784	0,01549	0,77	0,86
17,0	17,5	6	1,4419	300,43	1,4023	0,03956	0,01620	0,81	1,35
17,5	18,0	4	1,4406	309,02	1,3993	0,04121	0,01689	0,84	2,11
18,0	18,5	3	1,4392	317,60	1,3964	0,04281	0,01755	0,88	2,92
18,5	19,0	5	1,4380	326,18	1,3936	0,04435	0,01819	0,91	1,82
19,0	19,5	8	1,4367	334,77	1,3908	0,04584	0,01881	0,94	1,18
19,5	20,0	8	1,4350	343,35	1,3882	0,04688	0,01925	0,96	1,20
20,0	20,5	10	1,4333	347,03	1,3870	0,04625	0,01901	0,95	0,95
20,5	21,0	10	1,4316	350,71	1,3859	0,04565	0,01877	0,94	0,94
21,0	21,5	10	1,4299	354,39	1,3848	0,04506	0,01854	0,93	0,93
21,5	22,0	10	1,4282	358,07	1,3837	0,04448	0,01832	0,92	0,92
22,0	22,5	12	1,4265	361,74	1,3826	0,04392	0,01810	0,91	0,75
22,5	23,0	12	1,4249	365,42	1,3816	0,04338	0,01789	0,89	0,75
23,0	23,5	11	1,4233	369,10	1,3805	0,04284	0,01768	0,88	0,80
23,5	24,0	13	1,4218	372,78	1,3794	0,04232	0,01748	0,87	0,67
24,0	24,5	16	1,4202	376,46	1,3784	0,04182	0,01728	0,86	0,54
24,5	25,0	16	1,4187	380,14	1,3774	0,04132	0,01708	0,85	0,53
25,0	25,5	13	1,4172	383,82	1,3763	0,04084	0,01690	0,84	0,65
25,5	26,0	15	1,4157	387,50	1,3753	0,04037	0,01671	0,84	0,56
26,0	26,5	21	1,4142	391,17	1,3743	0,03991	0,01653	0,83	0,39
26,5	27,0	15	1,4128	394,85	1,3733	0,03946	0,01635	0,82	0,55
27,0	27,5	15	1,4114	398,53	1,3723	0,03902	0,01618	0,81	0,54
27,5	28,0	26	1,4100	402,21	1,3714	0,03858	0,01601	0,80	0,31
28,0	28,5	22	1,4086	405,89	1,3704	0,03816	0,01585	0,79	0,36
28,5	29,0	31	1,4072	409,57	1,3695	0,03775	0,01568	0,78	0,25
29,0	29,5	35	1,4059	413,25	1,3685	0,03735	0,01552	0,78	0,22
29,5	30,0	20	1,4045	416,93	1,3676	0,03695	0,01537	0,77	0,38
30,0	30,5	15	1,4032	420,60	1,3666	0,03657	0,01522	0,76	0,51
30,5	31,0	16	1,4019	424,28	1,3657	0,03619	0,01507	0,75	0,47
31,0	31,5	65	1,4006	427,96	1,3648	0,03582	0,01492	0,75	0,11
31,5	32,0	-	1,3993	431,64	1,3639	0,03546	0,01478	0,74	0,17
32,0	32,5	-	1,3981	435,32	1,3630	0,03510	0,01464	0,73	0,17
32,5	33,0	-	1,3968	439,00	1,3610	0,03582	0,01494	0,75	0,17
33,0	33,5	-	1,3956	442,68	1,3589	0,03675	0,01534	0,77	0,18
33,5	34,0	-	1,3944	446,36	1,3567	0,03768	0,01574	0,79	0,18
34,0	34,5	-	1,3932	450,03	1,3546	0,03860	0,01613	0,81	0,19
34,5	35,0	20	1,3920	453,71	1,3525	0,03952	0,01652	0,83	0,41
35,0	35,5	36	1,3908	457,39	1,3504	0,04044	0,01691	0,85	0,23
35,5	36,0	57	1,3897	461,07	1,3483	0,04135	0,01730	0,87	0,15
36,0	36,5	76	1,3885	464,75	1,3463	0,04226	0,01769	0,88	0,12
36,5	37,0	43	1,3874	468,43	1,3442	0,04317	0,01808	0,90	0,21
37,0	37,5	36	1,3863	472,11	1,3422	0,04407	0,01847	0,92	0,26
37,5	38,0	30	1,3852	475,79	1,3402	0,04497	0,01885	0,94	0,31
38,0	38,5	24	1,3841	479,46	1,3382	0,04586	0,01924	0,96	0,40
Σ								43,33	34,37

C.7 Asentamientos en P9 (Bomberos) NF=3,0 m

En este caso se contó con cuatro sondeos de 10 m cada uno. A partir de esta profundidad se utilizaron los valores de N_{SPT} de P2, que es la perforación profunda más cercana a la estación de bomberos.

La curva de relación de vacíos- esfuerzo utilizada, fue la obtenida en este mismo sitio (Punto de Muestreo 2). No se presentan los resultados con la curva promedio, debido a que, como se explicó anteriormente, ésta es muy similar a la del Punto de Muestreo 2. (Ver Figura 3.26).

Asentamientos en P9, Punto de Muestreo 2

Intervalo (m)		N_{SPT}	e_0	e_f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	$\Delta H_{ajustado}$
De	A							
0,0	0,5	12	1,5426	1,5426	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	6	1,5370	1,5370	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	8	1,5315	1,5315	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	16	1,5237	1,5237	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	11	1,5177	1,5177	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	14	1,5119	1,5119	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	15	1,5090	1,5055	0,00352	0,00140	0,07	0,07
3,5	4,0	17	1,5064	1,5000	0,00638	0,00254	0,13	0,12
4,0	4,5	25	1,5038	1,4951	0,00874	0,00349	0,17	0,11
4,5	5,0	27	1,5015	1,4907	0,01074	0,00429	0,21	0,13
5,0	5,5	26	1,4992	1,4868	0,01244	0,00498	0,25	0,15
5,5	6,0	9	1,4971	1,4822	0,01496	0,00599	0,30	0,53
6,0	6,5	14	1,4951	1,4775	0,01763	0,00706	0,35	0,40
6,5	7,0	17	1,4932	1,4731	0,02004	0,00804	0,40	0,38
7,0	7,5	15	1,4913	1,4691	0,02224	0,00893	0,45	0,48
7,5	8,0	29	1,4896	1,4653	0,02425	0,00974	0,49	0,27
8,0	8,5	27	1,4879	1,4618	0,02611	0,01050	0,52	0,31
8,5	9,0	32	1,4863	1,4584	0,02784	0,01120	0,56	0,28
9,0	9,5	36	1,4843	1,4553	0,02902	0,01168	0,58	0,26
9,5	10,0	42	1,4822	1,4523	0,02990	0,01205	0,60	0,23
10,0	10,5	10	1,4801	1,4494	0,03070	0,01238	0,62	0,99
10,5	11,0	10	1,4781	1,4467	0,03144	0,01269	0,63	1,01
11,0	11,5	3	1,4762	1,4431	0,03309	0,01336	0,67	3,56
11,5	12,0	6	1,4743	1,4383	0,03610	0,01459	0,73	1,95
12,0	12,5	15	1,4725	1,4336	0,03896	0,01576	0,79	0,84
12,5	13,0	-	1,4708	1,4291	0,04170	0,01688	0,84	1,13
13,0	13,5	-	1,4691	1,4248	0,04432	0,01795	0,90	1,20
13,5	14,0	9	1,4675	1,4206	0,04683	0,01898	0,95	1,69
14,0	14,5	14	1,4658	1,4166	0,04924	0,01997	1,00	1,14
14,5	15,0	47	1,4643	1,4127	0,05156	0,02092	1,05	0,36
15,0	15,5	42	1,4628	1,4090	0,05378	0,02184	1,09	0,42
15,5	16,0	19	1,4613	1,4054	0,05593	0,02273	1,14	0,96
16,0	16,5	31	1,4598	1,4018	0,05801	0,02358	1,18	0,61
16,5	17,0	36	1,4584	1,3984	0,06001	0,02441	1,22	0,54
17,0	17,5	20	1,4571	1,3951	0,06195	0,02521	1,26	1,01
17,5	18,0	23	1,4557	1,3919	0,06382	0,02599	1,30	0,90

Asentamientos en P9, Punto de Muestreo 2 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
18,0	18,5	26	1,4544	1,3888	0,06564	0,02674	1,34	0,82
18,5	19,0	-	1,4531	1,3857	0,06741	0,02748	1,37	0,81
19,0	19,5	-	1,4518	1,3827	0,06912	0,02819	1,41	0,84
19,5	20,0	-	1,4506	1,3798	0,07078	0,02888	1,44	0,86
20,0	20,5	-	1,4494	1,3786	0,07079	0,02890	1,45	0,86
20,5	21,0	-	1,4482	1,3774	0,07082	0,02893	1,45	0,86
21,0	21,5	-	1,4471	1,3762	0,07085	0,02895	1,45	0,86
21,5	22,0	-	1,4459	1,3750	0,07089	0,02898	1,45	0,86
22,0	22,5	-	1,4445	1,3739	0,07068	0,02891	1,45	0,86
22,5	23,0	-	1,4424	1,3727	0,06970	0,02854	1,43	0,85
Σ							34,68	30,48

El resultado que se muestra fue el obtenido a partir del sondeo T2. El resto de resultados no se muestra, debido a que todos varían entre un valor de 30 y 32 cm de asentamiento.

C.8 Asentamientos en P10 (Banco de Costa Rica) NF=2,5 m

Esta perforación consta de cuatro sondeos, todos menores a los 12 m de profundidad. La curva de relación de vacíos – esfuerzo que se utilizó para este cálculo fue la del Punto de Muestreo 7, de la Escuela Darío Flores, ubicada a poco más de 100 m del banco.

Los resultados de los cálculos para los cuatro sondeos varían entre los 32 y 34 cm de asentamiento. A continuación se muestra el realizado con el sondeo T2, el más profundo de los cuatro. A partir de los 12 m de profundidad, se utilizaron los valores de N_{SPT} de P1, la perforación del Parque Central (ver Anexos).

También se muestra, más adelante, al cálculo realizado con la curva promedio, el cual dio prácticamente el mismo resultado.

C.8.1 Asentamientos en P10 utilizando el Punto de Muestreo 7

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	3	1,2258	1,2258	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	8	1,2178	1,2178	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	13	1,2083	1,2083	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	14	1,2004	1,2004	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	13	1,1920	1,1920	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	17	1,1889	1,1851	0,00377	0,00172	0,09	0,03
3,0	3,5	17	1,1860	1,1793	0,00672	0,00308	0,15	0,05
3,5	4,0	7	1,1833	1,1730	0,01030	0,00472	0,24	0,17
4,0	4,5	10	1,1809	1,1669	0,01399	0,00642	0,32	0,16
4,5	5,0	40	1,1785	1,1613	0,01719	0,00789	0,39	0,05
5,0	5,5	7	1,1759	1,1563	0,01961	0,00901	0,45	0,32
5,5	6,0	7	1,1730	1,1518	0,02129	0,00980	0,49	0,35
6,0	6,5	6	1,1703	1,1476	0,02275	0,01048	0,52	0,44
6,5	7,0	3	1,1677	1,1437	0,02404	0,01109	0,55	0,92
7,0	7,5	9	1,1652	1,1397	0,02555	0,01180	0,59	0,33
7,5	8,0	13	1,1628	1,1349	0,02797	0,01293	0,65	0,25
8,0	8,5	20	1,1606	1,1304	0,03021	0,01398	0,70	0,17
8,5	9,0	18	1,1584	1,1261	0,03229	0,01496	0,75	0,21
9,0	9,5	18	1,1563	1,1221	0,03422	0,01587	0,79	0,22
9,5	10,0	11	1,1543	1,1183	0,03603	0,01672	0,84	0,38
10,0	10,5	14	1,1524	1,1147	0,03772	0,01752	0,88	0,31
10,5	11,0	6	1,1505	1,1112	0,03931	0,01828	0,91	0,76
11,0	11,5	9	1,1487	1,1079	0,04082	0,01900	0,95	0,53
11,5	12,0	13	1,1470	1,1047	0,04224	0,01967	0,98	0,38
12,0	12,5	5	1,1453	1,1017	0,04359	0,02032	1,02	1,02
12,5	13,0	7	1,1437	1,0988	0,04487	0,02093	1,05	0,75
13,0	13,5	10	1,1421	1,0960	0,04609	0,02152	1,08	0,54
13,5	14,0	8	1,1404	1,0933	0,04710	0,02201	1,10	0,69
14,0	14,5	9	1,1383	1,0907	0,04760	0,02226	1,11	0,62
14,5	15,0	7	1,1362	1,0878	0,04844	0,02268	1,13	0,81
15,0	15,5	8	1,1342	1,0846	0,04963	0,02326	1,16	0,73
15,5	16,0	5	1,1323	1,0815	0,05077	0,02381	1,19	1,19
16,0	16,5	5	1,1304	1,0785	0,05187	0,02435	1,22	1,22
16,5	17,0	9	1,1285	1,0756	0,05292	0,02486	1,24	0,69
17,0	17,5	6	1,1267	1,0728	0,05393	0,02536	1,27	1,06
17,5	18,0	4	1,1250	1,0700	0,05491	0,02584	1,29	1,62
18,0	18,5	3	1,1232	1,0674	0,05585	0,02631	1,32	2,19
18,5	19,0	5	1,1215	1,0648	0,05676	0,02676	1,34	1,34
19,0	19,5	8	1,1199	1,0623	0,05765	0,02719	1,36	0,85
19,5	20,0	8	1,1183	1,0598	0,05850	0,02762	1,38	0,86
20,0	20,5	10	1,1167	1,0588	0,05796	0,02738	1,37	0,68
20,5	21,0	10	1,1152	1,0577	0,05744	0,02716	1,36	0,68
21,0	21,5	10	1,1137	1,0567	0,05694	0,02694	1,35	0,67
21,5	22,0	10	1,1122	1,0557	0,05647	0,02673	1,34	0,67
22,0	22,5	12	1,1107	1,0547	0,05601	0,02653	1,33	0,55
22,5	23,0	12	1,1093	1,0537	0,05557	0,02634	1,32	0,55
23,0	23,5	11	1,1079	1,0528	0,05514	0,02616	1,31	0,59
23,5	24,0	13	1,1065	1,0518	0,05474	0,02598	1,30	0,50
24,0	24,5	16	1,1052	1,0508	0,05434	0,02581	1,29	0,40
24,5	25,0	16	1,1039	1,0499	0,05397	0,02565	1,28	0,40
25,0	25,5	13	1,1026	1,0490	0,05360	0,02549	1,27	0,49
25,5	26,0	15	1,1013	1,0480	0,05325	0,02534	1,27	0,42
26,0	26,5	21	1,1000	1,0471	0,05291	0,02520	1,26	0,30
26,5	27,0	15	1,0988	1,0462	0,05259	0,02506	1,25	0,42

Asentamientos en P10, Punto de Muestreo 7 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
27,0	27,5	15	1,0976	1,0453	0,05228	0,02492	1,25	0,42
27,5	28,0	26	1,0964	1,0444	0,05197	0,02479	1,24	0,24
28,0	28,5	22	1,0952	1,0435	0,05168	0,02467	1,23	0,28
28,5	29,0	31	1,0940	1,0426	0,05140	0,02455	1,23	0,20
29,0	29,5	35	1,0929	1,0418	0,05113	0,02443	1,22	0,17
29,5	30,0	20	1,0918	1,0409	0,05087	0,02432	1,22	0,30
30,0	30,5	15	1,0907	1,0401	0,05062	0,02421	1,21	0,40
30,5	31,0	16	1,0896	1,0392	0,05037	0,02411	1,21	0,38
31,0	31,5	65	1,0882	1,0384	0,04987	0,02388	1,19	0,09
31,5	32,0	-	1,0868	1,0375	0,04931	0,02363	1,18	0,14
32,0	32,5	-	1,0855	1,0367	0,04877	0,02339	1,17	0,14
32,5	33,0	-	1,0841	1,0359	0,04824	0,02315	1,16	0,13
33,0	33,5	-	1,0828	1,0351	0,04772	0,02291	1,15	0,13
33,5	34,0	-	1,0815	1,0343	0,04722	0,02268	1,13	0,13
34,0	34,5	-	1,0802	1,0335	0,04672	0,02246	1,12	0,13
34,5	35,0	20	1,0789	1,0327	0,04624	0,02224	1,11	0,28
35,0	35,5	36	1,0777	1,0319	0,04576	0,02203	1,10	0,15
35,5	36,0	57	1,0764	1,0311	0,04530	0,02181	1,09	0,10
36,0	36,5	76	1,0752	1,0303	0,04484	0,02161	1,08	0,07
36,5	37,0	43	1,0740	1,0296	0,04439	0,02141	1,07	0,12
37,0	37,5	36	1,0728	1,0288	0,04396	0,02121	1,06	0,15
37,5	38,0	30	1,0716	1,0281	0,04353	0,02101	1,05	0,18
38,0	38,5	24	1,0704	1,0273	0,04311	0,02082	1,04	0,22
Σ							74,26	33,85

C.8.2 Asentamientos utilizando la curva promedio de relación de vacíos – esfuerzo

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
0,0	0,5	3	1,5649	1,5649	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	8	1,5578	1,5578	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	13	1,5509	1,5509	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	14	1,5417	1,5417	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	13	1,5338	1,5338	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	17	1,5309	1,5274	0,00355	0,00140	0,07	0,02
3,0	3,5	17	1,5282	1,5200	0,00818	0,00323	0,16	0,05
3,5	4,0	7	1,5257	1,5128	0,01294	0,00512	0,26	0,18
4,0	4,5	10	1,5223	1,5064	0,01593	0,00632	0,32	0,16
4,5	5,0	40	1,5190	1,5007	0,01830	0,00726	0,36	0,05
5,0	5,5	7	1,5158	1,4955	0,02031	0,00807	0,40	0,29
5,5	6,0	7	1,5128	1,4907	0,02205	0,00877	0,44	0,31
6,0	6,5	6	1,5100	1,4859	0,02403	0,00957	0,48	0,40
6,5	7,0	3	1,5073	1,4804	0,02682	0,01070	0,53	0,89
7,0	7,5	9	1,5047	1,4753	0,02935	0,01172	0,59	0,33
7,5	8,0	13	1,5022	1,4706	0,03168	0,01266	0,63	0,24
8,0	8,5	20	1,4999	1,4661	0,03381	0,01353	0,68	0,17
8,5	9,0	18	1,4976	1,4618	0,03579	0,01433	0,72	0,20
9,0	9,5	18	1,4955	1,4578	0,03763	0,01508	0,75	0,21
9,5	10,0	11	1,4934	1,4540	0,03935	0,01578	0,79	0,36
10,0	10,5	14	1,4914	1,4504	0,04096	0,01644	0,82	0,29

Asentamientos en P10, Curva Promedio (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
10,5	11,0	6	1,4895	1,4470	0,04247	0,01706	0,85	0,71
11,0	11,5	9	1,4876	1,4437	0,04386	0,01763	0,88	0,49
11,5	12,0	13	1,4851	1,4406	0,04456	0,01793	0,90	0,34
12,0	12,5	5	1,4827	1,4375	0,04521	0,01821	0,91	0,91
12,5	13,0	7	1,4804	1,4339	0,04657	0,01877	0,94	0,67
13,0	13,5	10	1,4782	1,4299	0,04834	0,01951	0,98	0,49
13,5	14,0	8	1,4760	1,4260	0,05003	0,02021	1,01	0,63
14,0	14,5	9	1,4739	1,4223	0,05165	0,02088	1,04	0,58
14,5	15,0	7	1,4719	1,4187	0,05320	0,02152	1,08	0,77
15,0	15,5	8	1,4699	1,4152	0,05469	0,02214	1,11	0,69
15,5	16,0	5	1,4680	1,4118	0,05612	0,02274	1,14	1,14
16,0	16,5	5	1,4661	1,4086	0,05750	0,02331	1,17	1,17
16,5	17,0	9	1,4642	1,4054	0,05882	0,02387	1,19	0,66
17,0	17,5	6	1,4624	1,4023	0,06010	0,02441	1,22	1,02
17,5	18,0	4	1,4607	1,3993	0,06133	0,02493	1,25	1,56
18,0	18,5	3	1,4590	1,3964	0,06253	0,02543	1,27	2,12
18,5	19,0	5	1,4573	1,3936	0,06368	0,02591	1,30	1,30
19,0	19,5	8	1,4556	1,3908	0,06480	0,02639	1,32	0,82
19,5	20,0	8	1,4540	1,3882	0,06588	0,02685	1,34	0,84
20,0	20,5	10	1,4525	1,3870	0,06544	0,02668	1,33	0,67
20,5	21,0	10	1,4509	1,3859	0,06503	0,02653	1,33	0,66
21,0	21,5	10	1,4494	1,3848	0,06463	0,02638	1,32	0,66
21,5	22,0	10	1,4480	1,3837	0,06425	0,02625	1,31	0,66
22,0	22,5	12	1,4465	1,3826	0,06389	0,02611	1,31	0,54
22,5	23,0	12	1,4451	1,3816	0,06354	0,02599	1,30	0,54
23,0	23,5	11	1,4437	1,3805	0,06321	0,02587	1,29	0,59
23,5	24,0	13	1,4423	1,3794	0,06290	0,02575	1,29	0,50
24,0	24,5	16	1,4410	1,3784	0,06260	0,02564	1,28	0,40
24,5	25,0	16	1,4397	1,3774	0,06231	0,02554	1,28	0,40
25,0	25,5	13	1,4384	1,3763	0,06204	0,02544	1,27	0,49
25,5	26,0	15	1,4371	1,3753	0,06178	0,02535	1,27	0,42
26,0	26,5	21	1,4356	1,3743	0,06130	0,02517	1,26	0,30
26,5	27,0	15	1,4339	1,3733	0,06053	0,02487	1,24	0,41
27,0	27,5	15	1,4321	1,3723	0,05978	0,02458	1,23	0,41
27,5	28,0	26	1,4304	1,3714	0,05905	0,02430	1,21	0,23
28,0	28,5	22	1,4287	1,3704	0,05834	0,02402	1,20	0,27
28,5	29,0	31	1,4271	1,3695	0,05764	0,02375	1,19	0,19
29,0	29,5	35	1,4255	1,3685	0,05696	0,02349	1,17	0,17
29,5	30,0	20	1,4239	1,3676	0,05630	0,02323	1,16	0,29
30,0	30,5	15	1,4223	1,3666	0,05565	0,02297	1,15	0,38
30,5	31,0	16	1,4207	1,3657	0,05502	0,02273	1,14	0,36
31,0	31,5	65	1,4192	1,3648	0,05440	0,02249	1,12	0,09
31,5	32,0	-	1,4177	1,3639	0,05380	0,02225	1,11	0,13
32,0	32,5	-	1,4162	1,3630	0,05321	0,02202	1,10	0,13
32,5	33,0	-	1,4147	1,3610	0,05369	0,02224	1,11	0,13
33,0	33,5	-	1,4133	1,3589	0,05440	0,02254	1,13	0,13
33,5	34,0	-	1,4118	1,3567	0,05511	0,02285	1,14	0,13
34,0	34,5	-	1,4104	1,3546	0,05582	0,02316	1,16	0,13
34,5	35,0	20	1,4090	1,3525	0,05654	0,02347	1,17	0,29
35,0	35,5	36	1,4077	1,3504	0,05725	0,02378	1,19	0,17
35,5	36,0	57	1,4063	1,3483	0,05797	0,02409	1,20	0,11
36,0	36,5	76	1,4050	1,3463	0,05868	0,02440	1,22	0,08
36,5	37,0	43	1,4036	1,3442	0,05940	0,02471	1,24	0,14
37,0	37,5	36	1,4023	1,3422	0,06011	0,02502	1,25	0,17
37,5	38,0	30	1,4010	1,3402	0,06083	0,02534	1,27	0,21
38,0	38,5	24	1,3998	1,3382	0,06155	0,02565	1,28	0,27
Σ							72,83	32,64

C.9 Asentamientos en P12 (Estación de servicios) NF=3,0 m

Se contaba para este punto con cuatro sondeos muy superficiales, ninguno superior a los 5,0 m, por lo que a partir de esta profundidad se utilizaron los valores de N_{SPT} de P2.

La curva de relación de vacíos- esfuerzo utilizada fue la del Punto de Muestreo 2, por lo que no se realizó el cálculo con la curva promedio.

Los resultados que se muestran son los obtenidos a partir de T3 (ver Anexos).

C.9.1 Asentamientos en P12, Punto de Muestreo 2

Intervalo (m)		N_{SPT}	e_0	e_r	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	$\Delta H_{ajustado}$
De	A							
0,0	0,5	-	1,5426	1,5426	0,00000	0,00000	0,00	0,00
0,5	1,0	7	1,5370	1,5370	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,0	1,5	9	1,5315	1,5315	0,00000	0,00000	0,00	0,00
1,5	2,0	9	1,5237	1,5237	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,0	2,5	10	1,5177	1,5177	0,00000	0,00000	0,00	0,00
2,5	3,0	8	1,5119	1,5119	0,00000	0,00000	0,00	0,00
3,0	3,5	8	1,5090	1,5055	0,00352	0,00140	0,07	0,07
3,5	4,0	10	1,5064	1,5000	0,00638	0,00254	0,13	0,10
4,0	4,5	5	1,5038	1,4951	0,00874	0,00349	0,17	0,28
4,5	5,0	13	1,5015	1,4907	0,01074	0,00429	0,21	0,13
5,0	5,5	4	1,4992	1,4868	0,01244	0,00498	0,25	0,50
5,5	6,0	4	1,4971	1,4822	0,01496	0,00599	0,30	0,60
6,0	6,5	2	1,4951	1,4775	0,01763	0,00706	0,35	1,41
6,5	7,0	4	1,4932	1,4731	0,02004	0,00804	0,40	0,80
7,0	7,5	3	1,4913	1,4691	0,02224	0,00893	0,45	1,19
7,5	8,0	5	1,4896	1,4653	0,02425	0,00974	0,49	0,78
8,0	8,5	4	1,4879	1,4618	0,02611	0,01050	0,52	1,05
8,5	9,0	4	1,4863	1,4584	0,02784	0,01120	0,56	1,12
9,0	9,5	5	1,4843	1,4553	0,02902	0,01168	0,58	0,93
9,5	10,0	8	1,4822	1,4523	0,02990	0,01205	0,60	0,60
10,0	10,5	10	1,4801	1,4494	0,03070	0,01238	0,62	0,50
10,5	11,0	10	1,4781	1,4467	0,03144	0,01269	0,63	0,51
11,0	11,5	3	1,4762	1,4431	0,03309	0,01336	0,67	1,78
11,5	12,0	6	1,4743	1,4383	0,03610	0,01459	0,73	0,97
12,0	12,5	15	1,4725	1,4336	0,03896	0,01576	0,79	0,42
12,5	13,0	-	1,4708	1,4291	0,04170	0,01688	0,84	0,56
13,0	13,5	-	1,4691	1,4248	0,04432	0,01795	0,90	0,60
13,5	14,0	9	1,4675	1,4206	0,04683	0,01898	0,95	0,84
14,0	14,5	14	1,4658	1,4166	0,04924	0,01997	1,00	0,57
14,5	15,0	47	1,4643	1,4127	0,05156	0,02092	1,05	0,18
15,0	15,5	42	1,4628	1,4090	0,05378	0,02184	1,09	0,21
15,5	16,0	19	1,4613	1,4054	0,05593	0,02273	1,14	0,48
16,0	16,5	31	1,4598	1,4018	0,05801	0,02358	1,18	0,30
16,5	17,0	36	1,4584	1,3984	0,06001	0,02441	1,22	0,27
17,0	17,5	20	1,4571	1,3951	0,06195	0,02521	1,26	0,50
17,5	18,0	23	1,4557	1,3919	0,06382	0,02599	1,30	0,45
18,0	18,5	26	1,4544	1,3888	0,06564	0,02674	1,34	0,41
18,5	19,0	-	1,4531	1,3857	0,06741	0,02748	1,37	0,41

Asentamientos en P12, Punto de Muestreo 2 (Continuación)

Intervalo (m)		N _{SPT}	e ₀	e _f	Δe	$\frac{\Delta e}{1 + e_0}$	ΔH	ΔH _{ajustado}
De	A							
19,0	19,5	-	1,4518	1,3827	0,06912	0,02819	1,41	0,42
19,5	20,0	-	1,4506	1,3798	0,07078	0,02888	1,44	0,43
20,0	20,5	-	1,4494	1,3786	0,07079	0,02890	1,45	0,43
20,5	21,0	-	1,4482	1,3774	0,07082	0,02893	1,45	0,43
21,0	21,5	-	1,4471	1,3762	0,07085	0,02895	1,45	0,43
21,5	22,0	-	1,4459	1,3750	0,07089	0,02898	1,45	0,43
22,0	22,5	-	1,4445	1,3739	0,07068	0,02891	1,45	0,43
22,5	23,0	-	1,4424	1,3727	0,06970	0,02854	1,43	0,42
Σ							34,68	22,95

Anexos: Resumen de Perforaciones

P1: Parque (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 44 metros
Empresa: MOPT
Localiz.: Parque Central Santiago

Nivel freático: 3,5 m

T1		Parque Central			20 de agosto, 1990	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material
De	A					
0,0	0,5	5				Limo arcilloso de color rojizo (MH) con poca arena fina, (prom 10%), de compresibilidad alta y consistencia variable
0,5	1,0	5	71	36	68	
1,0	1,5	2				
1,5	2,0	2				Intervalo 0-20
2,0	2,5	7				Consistencia varía entre muy blanda y mediana
2,5	3,0	4			59	Intervalo 20-39
3,0	3,5	5	71	46		Consistencia varía de rígida a dura
3,5	4,0	4			62	Intervalo 39-44
4,0	4,5	4				Roca muy alterada
4,5	5,0	4	75	51		
5,0	5,5	5			62	
5,5	6,0	5				
6,0	6,5	6				
6,5	7,0	6			55	
7,0	7,5	16	83	41		
7,5	8,0	10				
8,0	8,5	5			51	
8,5	9,0	4				
9,0	9,5	3	81	42	64	
9,5	10,0	3				
10,0	10,5	4				
10,5	11,0	5			63	
11,0	11,5	6				
11,5	12,0	5	74	42		
12,0	12,5	5			63	
12,5	13,0	7				
13,0	13,5	10			63	
13,5	14,0	8	65	39		
14,0	14,5	9				
14,5	15,0	7			53	
15,0	15,5	8				
15,5	16,0	5				
16,0	16,5	5	82	39		
16,5	17,0	9			54	
17,0	17,5	6				
17,5	18,0	4			48	
18,0	18,5	3				
18,5	19,0	5				
19,0	19,5	8	62	38	62	
19,5	20,0	8				

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

T1		Parque Central			20 de agosto, 1990	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material
De	A					
20,0	20,5	10				Intervalo 0-20
20,5	21,0	10				Consistencia varía entre muy blanda y mediana
21,0	21,5	10				Intervalo 20-39
21,5	22,0	10	61	32		Consistencia varía de rígida a dura
22,0	22,5	12			56	Intervalo 39-44
22,5	23,0	12				Roca muy alterada
23,0	23,5	11			54	
23,5	24,0	13				
24,0	24,5	16	98	50		
24,5	25,0	16			65	
25,0	25,5	13				
25,5	26,0	15				
26,0	26,5	21			55	
26,5	27,0	15	71	38		
27,0	27,5	15				
27,5	28,0	26			37	
28,0	28,5	22	61	40		
28,5	29,0	31			56	
29,0	29,5	35				
29,5	30,0	20				
30,0	30,5	15			45	
30,5	31,0	16	52	39		
31,0	31,5	65			50	
31,5	32,0	-				
32,0	32,5	-				
32,5	33,0	-				
33,0	33,5	-				
33,5	34,0	-				
34,0	34,5	-				
34,5	35,0	20	61	31		
35,0	35,5	36			35	
35,5	36,0	57				
36,0	36,5	76				
36,5	37,0	43				
37,0	37,5	36			62	
37,5	38,0	30				
38,0	38,5	24	51	42		

P2: Liceo (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 38 metros

Nivel freático: 18,5 m

Empresa: MOPT

Localiz.: Liceo

T5		Liceo				17 de octubre, 1990	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	% w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
0,0	0,5	14				Intervalo 0-4 Limo color café (MH), con poca arena de grano fino a grueso Prom (13%) de compresibilidad alta, consistencia variable: de 0 a 1,4 m rígida a muy rígida, de 1,4 a 3,7 m rígida a mediana y de 3,7 a 4,1 rígida.	
0,5	1,0	14	59	37			
1,0	1,5	20			48		
1,5	2,0	15					
2,0	2,5	13	84	59			
2,5	3,0	13			47		
3,0	3,5	8					
3,5	4,0	10				Intervalo 4-7 Arcilla color café (CH), con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (28%) de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 4,1 a 6,9 de rígida a blanda.	
4,0	4,5	13			42		
4,5	5,0	7	86	29			
5,0	5,5	4					
5,5	6,0	4					
6,0	6,5	2					
6,5	7,0	4			44		
7,0	7,5	3	59	36		Intervalo 7-12 Limo color café (MH), con poca arena de grano fino a medio Prom (17%) de compresibilidad alta, consistencia variable 6,9 a 11 m de blanda a rígida, 11 a 11,9 m de blanda a mediana.	
7,5	8,0	5					
8,0	8,5	4					
8,5	9,0	4	50	31			
9,0	9,5	5					
9,5	10,0	8					
10,0	10,5	10			41		
10,5	11,0	10				Intervalo 12-14 Arcilla limosa color café (CH), con trazas de arena fina de grano fino a medio. Prom (5%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable. 11,9 a 12,6 m de rígida a dura, de 12,6 a 13,3 aparece un núcleo de boleas de grava agruesa, con un sedimento areno arcilloso, de 13,3 a 14,2 m mediana a rígida.	
11,0	11,5	3					
11,5	12,0	6					
12,0	12,5	15	52	25	40		
12,5	13,0	-					
13,0	13,5	-					
13,5	14,0	9					
14,0	14,5	14				Intervalo 14-18,5 Limos y limos arcillosos de color café (MH), con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (15%), de compresibilidad alta, consistencia variable: 14,2 a 18,4 m entre muy rígida a dura.	
14,5	15,0	47	61	48			
15,0	15,5	42					
15,5	16,0	19			37		
16,0	16,5	31					
16,5	17,0	36					
17,0	17,5	20			35		
17,5	18,0	23	52	30			
18,0	18,5	26			40		

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

T5		Liceo				17 de octubre, 1990	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
18,5	19,0	-				Intervalo 18,5-23 Se obtuvieron unos limos arcillosos (MH), con núcleos de boleas de grava gruesa con sedimento areno arcilloso color café, de 18,4 a 19,5 m de núcleos de boleas de grava gruesa con sedimentos de 19,5 a 19,7 m limos arcillosos, de 19,7 a 20,7 m limo arcilloso, de 20,7 a 22,6 núcleos de boleas grava gruesa con sedimento, 22,6 a 22,9 m limos arcillosos.	
19,0	19,5	-					
19,5	20,0	-					
20,0	20,5	-					
20,5	21,0	-					
21,0	21,5	-					
21,5	22,0	-					
22,0	22,5	-					
22,5	23,0	-				Intervalo 23-38,5 Se recuperaron núcleos de grava gruesa TM entre 11 y 26 cm	
23,0	38,5	-					

P3: Aserradero (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 52 metros
Empresa: MOPT
Localiz.: Antiguo
 Aserradero

Nivel freático: 3,0 m

T4		Antiguo Aserradero					30 de agosto, 1991			
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material				
De	A									
0,0	0,5	16				Intervalo 0-1 Relleno de grava limoso color café de consistencia rígida.				
0,5	1,0	14								
1,0	1,5	8			65					
1,5	2,0	5	70	45						
2,0	2,5	5								
2,5	3,0	0			70					
3,0	3,5	0								
3,5	4,0	0	50	32	42		Intervalo 1-8,5 Limos y limos arcillosos color café (MH) con algo de arena fina de grano fino a grueso Prom (21%), de compresibilidad alta, consistencia variable: 0,91 a 4,6 m mediana a muy blanda, 4,6 a 7,3 m de blanda a dura, 7,3 a 8,7 m entre rígida y mediana.			
4,0	4,5	2								
4,5	5,0	4	52	30						
5,0	5,5	2			45					
5,5	6,0	2								
6,0	6,5	3								
6,5	7,0	10			51					
7,0	7,5	36	56	37						
7,5	8,0	10								
8,0	8,5	8								
8,5	9,0	9								
9,0	9,5	7	45	27		Intervalo 8,5-17,5 Limos y limos arcillosos color café (MH) con algo de arena fina de grano fino a grueso Prom (30%) de compresibilidad mediana, consistencia variable: 8,7 a 12,3 m mediana a muy rígida, 12,3 a 14,6 m mediana a dura, 14,6 a 17,7 m entre rígida a dura.				
9,5	10,0	12								
10,0	10,5	15								
10,5	11,0	13	41	32	54					
11,0	11,5	25								
11,5	12,0	18								
12,0	12,5	22			28					
12,5	13,0	5								
13,0	13,5	19	41	35						
13,5	14,0	15			45					
14,0	14,5	36								
14,5	15,0	23			42					
15,0	15,5	20								
15,5	16,0	48	38	29						
16,0	16,5	26								
16,5	17,0	57			41					
17,0	17,5	13								
17,5	18,0	66	37	29	46	Intervalo 17,5-20 Núcleos de boleas grava gruesa con sedimento areno limoso color gris.				
18,0	18,5	-								
18,5	19,0	-								
19,0	19,5	-								
19,5	20,0	-								

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

T4		Antiguo Aserradero					30 de agosto, 1991		
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material			
De	A								
20,0	20,5	-				Intervalo 20-23 Limo color café (ML) arena fina de grano fino a grueso Prom (37%), con trazas de gravilla TM 9,5 mm Prom (8%) de compresibilidad mediana, consistencia variable: 20,1 a 22,5 m entre dura y muy rígida.			
20,5	21,0	35	42	31					
21,0	21,5	33							
21,5	22,0	29			46				
22,0	22,5	38							
22,5	23,0	25	45	32					
23,0	23,5	-				Intervalo 23-26,5 Núcleos de boleos grava gruesa con sedimento areno limoso color café.			
23,5	24,0	-							
24,0	24,5	-							
24,5	25,0	-							
25,0	25,5	-							
25,5	26,0	-							
26,0	26,5	-				Intervalo 26,5-27,5 Limo color café (ML) de compresibilidad mediana, consistencia variable: 26,7 a 27,4 m muy rígida a dura.			
26,5	27,0	-							
27,0	27,5	24							
27,5	28,0	66			48	Intervalo 27,5-33 Núcleos de boleos grava gruesa con sedimento areno limoso color café grisáceo.			
28,0	28,5	-							
28,5	29,0	-							
29,0	29,5	-							
29,5	30,0	-							
30,0	30,5	-							
30,5	31,0	-							
31,0	31,5	-							
31,5	32,0	-							
32,0	32,5	-							
32,5	33,0	-							
33,0	33,5	45	48	30		Intervalo 33-35,5 Limo arcilloso color café (ML), con algo de arena fina de grano fino a medio Prom (23%), de compresibilidad y plasticidad mediana, consistencia: 32,9 a 25,2 m dura.			
33,5	34,0	42							
34,0	34,5	43			38				
34,5	35,0	60							
35,0	35,5	90	46	30	33				
35,5	36,0	-				Intervalo 35,5-37 Núcleos de boleos grava gruesa con sedimento areno limoso color café grisáceo.			
36,0	36,5	-							
36,5	37,0	-			32				
37,0	37,5	-				Intervalo 37-37,5 Limo arcilloso color café (ML): Idem			
37,5	38,0	-							
38,0	38,5	-				Intervalo 37,5-40 Núcleos de boleos grava gruesa con sedimento areno limoso color café grisáceo.			
38,5	39,0	-							
39,0	39,5	-							
39,5	40,0	-							
40,0	40,5	-			35				
40,5	41,0	-				Intervalo 40-42 Limo color café (ML) de compresibilidad mediana, consistencia: 39,6 a 41,5 m dura.			
41,0	41,5	-							
41,5	42,0	-			42				
42,0	42,5	-							

T4		Antiguo Aserradero					30 de agosto, 1991
Intervalo (m)		N_{SPT}	LL	LP	%_w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
42,0	42,5	-			39	Intervalo 42-46,5 Núcleos de boleos grava gruesa com sedimento areno limoso color café grisáceo.	
42,5	43,0	-					
43,0	43,5	-					
43,5	44,0	-					
44,0	44,5	-					
44,5	45,0	-					
45,0	45,5	-					
45,5	46,0	-					
46,0	46,5	-					
46,5	47,0	-				Intervalo 46,5-47,5 Limo color café (ML), de compresibilidad mediana, consistencia variable: 46,3 a 47,1 m muy rígida a dura.	
47,0	47,5	-					
47,5	48,0	-			36	Intervalo 47,5-50,5 Núcleos de boleos grava gruesa com sedimento areno limoso color café grisáceo.	
48,0	48,5	-					
48,5	49,0	-					
49,0	49,5	-					
49,5	50,0	-					
50,0	50,5	-					

P4: Polideportivo 1 (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 43 metros
Empresa: MOPT
Localiz.: Polideportivo

Nivel freático: 5,0 m

T5		Polideportivo				13 de febrero, 1991	
Intervalo (m)		N _{SP} τ	L L	LP	% w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
0,0	0,5	5				Intervalo 0-2 Grava arcillosa color café, consistencia media a blanda.	
0,5	1,0	4					
1,0	1,5	5					
1,5	2,0	4					
2,0	2,5	4	60	34		Intervalo 2-4,5 Limo color café (MH) con poca arena fina a grano grueso Prom (19%), con poca grava TM 1,3 cm Prom (13%) de compresibilidad alta, consistencia variable: 1,6 a 4,6 m entre blanda y mediana.	
2,5	3,0	5			42		
3,0	3,5	5					
3,5	4,0	4					
4,0	4,5	4				Intervalo 4,5-8,5 Arcilla limosa color café (CH), con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (17%) con trazas de gravilla TM 9,5 mm Prom (2%) de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 4,6 a 5,9 m mediana a rígida, 5,9 a 8,5 m entre muy blanda a rígida.	
4,5	5,0	5	66	31			
5,0	5,5	7					
5,5	6,0	10			52		
6,0	6,5	1				Intervalo 8,5-12,5 Limo color café y café claro (MH) con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (12%), con trazas de gravilla TM 9,5 mm (1%) de compresibilidad alta, consistencia variable: 8,5 a 9,9 m mediana a blanda, 9,9 a 12,5 m mediana a rígida.	
6,5	7,0	4					
7,0	7,5	9			52		
7,5	8,0	5					
8,0	8,5	9				Intervalo 12,5-15,5 Arcilla limosa color café oscuro (CH) con poca arena fina de grano fino a medio Prom (13%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 12,5 a 13,4 m mediana a rígida, 13,4 a 15,5 mediana a blanda.	
8,5	9,0	5	69	40	50		
9,0	9,5	3					
9,5	10,0	3					
10,0	10,5	4			40	Intervalo 12,5-15,5 Arcilla limosa color café oscuro (CH) con poca arena fina de grano fino a medio Prom (13%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 12,5 a 13,4 m mediana a rígida, 13,4 a 15,5 mediana a blanda.	
10,5	11,0	5	81	43			
11,0	11,5	10					
11,5	12,0	12			60		
12,0	12,5	10				Intervalo 12,5-15,5 Arcilla limosa color café oscuro (CH) con poca arena fina de grano fino a medio Prom (13%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 12,5 a 13,4 m mediana a rígida, 13,4 a 15,5 mediana a blanda.	
12,5	13,0	5	60	29			
13,0	13,5	10					
13,5	14,0	5					
14,0	14,5	5			48		
14,5	15,0	4					
15,0	15,5	3					

		Polideportivo					13 de febrero, 1991
Intervalo (m)		N_{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
15,5	16,0	4	72	53	87		
16,0	16,5	6					
16,5	17,0	6					
17,0	17,5	4			91		
17,5	18,0	3					
18,0	18,5	6					
18,5	19,0	5			84		
19,0	19,5	6	66	33			
19,5	20,0	5			55		
20,0	20,5	10					
20,5	21,0	10	80	40			
21,0	21,5	7					
21,5	22,0	5			42		
22,0	22,5	5					
22,5	23,0	12					
23,0	23,5	40			29		
23,5	24,0	80					
24,0	24,5	-					
24,5	25,0	-					
25,0	25,5	35					
25,5	26,0	43	29	18			
26,0	26,5	21					
26,5	27,0	26					
27,0	27,5	16			30		
27,5	28,0	25					
28,0	28,5	24			32		
28,5	29,0	20					
29,0	29,5	23	60	39			
29,5	30,0	55					
30,0	30,5	41					
30,5	31,0	56			90		
31,0	31,5	57					
31,5	32,0	33	78	32			
32,0	32,5	20			32		
32,5	33,0	32					
33,0	33,5	43					
33,5	34,0	44			31		
34,0	34,5	49	56	28			
34,5	35,0	54					
35,0	35,5	50			34		
35,5	36,0	39					
36,0	36,5	36	60	29			
36,5	37,0	76					
37,0	37,5	61			42		
37,5	43,0						

P5: Polideportivo 2 (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 38 metros
Empresa: MOPT
Localiz.: Polideportivo 250 m Oeste

Nivel freático: 15 m

T6		250 m O. Poli				26 de julio, 1991	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
0,0	0,5	11				Intervalo 0-4 Limo color café (MH) con trazas de arena fina Prom (6%) de compresibilidad alta, consistencia variable: 0 a 4,1 m entre rígida a muy rígida.	
0,5	1,0	16					
1,0	1,5	22			32		
1,5	2,0	26					
2,0	2,5	16					
2,5	3,0	14			45		
3,0	3,5	10					
3,5	4,0	13			48	Intervalo 4-6 Arcilla limosa color café rojizo (CH) con trazas de arena fina de grano fino a medio Prom (4%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: de 4,1 a 5,4 m de rígida a dura.	
4,0	4,5	15					
4,5	5,0	20	95	40			
5,0	5,5	12			52		
5,5	6,0	-					
6,0	6,5	-				Intervalo 6-6,5 Se recuperó un núcleo de boleas TM 16 cm, grano grueso con sedimento areno arcilloso color gris amarillento.	
6,5	7,0	4				Intervalo 6,5-7,5 Arcilla limosa color café rojizo (CH) con trazas de arena fina de grano fino a medio Prom (2%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia de 6,4 a 7,3 m blanda a mediana.	
7,0	7,5	6			42		
7,5	8,0	22				Intervalo 7,5-9 Arena limosa fina color café (SM) de grano de fino a grueso Prom (45%), de compacidad: de 7,5 a 9,3 m densa a medianamente densa.	
8,0	8,5	13					
8,5	9,0	11			43	Intervalo 9-13 Limo color café rojizo (MH) con algo de arena fina de grano fino a grueso Prom (24%), de compresibilidad alta, consistencia variable: 9,3 a 13,0 m entre mediana y rígida.	
9,0	9,5	14					
9,5	10,0	16	47	39			
10,0	10,5	10			56		
10,5	11,0	6	55	49			
11,0	11,5	10					
11,5	12,0	24			53		
12,0	12,5	14			42		
12,5	13,0	22				Intervalo 13-14 Arena limosa fina de color café claro (SM), de grano fino a grueso Prom (42%) con poca grava TM 1,3 cm Prom (17%), de compacidad: 13 a 13,9 m medianamente densa.	
13,0	13,5	19	52	38			
13,5	14,0	20			39		
14,0	14,5	85				Intervalo 14-18,5 Limo color café rojizo (MH), con trazas de arena fina Prom (2%) de compresibilidad alta, consistencia: 13,9 a 18,6 m dura.	
14,5	15,0	42					
15,0	15,5	98			33		
15,5	16,0	-					
16,0	16,5	37					
16,5	17,0	52	56	35	30		
17,0	17,5	-					
17,5	18,0	-					
18,0	18,5	-					

T6		250 m O. Poli					26 de julio, 1991		
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material			
De	A								
18,5	19,0	-				Intervalo 18,5-19,5 Grava arcillosa color café.			
19,0	19,5	-							
19,5	20,0	60			32	Intervalo 19,5-24,5 Limo color café (ML), con trazas de arena fina Prom (3%) de compresibilidad mediana, consistencia variable: 19,5 a 24,5 m entre dura y muy rígida.			
20,0	20,5	59							
20,5	21,0	56	48	32					
21,0	21,5	59			40				
21,5	22,0	43							
22,0	22,5	41							
22,5	23,0	38			43				
23,0	23,5	42							
23,5	24,0	25							
24,0	24,5	25			41				
24,5	25,0	29	55	40		Intervalo 24,5-28,5 Limo color café (MH) con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (14%) de compresibilidad alta, consistencia: 24,5 a 28,5 m dura.			
25,0	25,5	52							
25,5	26,0	67							
26,0	26,5	77							
26,5	27,0	87			33				
27,0	27,5	44							
27,5	28,0	92							
28,0	28,5	99	43	28	30	Intervalo 28,5-31 Limo arcilloso color café (MH) con trazas de arena fina Prom (6%) de compresibilidad y plasticidad mediana, consistencia variable entre 28,5 y 30,9 entre rígida a dura.			
28,5	29,0	18							
29,0	29,5	78							
29,5	30,0	85			40				
30,0	30,5	62	50	38					
30,5	31,0	48			30	Intervalo 31-32,5 Arena limosa gruesa color café (SM) de grano fino a grueso Prom (43%) con algo de grava TM 1,3 cm Prom (21%) compacidad medianamente a muy densa.			
31,0	31,5	40							
31,5	32,0	84							
32,0	32,5	25			24	Intervalo 32,5-34,5 Se recuperaron núcleos de boleas TM 15 cm grava gruesa con sedimentos areno arcillosos color café oscuro.			
32,5	33,0	-							
33,0	33,5	-							
33,5	34,0	-							
34,0	34,5	-				Intervalo 34,5-35,5 Arena limosa gruesa color café (SM) de grano fino a grueso Prom (43%) y grava TM 1,3 cm Prom (38%) compacidad 34,4 a 35,5 muy densa.			
34,5	35,0	99							
35,0	35,5	80				Intervalo 35,5-36,5 Se recuperaron núcleos de boleas TM 12 cm, grava gruesa y sedimentos areno arcillosos de color gris.			
35,5	36,0	-							
36,0	36,5	-				Intervalo 36,5-37 Grava limosa color gris.			
36,5	37,0	-							
37,0	37,5	-				Intervalo 37-38,5 Se recuperaron núcleos de boleas TM 10 cm, grava gruesa, sedimento arenoso limoso color gris.			
37,5	38,0	-							
38,0	38,5	-							

P6: Estadio (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 37 metros
Empresa: MOPT
Localiz.: Estadio

Nivel freático: 33 m

T7		Estadio				30 de agosto, 1991	
Intervalo (m)		N _{SPT}	L L	LP	% w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
0,0	0,5	15				Intervalo 0-5,5 Limo arcilloso color café (MH) con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (19%) con poca gravilla TM 9,5 mm Prom (12%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 0 a 2,7 m rígida a dura, 2,7 a 5,5 muy rígida a rígida.	
0,5	1,0	15	62	31			
1,0	1,5	33					
1,5	2,0	43			46		
2,0	2,5	56	85	39			
2,5	3,0	51					
3,0	3,5	22					
3,5	4,0	22			42		
4,0	4,5	10					
4,5	5,0	11					
5,0	5,5	13			42	Intervalo 5,5-9 Arcilla color café (CH), con trazas de arena fina de grano fino a medio Prom (5%) de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 5,5 a 8,7 m entre muy rígida a mediana.	
5,5	6,0	19	80	30			
6,0	6,5	22					
6,5	7,0	11			42		
7,0	7,5	26					
7,5	8,0	15					
8,0	8,5	13					
8,5	9,0	6	72	38			
9,0	9,5	11			58		
9,5	10,0	9					
10,0	10,5	19				Intervalo 9-14,5 Limo y limos arcillosos color café (MH), con trazas de arena fina a medio Prom (5%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 8,7 a 13,3 m entre mediana a muy rígida, 13,3 a 14,6 m entre dura y rígida.	
10,5	11,0	8			58		
11,0	11,5	16					
11,5	12,0	8					
12,0	12,5	8					
12,5	13,0	9					
13,0	13,5	32					
13,5	14,0	13			52		
14,0	14,5	18					

T7		Estadio				30 de agosto, 1991	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
14,5	15,0	12	42	22	40	Intervalo 14,5-23,5 Limo y limos arcillosos color café (ML), con trazas de arena fina de grano a fino a medio Prom (9%) de compresibilidad y plasticidad mediana, consistencia variable: 14,6 a 23,3 m entre muy rígida a blanda.	
15,0	15,5	12					
15,5	16,0	17					
16,0	16,5	19			29		
16,5	17,0	4					
17,0	17,5	10					
17,5	18,0	16	46	37	53		
18,0	18,5	10					
18,5	19,0	20					
19,0	19,5	3					
19,5	20,0	13					
20,0	20,5	22	49	32			
20,5	21,0	10			65		
21,0	21,5	11					
21,5	22,0	19					
22,0	22,5	10			44		
22,5	23,0	12					
23,0	23,5	5					
23,5	24,0	5	68	31			
24,0	24,5	5					
24,5	25,0	5					
25,0	25,5	9					
25,5	26,0	9			30		
26,0	26,5	10					
26,5	27,0	22					
27,0	27,5	27	89	39	40		
27,5	28,0	96					
28,0	28,5	-					
28,5	29,0	-					
29,0	29,5	-					
29,5	30,0	-					
30,0	30,5	-					
30,5	31,0	-					
31,0	31,5	-					
31,5	32,0	-					
32,0	32,5	-					
32,5	33,0	-					
33,0	33,5	-					
33,5	34,0	-					
34,0	34,5	-					
34,5	35,0	-					
35,0	35,5	-					
35,5	36,0	-					
36,0	36,5	-					
36,5	37,0	-					
						Intervalo 23,5-28 Arcilla color café (CH), con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (16%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 23,3 a 27,7 m entre mediana a dura.	
						Intervalo 28-37 Se recuperaron núcleos de bolos TM 20 cm, grava gruesa con sedimento areno - limoso color café grisáceo.	

P7: Hogar de ancianos (MOPT)

Consiste: 1 sondeo de 37 metros

Nivel freático: 7,5 m

Empresa: MOPT

Localiz.: Hogar Ancianos

T8		Hogar Ancianos				28 de noviembre, 1991	
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	% w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
0,0	0,5	-				Intervalo 0-7 Limo y limos arcillosos color café (MH), con poca arena fina de grano fino a medio Prom (13%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 0 a 6,7 m entre muy blanda a mediana.	
0,5	1,0	4					
1,0	1,5	3					
1,5	2,0	3			45		
2,0	2,5	6	95	40			
2,5	3,0	-					
3,0	3,5	-			55		
3,5	4,0	3	69	49			
4,0	4,5	-					
4,5	5,0	-			80		
5,0	5,5	-					
5,5	6,0	-			60		
6,0	6,5	3					
6,5	7,0	3					
7,0	7,5	5	98	36	92	Intervalo 7-8,5 Arcilla color café (CH), con poca arena fina de grano fino a medio Prom (13%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 6,9 a 8,7 m de mediana a rígida.	
7,5	8,0	8					
8,0	8,5	12					
8,5	9,0	10			55	Intervalo 8,5-18,5 Limo y limos arcillosos color café (MH), con poca arena fina de grano fino a grueso Prom (10%), de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia variable: 8,7 a 18,3 m entre rígida a dura.	
9,0	9,5	16	84	40			
9,5	10,0	10					
10,0	10,5	36			45		
10,5	11,0	21					
11,0	11,5	11	66	33			
11,5	12,0	9					
12,0	12,5	10					
12,5	13,0	12					
13,0	13,5	19			39		
13,5	14,0	39					
14,0	14,5	20					
14,5	15,0	20			46		
15,0	15,5	28	55	44			
15,5	16,0	28					
16,0	16,5	36			36		
16,5	17,0	36					
17,0	17,5	39			49		
17,5	18,0	16					
18,0	18,5	26					

T8		Hogar Ancianos			28 de noviembre, 1991		
Intervalo (m)		N _{SPT}	LL	LP	%w	Clasificación y descripción del material	
De	A						
18,5	19,0	60	40	29		Intervalo 18,5-22 Arena limosa media color café grisáceo (SM), de grano fino a grueso Prom (50%), con poca grava TM 1,9 cm Prom (17%), de compacidad 18,3 a 21,5 m entre medianamente densa a muy densa.	
19,0	19,5	50					
19,5	20,0	60					
20,0	20,5	36					
20,5	21,0	26					
21,0	21,5	50					
21,5	22,0	69					
22,0	22,5	-				Intervalo 22-27,5 Se recuperaron núcleos de boleos TM 11 cm grava gruesa, con sedimentos areno limosos color café.	
22,5	23,0	-					
23,0	23,5	-					
23,5	24,0	-					
24,0	24,5	-					
24,5	25,0	-					
25,0	25,5	-					
25,5	26,0	-					
26,0	26,5	-					
26,5	27,0	-					
27,0	27,5	-					
27,5	28,0	-				Intervalo 27,5-28 Arena limosa color café grisáceo.	
28,0	28,5	-				Intervalo 28-29 Se recuperaron núcleos de grava gruesa.	
28,5	29,0	-				Intervalo 29-30,5 Arcilla limosa color café grisáceo (CH) y arena fina de grano fino a grueso de compresibilidad y plasticidad alta, consistencia de 29 a 30,3 m de muy rígida a dura.	
29,0	29,5	23					
29,5	30,0	55	55	29		Intervalo 30,5-32 Se recuperaron núcleos de grava gruesa con sedimento areno limoso color café grisáceo.	
30,0	30,5	75			35		
30,5	31,0	-				Intervalo 32-32,5 Arena limosa color café grisáceo.	
31,0	31,5	-					
31,5	32,0	-					
32,0	32,5	-				Intervalo 32,5-37 Se recuperaron núcleos de boleos TM 10 cm grava gruesa, cons sedimentos areno limosos color café.	
32,5	33,0	-					
33,0	33,5	-					
33,5	34,0	-					
34,0	34,5	-					
34,5	35,0	-					
35,0	35,5	-					
35,5	36,0	-					
36,0	36,5	-					
36,5	37,0	-					

P8: Mercado (IMNSA)

Consiste: 3 sondeo de 9,5 metros y uno de 14 metros
Empresa: IMNSA
Localiz.: Mercado Municipal **Nivel freático:** 7,5 m

T1	Mercado Municipal		Febrero de 1983
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	26	Intervalo 0-0,5 Limo arcilloso, color varía de café oscuro a café, consistencia muy compacta.
0,5	1,0	16	Intervalo 0,5-3 Limo arcilloso, color varía de café a café claro, plasticidad media, consistencia varía entre medianamente compacta a compacta. LL: 70, IP: 30. (MH).
1,0	1,5	9	
1,5	2,0	12	
2,0	2,5	13	
2,5	3,0	14	
3,0	3,5	20	Intervalo 3-4 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas (predominan las amarillas), plasticidad media, consistencia disminuye de muy compacta a medianamente compacta. LL:67, IP:23. (MH)
3,5	4,0	11	
4,0	4,5	13	Intervalo 4-4,5 Limo arcilloso, color rojizo, plasticidad media, consistencia medianamente compacta.
4,5	5,0	7	Intervalo 4,5-6 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas (principalmente amarillentas), plasticidad media, consistencia blanda.
5,0	5,5	5	
5,5	6,0	4	
6,0	6,5	6	Intervalo 6-6,5 Limo arcilloso, color rojizo, plasticidad media, consistencia blanda.
6,5	7,0	4	Intervalo 6,5-7,5 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia blanda.
7,0	7,5	7	
7,5	8,0	7	Intervalo 7,5-8 Limo arcilloso, color café con vedtas multicolores (predominan las gris oscuro), consistencia blanda.
8,0	8,5	13	Intervalo 8-8,5 Limo color café claro, plasticidad media, consistencia compacta.
8,5	9,0	11	Intervalo 8,5-9 Limo arcilloso, color café con vetas varicoloreadas, principalmente gris, plasticidad media, consistencia medianamente compacta.
9,0	9,5	5	Intervalo 9-9,5 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas, consistencia blanda.

T2		Mercado Municipal	Febrero de 1983
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	16	Intervalo 0-0,5 Limo, color café oscuro con fragmentos de concreto y ladrillo de hasta 1,5 cm, consistencia muy compacta.
0,5	1,0	15	Intervalo 0,5-2,5 Limo, color café, plasticidad media, consistencia varía entre compacta y medianamente compacta.
1,0	1,5	20	
1,5	2,0	8	
2,0	2,5	15	
2,5	3,0	10	Intervalo 2,5-3 Limo arcilloso, color café amarillento, plasticidad media, consistencia medianamente compacta.
3,0	3,5	9	Intervalo 3-6 Limo, color café con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia varía entre blanda y medianamente compacta. LL:61, IP:22. (MH)
3,5	4,0	4	
4,0	4,5	13	
4,5	5,0	5	
5,0	5,5	4	
5,5	6,0	11	
6,0	6,5	18	
6,5	7,0	13	Intervalo 6-10 Limo, color café con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia muy compacta. LL: 72, IP:30. (MH)
7,0	7,5	15	
7,5	8,0	16	
8,0	8,5	25	
8,5	9,0	30	
9,0	9,5	22	
9,5	10,0	19	

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

T3		Mercado Municipal		Febrero de 1983	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	10	Intervalo 0-0,5 Limo, color café oscuro, plasticidad deia, consistencia medianamente compacta.		
0,5	1,0	23	Intervalo 0,5-2 Limo arcilloso, color café, plasticidad media, consistencia compacta.		
1,0	1,5	13			
1,5	2,0	16			
2,0	2,5	5	Intervalo 2-3,5 Limo arcilloso, color café claro, plasticidad media, consistencia blanda.		
2,5	3,0	7			
3,0	3,5	6			
3,5	4,0	9	Intervalo 3,5-4,5 Limo, color café amarillento, plasticidad media, consistencia aumenta de blanda a medianamente compacta.		
4,0	4,5	12			
4,5	5,0	11	Intervalo 4,5-6 Limo, color café con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia disminuye de medianamente compacta o blanda.		
5,0	5,5	5			
5,5	6,0	4			
6,0	6,5	10	Intervalo 6-7 Limo, color café con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia aumenta de medianamente compacta a dura.		
6,5	7,0	25			
7,0	7,5	14			
7,5	8,0	13	Intervalo 7-12 Limo, color café con vetas mullticolores, plasticidad media a baja, conteniendo gran cantidad de bloquecitos de 1,c cm máximo, consistencia aumenta de medianamente compacta a muy compacta.		
8,0	8,5	17			
8,5	9,0	19			
9,0	9,5	20			
9,5	10,0	27			
10,0	10,5	19			
10,5	11,0	12			
11,0	11,5	22	Intervalo 12-14 Similar al anterior, consistencia muy compacta.		
11,5	12,0	21			
12,0	12,5	23			
12,5	13,0	17			
13,0	13,5	33			
13,5	14,0	25			

T4		Mercado Municipal		Febrero de 1983	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	14	Intervalo 0-1,5 Limo, color café, plasticidad media, consistencia disminuye de compacta a blanda.		
0,5	1,0	7			
1,0	1,5	6			
1,5	2,0	6	Intervalo 1,5-2,5 Limo arcilloso, color varía de café a café rojizo con trazas de materia orgánica y algunos fragmentos de ladrillo.		
2,0	2,5	4			
2,5	3,0	14	Intervalo 2,5-3 Limo arcilloso, color varía entre café y café rojizo con algunos fragmentos de concreto.		
3,0	3,5	9	Intervalo 3-6 Limo arcilloso, color rojizo, plasticidad media a alta, consistencia en general blanda. LL=86, IP=45. (MH)		
3,5	4,0	11			
4,0	4,5	7			
4,5	5,0	7			
5,0	5,5	4			
5,5	6,0	4			
6,0	6,5	3	Intervalo 6-8 Limo arcilloso, color rojizo, plasticidad media a alta, consistencia blanda.		
6,5	7,0	6			
7,0	7,5	7			
7,5	8,0	9			
8,0	8,5	9	Intervalo 8-10 Limo arcilloso, color rojizo con gran cantidad de vetas varicoloreadas, plasticidad media. LL=76, IP=32. (MH)		
8,5	9,0	13			
9,0	9,5	7			
9,5	10,0	8			

P9: Bomberos (IMNSA)

Consiste: 4 sondeos de 10 m
Empresa: IMNSA
Localiz.: Estación de Bomberos de Puriscal

T1	INS Puriscal		20 de enero, 1981
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	15	Intervalo 0-1,5 Limo arcilloso, color café claro con vetas café rojizo, crema, negras, marrón, plasticidad media, consistencia muy compacta aumentando con la profundidad. Contiene algunas raíces.
0,5	1,0	24	
1,0	1,5	34	
1,5	2,0	18	Intervalo 1,5-3 Limo arcilloso color café claro con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia muy compacta. (MH)
2,0	2,5	27	
2,5	3,0	19	
3,0	3,5	35	Intervalo 3-3,5 Limo arcilloso, color café, plasticidad media a alta, consistencia dura. (MH)
3,5	4,0	19	Intervalo 3,5-5 Limo arcilloso color café claro con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia aumenta de muy compacta a dura con la profundidad. (MH)
4,0	4,5	29	
4,5	5,0	33	
5,0	5,5	23	Intervalo 5-6 Limo arcilloso, color café, plasticidad media a alta, consistencia aumenta de muy compacta a dura. (MH)
5,5	6,0	38	
6,0	6,5	12	Intervalo 6-10 Limo arcilloso, color café ladrillo con vetas varicoloreadas, plasticidad alta, consistencia aumenta de medianamente compacta a muy compacta. (MH)
6,5	7,0	11	
7,0	7,5	8	
7,5	8,0	10	
8,0	8,5	13	
8,5	9,0	14	
9,0	9,5	12	
9,5	10,0	23	

T2		INS Puriscal	20 de enero, 1981
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	12	Intervalo 0-1 Limo arcilloso, color café claro con algunas raíces, consistencia medianamente compacta.
0,5	1,0	6	
1,0	1,5	8	Intervalo 1-2 Limo arcilloso, color café con vetas varicoloreadas, plasticidad media a alta, consistencia aumenta de medianamente compacta a compacta
1,5	2,0	16	
2,0	2,5	11	Intervalo 2-3,5 Limo arcilloso, color café oscuro, plasticidad media, consistencia compacta. (MH)
2,5	3,0	14	
3,0	3,5	15	
3,5	4,0	17	Intervalo 3,5-5,5 Limo arcilloso, color café ladrillo, plasticidad media a alta, consistencia muy compacta. Con vetas de colores variados. (MH) LL=84, IP=40.
4,0	4,5	25	
4,5	5,0	27	
5,0	5,5	26	Intervalo 5,5-8 Limo arcilloso, color café ladrillo con vetas varicoloreadas y algunos bloquecitos grises fácilmente desmenuzables, plasticidad media, consistencia aumenta de muy compacta a dura. (MH)
5,5	6,0	9	
6,0	6,5	14	
6,5	7,0	17	
7,0	7,5	15	
7,5	8,0	29	
8,0	8,5	27	Intervalo 8-10 Limo arcilloso, color café ladrillo con vetas de colores variados, plasticidad media a alta, consistencia en general muy compacta. (MH)
8,5	9,0	32	
9,0	9,5	36	
9,5	10,0	42	

Asentamientos en Santiago de Puriscal debidos al abatimiento del nivel freático

T3		INS Puriscal	20 de enero, 1981
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	19	Intervalo 0-1 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas y algunas raíces, consistencia disminuye de muy compacta a medianamente compacta.
0,5	1,0	12	
1,0	1,5	7	Intervalo 1-2 Limo arcilloso, color café con vetas de colores variados y trazas de materia orgánica, consistencia de blanda a medianamente compacta. (OL)
1,5	2,0	12	
2,0	2,5	4	Intervalo 2-2,5 Limo arcilloso, color café con vetas varicoloreadas, consistencia blanda. (MH)
2,5	3,0	5	Intervalo 2,5-3,5 Limo arcilloso, color café oscuro conteniendo materia orgánica y raíces, plasticidad media, consistencia blanda. (OL)
3,0	3,5	8	
3,5	4,0	20	Intervalo 3,5-5 Limo arcilloso, color café, plasticidad media, consistencia muy compacta aumentando con la profundidad. (MH)
4,0	4,5	18	
4,5	5,0	27	
5,0	5,5	19	Intervalo 5-7,5 Limo arcilloso, color café ladrillo con pintas crema, plasticidad media, consistencia muy compacta. (MH)
5,5	6,0	26	
6,0	6,5	26	
6,5	7,0	27	
7,0	7,5	22	
7,5	8,0	14	Intervalo 7,5-9,5 Limo arcilloso, color café ladrillo con vetas crema, grises y marrón, plasticidad media, consistencia compacta. (MH)
8,0	8,5	17	
8,5	9,0	14	
9,0	9,5	18	
9,5	10,0	20	Intervalo 9,5-10 Limo arcilloso, color amarillento con vetas varicoloreadas, plasticidad media, consistencia muy compacta.

T4	INS Puriscal		20 de enero, 1981
Intervalo (m)		N_{SPT}	Clasificación y descripción del material
De	A		
0,0	0,5	20	Intervalo 0-0,5 Limo arcilloso, color café claro con vetas varicoloreadas, raíces y bloquecitos esporádicos.
0,5	1,0	13	
1,0	1,5	8	Intervalo 1-1,5 Limo arcilloso, color café, plasticidad media, consistencia blanda. (MH)
1,5	2,0	3	Intervalo 1,5-2,5 Limo arcilloso, color café con trazas de materia orgánica, plasticidad media, consistencia blanda. (MH)
2,0	2,5	4	
2,5	3,0	15	Intervalo 2,5-3 Limo arcilloso, color café oscuro, plasticidad media, consistencia compacta. (MH)
3,0	3,5	28	Intervalo 3-3,5 Limo arcilloso, color café oscuro con apreciable cantidad de materia orgánica. (OL)
3,5	4,0	26	Intervalo 3,5-4 Limo arcilloso, color café oscuro con trazas de materia orgánica. (OL)
4,0	4,5	35	Intervalo 4-5 Limo arcilloso, color café ladrillo, plasticidad media, consistencia dura. (MH)
4,5	5,0	38	
5,0	5,5	35	Intervalo 5-6 Limo arcilloso, color café ladrillo con pintas crema, plasticidad media, consistencia muy compacta. (MH)
5,5	6,0	31	
6,0	6,5	31	Intervalo 6-10
6,5	7,0	7	
7,0	7,5	14	
7,5	8,0	12	
8,0	8,5	16	
8,5	9,0	11	
9,0	9,5	14	
9,5	10,0	18	

P10: Banco de Costa Rica (IMNSA)

Consiste: 4 sondeos de entre 6 y 12 m
Empresa: IMNSA
Localiz.: Banco de Costa Rica
Fecha: Noviembre de 1977
Nivel freático: 2,5 m

T1	BCR	
	Intervalo (m)	
	De	A
		N _{SPT}
0,0	0,5	9
0,5	0,9	9
0,9	1,4	6
1,4	1,8	2
1,8	2,3	2
2,3	2,7	3
2,7	3,2	4
3,2	3,7	6
3,7	4,1	8
4,1	4,6	9
4,6	5,1	8
5,1	5,5	9
5,5	6,0	8
6,0	6,4	12
6,4	6,9	17
6,9	7,3	11
7,3	7,8	11
7,8	8,2	15
8,2	8,7	15
8,7	9,1	13
9,1	9,6	21
9,6	10,1	16

T2	BCR	
	Intervalo (m)	
	De	A
		N _{SPT}
0,0	0,5	3
0,5	0,9	8
0,9	1,4	13
1,4	1,8	14
1,8	2,3	13
2,3	2,7	17
2,7	3,2	17
3,2	3,7	7
3,7	4,1	10
4,1	4,6	40
4,6	5,1	7
5,1	5,5	3
5,5	6,0	7
6,0	6,4	5
6,4	6,9	6
6,9	7,3	3
7,3	7,8	9
7,8	8,2	13
8,2	8,7	20
8,7	9,1	18
9,1	9,6	18
9,6	10,1	11
10,1	10,5	14
10,5	11,0	6
11,0	11,5	9
11,5	11,9	13

T3	BCR		N _{SPT}
	Intervalo (m)		
	De	A	
0,0	0,5	4	
0,5	0,9	14	
0,9	1,4	12	
1,4	1,8	8	
1,8	2,3	9	
2,3	2,7	9	
2,7	3,2	6	
3,2	3,7	4	
3,7	4,1	2	
4,1	4,6	8	
4,6	5,1	11	
5,1	5,5	9	
5,5	6,0	11	
6,0	6,4	8	
6,4	6,9	12	
6,9	7,3	6	
7,3	7,8	9	
7,8	8,2	4	
8,2	8,7	12	
8,7	9,1	15	
9,1	9,6	9	
9,6	10,1	9	
10,1	10,5	15	
10,5	11,0	22	
11,0	11,5	17	

T4	BCR		N _{SPT}
	Intervalo (m)		
	De	A	
0,0	0,5	6	
0,5	0,9	7	
0,9	1,4	20	
1,4	1,8	15	
1,8	2,3	24	
2,3	2,7	23	
2,7	3,2	27	
3,2	3,7	16	
3,7	4,1	13	
4,1	4,6	18	
4,6	5,1	20	
5,1	5,5	22	
5,5	6,0	12	
6,0	6,4	16	
6,4	0,0	24	

P11: Casa de habitación (INGEOTEC)

Consiste: 2 sondeos de 6 m

Empresa: Ingeotec

Localiz.: 125 m E y 25 m N de entrada principal de Estadio de Santiago

T1	Casa de habitación			29 de abril, 1999			
Intervalo (m)		N _{spt}	LL	IP	Y (t/m ³)	c (kg/cm ²)	%w _n
De	A						
0,0	0,5	9	81	32			
0,5	1,0	20			1,76	0,71	55,5
1,0	1,5	31					
1,5	2,0	24			1,79		43,8
2,0	2,5	15					
2,5	3,0	24			1,82	0,84	35,2
3,0	3,5	29					
3,5	4,0	24					63,6
4,0	4,5	32					
4,5	5,0	27					53,5
5,0	5,5	39					
5,5	6,0	41					44,6

Nivel Freático: no se detectó en la perforación
Descripción
0,00-5,50 m
Limos color entre café, café claro y café rojizo. Plasticidad media. Consistencia: Medianamente compacta de 0,00 a 0,50 m Muy compacta de 0,50 a 2,00 m Compacta de 2,00 a 2,50 m Muy compacta de 2,50 a 3,50 m Clasificación S.U.C.S.= MH
5,50-6,00 m
Limo color grisáceo, presenta aspecto arenoso (material tobásico meteorizado). Plasticidad baja. Consistencia rígida.

T2		Casa de habitación			29 de abril, 1999		
Intervalo (m)		N _{spt}	LL	IP	Y (t/m ³)	c (kg/cm ²)	%w _n
De	A						
0,0	0,5	8	73	36			
0,5	1,0	8			1,79	0,32	38,7
1,0	1,5	11					
1,5	2,0	10					45,6
2,0	2,5	19					
2,5	3,0	17			1,82	0,69	46,4
3,0	3,5	16					
3,5	4,0	18					36,5
4,0	4,5	18					
4,5	5,0	19					52,4
5,0	5,5	21					
5,5	6,0	17					37,5

Nivel Freático: no se detectó en la perforación
Descripción
<p>0,00-3,00 m</p> <p>Limos color café y café claro. Plasticidad media. Consistencia: Medianamente compacta de 0,00 a 1,00 m Compacta de 1,00 a 2,00 m Muy compacta de 2,00 a 3,00 m Clasificación S.U.C.S.=MH</p>
<p>3,00-6,00 m</p> <p>Limo color grisáceo, presenta aspecto arenoso (material tobásico meteorizado). Plasticidad baja. Consistencia muy compacta.</p>

P12: Estación Servicio (INSUMA)

Consiste: 4 sondeos de menos de 5 m **Nivel freático:** 2,7 m
Empresa: Insuma
Localiz.: Estación de Servicio San Juan

P-A		Bomba		Diciembre de 1997	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	-	-	-	-
0,5	1,0	11	Arcilla mezclada con cascajo. (MH)	w=51%, LL=66%, IP= 22%	
1,0	1,5	9	Limo arcilloso de color café con vetas rojizas de alta plasticidad y de consistencia media. (MH)	w=50%, LL=85%, IP= 38%	
1,5	2,0	12			
2,0	2,25	13			

P-B		Bomba		Diciembre de 1997	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	-	-	-	-
0,5	1,0	6	Limo arcillosos de color café mezclado con escombros.	-	
1,0	1,5	5	Limo arcilloso de color negruzco con apariencia de suelo orgánico. (OH)	w=68%, LL=72%, IP= 32%	
1,5	2,0	4			
2,0	2,5	4	Limo arcilloso de color café rojizo, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda a media y compresibilidad media. (MH-CH)	w=51%, LL=71%, IP= 34%	
2,5	3,0	1			
3,0	3,5	4			
3,5	4,0	8			

P-C		Bomba		Diciembre de 1997	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	-	-		
0,5	1,0	7	Limo arcilloso de color café grisáceo con vetas oscuras y amarillentas.		
1,0	1,5	9			
1,5	2,0	9			
2,0	2,5	10	Arcilla limosa gris con apariencia de suelo orgánico. (MH)		w=43%, LL=54%, IP= 21%
2,5	3,0	8	Limo arcilloso de color café rojizo con vetas gris y amarillentas de plasticidad y compresibilidad media. La consistencia varía de suave a media.		
3,0	3,5	8			
3,5	4,0	10			
4,0	4,5	5			
4,5	5,0	13			
					w=56%, LL=85%, IP= 31%

P-D		Bomba		Diciembre de 1997	
Intervalo (m)		N _{SPT}	Clasificación y descripción del material		
De	A				
0,0	0,5	5	Limo arcilloso de color café con vetas negras. (MH)		
0,5	1,0	9			
1,0	1,5	11			
1,5	2,0	14			
2,0	2,5	15	Limo arcilloso de color café rojizo con vetas gris y amarillentas, de plasticidad media a alta, compresibilidad baja a media y consistencia media. (MH)		w=43%, LL=74%, IP= 31%
2,5	3,0	15			
3,0	3,5	13			
3,5	4,0	15			