

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase II:  
ampliación de línea base y propuestas de diseño.

Trabajo de graduación presentado por:

Zenia Elizabeth de León Kestler

David Andrés de León Ocampo

Guillermo Javier Hernández Girón

Andrés Méndez Goyzueta

Laura María Mérida Cano

Cesar Daniel Pivaral Vivar

Ana Isabel Ruano Fuentes

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil.

Guatemala  
2018







Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase II:  
ampliación de línea base y propuestas de diseño



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase II:  
ampliación de línea base y propuestas de diseño

Trabajo de graduación presentado por:

Zenia Elizabeth de León Kestler

David Andrés de León Ocampo

Guillermo Javier Hernández Girón

Andrés Méndez Goyzueta

Laura María Mérida Cano

Cesar Daniel Pivaral Vivar

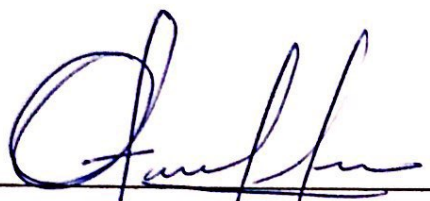
Ana Isabel Ruano Fuentes

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil.

Guatemala  
2018

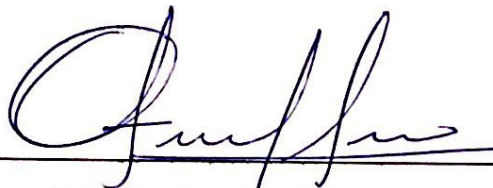


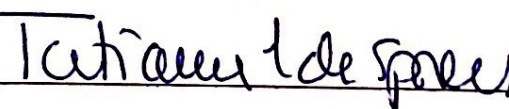
Vo. Bo. :

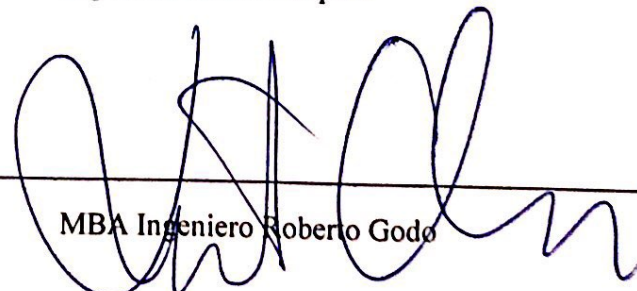
(f)   
Ingeniero Otoniel Echeverría

(f)   
MBA Ingeniero Roberto Godo

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f)   
Ingeniero Otoniel Echeverría

(f)   
Ingeniera Tatiana Lopera

(f)   
MBA Ingeniero Roberto Godo

Fecha de aprobación: Guatemala, noviembre 22 del 2018



## ÍNDICE

LISTA DE CUADROS .....	xix
LISTA DE FIGURAS .....	xix
RESUMEN .....	xxxiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. General .....	3
B. Específicos .....	3
III. MARCO TEÓRICO .....	5
A. Situación actual del agua en Guatemala.....	5
1. Usos del agua. ....	8
B. Monografía Antigua Guatemala.....	8
1. Antecedentes históricos.....	8
2. Localización y ubicación geográfica.....	9
3. Accesos y comunicaciones.....	10
4. Aspectos climatológicos.....	10
5. Servicios.....	10
C. Normas utilizadas.....	11
1. Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-06).....	11
2. Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras (ASCE 7-10).....	11
3. Especificación norteamericana para el diseño de elementos estructurales .....	11
4. Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección .....	12
5. Diseño estructural de edificaciones (NSE 3).....	12
D. Sistemas de información geográfica.....	12
1. SIG. ....	12
2. Mapas SIG.....	12
3. Archivos tipo Shape .....	13
E. Cinturón Verde.....	13

F.	Agua potable .....	18
1.	Calidad de agua .....	18
2.	Fuentes de agua .....	22
3.	Componentes de un sistema de abastecimiento .....	23
4.	Consumo de agua .....	27
5.	Factores de diseño. ....	28
6.	Tanque de distribución .....	32
7.	Dimensionamiento del tanque superficial .....	38
8.	Pérdidas de agua.....	38
9.	Equipamiento de un pozo.....	39
10.	Bombas.....	43
11.	Cloración.....	50
G.	Agua pluvial .....	53
1.	Agua de lluvia .....	53
2.	Sistemas de captación.....	54
3.	Sistemas de conducción. ....	57
4.	Interceptor de primeras aguas.....	58
5.	Filtros. ....	59
6.	Almacenaje pluvial.....	60
7.	Cálculos de captación.....	64
8.	Ventajas y desventajas.....	69
9.	Selección de alternativa.....	70
10.	Coefficiente de esorrentía .....	73
H.	Agua residual.....	73
1.	Tipos de aguas residuales .....	73
2.	Características físicas de agua residual doméstica .....	74
3.	Tipos de tratamiento.....	77
4.	Elementos de plantas de tratamiento.....	79
5.	Parámetros de diseño.....	81
I.	Tubería .....	84
1.	Plástico .....	84

2.	Hierro. ....	85
3.	Acero galvanizado.....	85
4.	Concreto .....	85
5.	Asbesto – cemento .....	86
J.	Válvulas.....	86
1.	Válvula de compuerta.....	86
2.	Válvula de globo .....	86
3.	Válvula de asiento .....	86
4.	Válvula de mariposa.....	87
5.	Válvula de altitud .....	87
6.	Válvula de purga .....	87
7.	Válvula controladora de presión.....	87
8.	Válvula de retención.....	87
K.	Cotas Invert .....	88
L.	Alcantarillado .....	89
1.	Partes de un alcantarillado.....	89
2.	Sistema de alcantarillado.....	90
3.	Factores de diseño .....	90
M.	Diseño de tanque estructural .....	99
1.	Diseño por el método de secciones .....	99
2.	Diseño por el método de PCA.....	100
IV.	METODOLOGÍA .....	115
A.	Agua potable .....	115
1.	Fase preliminar.....	115
2.	Fase de campo .....	116
3.	Fase de análisis.....	118
4.	Fase final .....	131
B.	Agua pluvial.....	131
1.	Fase preliminar .....	131
2.	Fase de análisis.....	132

3.	Fase de diseño .....	133
4.	Fase final .....	136
C.	Sistema de alcantarillado.....	136
1.	Fase preliminar .....	136
2.	Fase de campo. ....	136
3.	Fase de análisis.....	137
4.	Fase final .....	143
D.	Agua residual.....	143
1.	Fase preliminar .....	143
2.	Fase de campo .....	144
3.	Fase de diseño .....	144
4.	Fase final .....	147
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	149
A.	Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable La Antigua Guatemala .....	149
1.	Delimitación de fuentes de agua .....	149
2.	Determinación para ubicación del tanque .....	150
3.	Parámetros preliminares .....	152
4.	Volumen del tanque de agua potable .....	153
5.	Dimensionamiento tanque estructuralmente .....	154
6.	Sistema de cloración.....	155
7.	Líneas de conducción .....	156
8.	Accesorios .....	160
B.	Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia Antigua Guatemala .....	161
1.	Comparación entre los sistemas de captación de agua de lluvia.....	161
2.	Elaboración de matriz de análisis de riesgo .....	162
3.	Propuestas para el reúso del agua de lluvia.....	163
4.	Dimensionamiento .....	164
5.	Costos .....	168
C.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala .....	171
1.	Delimitación del recorrido del sistema de alcantarillado sanitario .....	171

2.	Pendiente a partir de perfiles topográficos .....	172
3.	Asignación de caudales y diámetros de tubería por tramo. ....	173
4.	Chequeo por velocidad y tirante.....	173
5.	Determinación de cotas invert.....	175
D.	Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala.....	177
1.	Características de los pozos.....	177
2.	Características de los tanques.....	180
3.	Características del rebombeo.....	183
4.	Características de los llenacántaros.....	184
5.	Demanda y abastecimiento actual de agua potable .....	194
6.	Calidad del agua .....	197
7.	Diseño de línea de conducción e impulsión .....	198
8.	Diseño de tanque de almacenamiento .....	199
9.	Cloración de tanque de almacenamiento.....	200
E.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala.....	201
1.	Pozos de visita.....	201
2.	Diseño de rejillas.....	202
3.	Desarenador.....	203
4.	Vertedero sutro.....	204
5.	Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	205
6.	Refuerzo para rejillas y desarenador .....	206
F.	Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	207
1.	Proyección de la población.....	208
2.	Parámetros de diseño.....	209
3.	Información general de tanques y pozos .....	210
4.	Líneas de conducción .....	211
5.	Cálculo de volumen del tanque .....	213
6.	Análisis de los sistemas de distribución en Epanet 2.0 vE.....	214

G.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	218
1.	Diseño de rejillas.....	218
2.	Diseñador de reactores .....	218
3.	Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	219
VI.	CONCLUSIONES .....	223
A.	Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable La Antigua Guatemala .....	223
B.	Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia Antigua Guatemala .....	223
C.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala .....	224
D.	Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala.....	225
E.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala.....	225
F.	Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	226
G.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	226
VII.	RECOMENDACIONES .....	229
A.	General .....	229
B.	Específicas de cada tema.....	229
1.	Diseño del nuevo sistema de abastecimiento de agua potable La Antigua Guatemala.....	229
2.	Diseño del sistema captación y reúso de agua en La Antigua Guatemala .....	230
3.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala .....	231
4.	Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala.....	232
5.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala.....	233
6.	Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	234
7.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	235

VIII.	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	237
IX.	ÁPENDICE .....	247
A.	Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable La Antigua Guatemala .....	247
1.	Mapas temáticos .....	247
2.	Valores de matriz.....	256
3.	Líneas de conducción .....	260
B.	Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia Antigua Guatemala .....	263
1.	Mapas temáticos .....	263
2.	Propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el techo cuenca .....	273
3.	Cálculos de precipitación .....	275
4.	Cálculos hidráulicos .....	277
C.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala .....	280
1.	Fichas técnicas.....	280
2.	Cálculos realizados.....	291
D.	Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala.....	300
1.	Mapas temáticos .....	300
2.	Calidad del agua .....	304
3.	Prueba de bombeo de pozo en San Pedro las Huertas.....	308
4.	Cálculos de línea de conducción .....	311
E.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala.....	313
1.	Mapa temático .....	313
2.	Fichas técnicas.....	315
F.	Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	374
1.	Fichas técnicas.....	374
2.	Mapas temáticos .....	378
3.	Plano de distribución.....	384
G.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.....	385

1.	Información inicial .....	385
2.	Fichas técnicas.....	386
3.	Análisis de costos .....	413
4.	Mapas temáticos.....	416
X.	GLOSARIO.....	419

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Disponibilidad hídrica anual nacional y por vertiente.....	5
Cuadro 2. Balance hídrico nacional y por vertiente del 2005. ....	7
Cuadro 3. Consumo aproximado por habitante por día. ....	8
Cuadro 4. Temperatura media en °C de estación: Suiza Contenta. ....	10
Cuadro 5. Parámetros normativos para el área urbano consolidada. ....	16
Cuadro 6. Parámetros normativos para el área urbanizable tipo I. ....	16
Cuadro 7. Parámetros normativos para el área urbanizable tipo 2.....	17
Cuadro 8. Características físicas que debe tener el agua potable.....	19
Cuadro 9. Características químicas que debe tener el agua potable. ....	19
Cuadro 10. Normas para consultar para diferentes estudios. ....	20
Cuadro 11: Límites de las membranas de filtración, grupo coliforme.....	21
Cuadro 12: Límites las membranas de filtración, grupo coliforme ....	22
Cuadro 13. Eficiencia de escurrimiento del material del techo. ....	55
Cuadro 14. Comparación entre tanques de almacenamiento superficial y subterráneo.....	62
Cuadro 15. Dotación de acuerdo con el servicio a proporcionar. ....	66
Cuadro 16. Dotación recomendada por habitante al día ....	66
Cuadro 17. Coeficientes de esorrentía.....	66
Cuadro 18. Velocidad promedio dependiendo de la pendiente longitudinal. ....	68
Cuadro 19. Áreas hidráulicas de acuerdo con la sección de las canaletas. ....	68
Cuadro 20. Contaminantes en aguas residuales domésticas ....	74
Cuadro 21. Compuestos orgánicos de aguas residuales.....	76
Cuadro 22. Valores de Coeficiente "a" ....	83
Cuadro 23. Factor de zona sísmica Z.....	108
Cuadro 24. Coeficiente de perfil de suelos ....	109
Cuadro 25. Factor de importancia.....	109
Cuadro 26. Factor de modificación de respuesta. ....	109
Cuadro 27. Valores de esfuerzo de flexión para cálculo de cuantía de acero.....	113
Cuadro 28. Reclasificación de valores para pendiente.....	119
Cuadro 29. Reclasificación de valores para precipitación ....	119
Cuadro 30. Reclasificación de valores para deslizamiento.....	119

Cuadro 31. Reclasificación de valores para uso de suelo. ....	120
Cuadro 32. Cantidad de cloro a agregar. ....	125
Cuadro 33. Caudales de diseño. ....	140
Cuadro 34. Factores del caudal de diseño. ....	141
Cuadro 35. Caudales de diseño por tramo. ....	141
Cuadro 36. Ubicación de los tanques de almacenamiento La Antigua Guatemala .....	149
Cuadro 37. Ubicación de los pozos de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez. ....	149
Cuadro 38. Resultados capas individuales. ....	150
Cuadro 39. Comparación de los valores obtenidos de los dos métodos utilizados .....	150
Cuadro 40. Proyección de población de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez .....	152
Cuadro 41. Parámetros iniciales para cálculos. ....	152
Cuadro 42. Volumen del tanque de agua potable diseñado. ....	153
Cuadro 43. Análisis estructural del tanque. ....	154
Cuadro 44. Dosificación de hipoclorito de sodio. ....	155
Cuadro 45. Información de los pozos de La Antigua Guatemala y del tanque propuesto. ....	156
Cuadro 46. Resultados de línea de conducción de pozo Candelaria 1 .....	157
Cuadro 47. Resultados de línea de conducción de pozo Candelaria 2 .....	157
Cuadro 48. Resultados de línea de conducción de pozo Chacará. ....	158
Cuadro 49. Resultados de línea de conducción de pozo Parque La Unión. ....	158
Cuadro 50. Resultados de línea de conducción de Santa Rosa. ....	158
Cuadro 51. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Candelaria 1 .....	160
Cuadro 52. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Candelaria 2 .....	160
Cuadro 53. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Chacará. ....	160
Cuadro 54. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Parque la Unión. ....	160
Cuadro 55. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Santa Rosa. ....	160
Cuadro 56. Comparación entre los dos sistemas de captación pluvial. ....	161
Cuadro 57. Descripción de los resultados de los dos métodos. ....	163
Cuadro 58. Volumen de agua requerido para cada propuesta. ....	164
Cuadro 59. Dimensionamiento del área de captación y volumen del tanque. ....	165
Cuadro 60. Dimensiones y refuerzo de acero del tanque de almacenamiento .....	166
Cuadro 61. Dimensiones de canaleta, cajas sumidero y tubería de PVC. ....	167
Cuadro 62. Elementos de la estructura del techo cuenca. ....	168

Cuadro 63. Presupuesto estimado del techo cuenca.....	169
Cuadro 64. Costo por m <sup>3</sup> de agua.....	170
Cuadro 65. Comparación del costo mensual entre el sistema pluvial y el potable. ....	170
Cuadro 66. Simbología de los tramos del sistema de alcantarillado sanitario. ....	171
Cuadro 67. Características de pozo San Pedro El Alto.....	177
Cuadro 68. Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas .....	178
Cuadro 69. Pozo no excavado San Pedro Las Huertas .....	179
Cuadro 70. Coordenadas geográficas de los pozos.....	180
Cuadro 71. Características físicas de los pozos .....	180
Cuadro 72. Características físicas de los pozos .....	180
Cuadro 73. Características físicas de los pozos .....	180
Cuadro 74. Caudales de pozos .....	180
Cuadro 75. Características de tanque San Pedro Las Huertas .....	181
Cuadro 76. Características de tanque San Cristóbal El Bajo .....	182
Cuadro 77. Coordenadas geográficas de los pozos.....	183
Cuadro 78. Características físicas de los tanques de almacenamiento.....	183
Cuadro 79. Continuación de las características físicas de los tanques de almacenamiento....	183
Cuadro 80. Características de rebombeo San Pedro Las Huertas .....	183
Cuadro 81. Características físicas del rebombeo .....	184
Cuadro 82. Coordenadas geográficas del rebombeo.....	184
Cuadro 83. Continuación de las características de rebombeo.....	184
Cuadro 84: Características de llenacántaros 1 .....	184
Cuadro 85: Características de llenacántaro 2 .....	185
Cuadro 86: Características de llenacántaro 3 .....	185
Cuadro 87: Características de llenacántaro 4 .....	186
Cuadro 88: Características de llenacántaro 5 .....	186
Cuadro 89: Características de llenacántaro 6 .....	187
Cuadro 90: Características de llenacántaro 7 .....	187
Cuadro 91: Características de llenacántaro 8 .....	188
Cuadro 92: Características de llenacántaro 9 .....	188
Cuadro 93: Características de llenacántaro 10 .....	189
Cuadro 94: Características de llenacántaro 11 .....	189

Cuadro 95: Características de llenacántaro 12 .....	190
Cuadro 96: Características de llenacántaro 13 .....	190
Cuadro 97: Características de llenacántaro 14 .....	191
Cuadro 98: Coordenadas geográficas de los llenacántaros .....	192
Cuadro 99: Características de los llenacántaro .....	192
Cuadro 100: Proyección de población de San Pedro Las Huertas .....	194
Cuadro 101: Tasas de crecimiento obtenidas del Banco Mundial .....	194
Cuadro 102: Parámetros de diseño para la obtención del caudal de diseño.....	195
Cuadro 103: Caudales de entrada y demanda .....	195
Cuadro 104: Diseño de tanque para caudal de diseño (demanda) .....	196
Cuadro 105: Volumen actual y de demanda .....	196
Cuadro 106. Análisis fisicoquímico de agua potable de San Pedro las Huertas.....	197
Cuadro 107. Análisis bacteriológico de agua potable de San Pedro las Huertas.....	198
Cuadro 108. Línea de conducción de pozo nuevo a tanque de almacenamiento.....	198
Cuadro 109: Accesorios de línea de conducción .....	198
Cuadro 110: Diseño del volumen de agua para el tanque de almacenamiento .....	199
Cuadro 111: Análisis estructural del tanque .....	200
Cuadro 112: Cloración de tanque de almacenamiento.....	200
Cuadro 113. Pozos de visita.....	201
Cuadro 114. Resultado del diseño de rejillas.....	202
Cuadro 115. Resultados del desarenador.....	203
Cuadro 116. Resultados del vertedero sutro.....	204
Cuadro 117. Resultados del reactor anaerobio.....	205
Cuadro 118. Refuerzo necesario para rejillas y desarenador.....	206
Cuadro 119. Cálculo de tasa de crecimiento de Guatemala.....	208
Cuadro 120. Proyección de población de San Juan el Obispo para el año 2042.....	208
Cuadro 121. Parámetros de diseño para sistemas de distribución y abastecimiento .....	209
Cuadro 122. Caudales de diseño para San Juan el Obispo .....	209
Cuadro 123. Información general de tanques cisterna de San Juan el Obispo.....	210
Cuadro 124. Información general de pozos de agua de San Juan el Obispo .....	210
Cuadro 125. Cálculo de diámetro para línea de impulsión .....	211
Cuadro 126. Información general del sistema.....	211

Cuadro 127. Cálculo de la potencia de la bomba del sistema del pozo .....	211
Cuadro 128. Cálculo de diámetro de la tubería de impulsión. ....	212
Cuadro 129. Información del tanque.....	213
Cuadro 130. Concentración de cloro en los tanques de almacenamiento. ....	213
Cuadro 131. Nodos del sistema de distribución parte baja .....	214
Cuadro 132. Nodos del sistema de distribución parte alta .....	214
Cuadro 133. Análisis del sistema de distribución parte alta en Epanet .....	214
Cuadro 134. Análisis de sistema de distribución parte alta en Epanet.....	215
Cuadro 135. Análisis del sistema de distribución parte alta con solución propuesta .....	215
Cuadro 136. Análisis de tuberías del sistema de distribución parte alta solución propuesta. .	215
Cuadro 137. Análisis de sistema de distribución parte baja en Epanet.....	216
Cuadro 138. Análisis de sistema de distribución parte baja en Epanet.....	216
Cuadro 139. Análisis de nodos del sistema de distribución parte baja con tanque elevado ...	217
Cuadro 140. Análisis de tuberías del sistema de distribución parte baja con tanque.....	217
Cuadro 141. Sistema de rejillas.....	218
Cuadro 142. Reactor anaeróbico de flujo ascendente .....	219
Cuadro 143. Precios de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	221
Cuadro 144. Reactor anaeróbico de flujo ascendente .....	221
Cuadro 145. Resultado de los valores obtenidos de la matriz realizada. ....	256
Cuadro 146. Información de los pozos de La Antigua Guatemala. ....	260
Cuadro 147. Información de bombas de los pozos de La Antigua Guatemala. ....	260
Cuadro 148. Cálculos para línea de conducción de pozo Candelaria 2. ....	260
Cuadro 149. Cálculos para línea de conducción de pozo Candelaria 1. ....	261
Cuadro 150. Cálculos para línea de conducción de pozo Chacará .....	261
Cuadro 151. Cálculos para línea de conducción de pozo Parque La Unión .....	262
Cuadro 152. Cálculos para línea de conducción de pozo Santa Rosa.....	262
Cuadro 153. Propuesta para el reúso de agua para limpiar calles en La Antigua Guatemala.	273
Cuadro 154. Propuesta para el reúso de agua para riego de café.....	274
Cuadro 155. Propuesta No. 3, reúso de agua para cubrir un incendio al año .....	274
Cuadro 156. Datos de precipitación de la estación meteorológica Suiza Contenta.....	275
Cuadro 157. Precipitaciones promedio mensual durante los 10 años evaluados. ....	275
Cuadro 158. Cálculo del área de captación y volumen del tanque del almacenamiento .....	275

Cuadro 159. Diseño de la canaleta.....	277
Cuadro 160. Intensidades de lluvia para las estaciones meteorológicas.....	278
Cuadro 161. Diseño de tubería.....	279
Cuadro 162. Ficha técnica para el pozo de visita 21C.....	280
Cuadro 163. Ficha técnica para el pozo de visita 14.....	280
Cuadro 164. Ficha técnica para el pozo de visita 9.....	281
Cuadro 165. Ficha técnica para el pozo de visita 1.....	281
Cuadro 166. Ficha técnica para el pozo de visita 2.....	282
Cuadro 167. Ficha técnica para el pozo de visita 208.....	282
Cuadro 168. Ficha técnica para el pozo de visita 209.....	283
Cuadro 169. Ficha técnica para el pozo de visita 207.....	283
Cuadro 170. Ficha técnica para el pozo de visita 110.....	284
Cuadro 171. Ficha técnica para el pozo de visita 206.....	284
Cuadro 172. Ficha técnica para el pozo de visita 130.....	285
Cuadro 173. Ficha técnica para el pozo de visita 89.....	285
Cuadro 174. Ficha técnica para el pozo de visita 83A.....	286
Cuadro 175. Ficha técnica para el pozo de visita 84.....	286
Cuadro 176. Ficha técnica para el pozo de visita 66.....	287
Cuadro 177. Ficha técnica para el pozo de visita 59.....	287
Cuadro 178. Ficha técnica para el pozo de visita 17.....	288
Cuadro 179. Ficha técnica para el pozo de visita 16.....	288
Cuadro 180. Ficha técnica para el pozo de visita 20.....	289
Cuadro 181. Ficha técnica para el pozo de visita 91.....	289
Cuadro 182. Ficha técnica para el pozo de visita 77.....	290
Cuadro 183. Ficha técnica para el pozo de visita 92.....	290
Cuadro 184. Trayectoria 1er tramo.....	291
Cuadro 185. Chequeo 1er tramo.....	291
Cuadro 186. Trayectoria 2do tramo.....	292
Cuadro 187. Chequeo 2do tramo.....	292
Cuadro 188. Trayectoria 3er tramo.....	293
Cuadro 189. Chequeo 3er tramo.....	293
Cuadro 190. Trayectoria 4to tramo.....	293

Cuadro 191. Chequeo 4to tramo. ....	293
Cuadro 192. Trayectoria 5to tramo. ....	294
Cuadro 193. Chequeo 5to tramo. ....	294
Cuadro 194. Trayectoria 6to tramo. ....	294
Cuadro 195. Chequeo 6to tramo. ....	294
Cuadro 196. Chequeo 7mo tramo. ....	295
Cuadro 197. Trayectoria 7mo tramo. ....	295
Cuadro 198. Trayectoria 8vo tramo. ....	295
Cuadro 199. Chequeo 8vo tramo. ....	295
Cuadro 200. Trayectoria 9no tramo. ....	296
Cuadro 201. Chequeo 9no tramo. ....	296
Cuadro 202. Trayectoria 10mo tramo. ....	296
Cuadro 203. Chequeo 10mo tramo. ....	297
Cuadro 204. Trayectoria 11vo tramo. ....	297
Cuadro 205. Chequeo 11vo tramo. ....	297
Cuadro 206. Trayectoria 12vo tramo. ....	297
Cuadro 207. Chequeo 12vo tramo. ....	298
Cuadro 208. Trayectoria 13vo tramo. ....	298
Cuadro 209. Chequeo 13vo tramo. ....	298
Cuadro 210. Relación de diámetros, caudales, áreas y velocidades. ....	299
Cuadro 211. Velocidades y caudales a sección llena para tuberías de concreto. ....	299
Cuadro 212: Localización de los tramos de conducción. ....	311
Cuadro 213. Predimensionamiento. ....	311
Cuadro 214: Cotas de niveles de pozo y tanque de almacenamiento. ....	311
Cuadro 215: Posibles diámetros a utilizar con sus respectivas pérdidas. ....	311
Cuadro 216. Determinación de equipo de bombeo. ....	312
Cuadro 217: Cálculo del golpe de ariete. ....	312
Cuadro 218. Ficha técnica pozo 1. ....	315
Cuadro 219. Ficha técnica pozo 2. ....	316
Cuadro 220. Ficha técnica pozo 3. ....	317
Cuadro 221. Ficha técnica pozo 4. ....	318
Cuadro 222. Ficha técnica pozo 5. ....	319

Cuadro 223. Ficha técnica pozo 6.....	320
Cuadro 224. Ficha técnica pozo 7.....	321
Cuadro 225. Ficha técnica pozo 8.....	322
Cuadro 226. Ficha técnica pozo 9.....	323
Cuadro 227. Ficha técnica pozo 10.....	324
Cuadro 228. Ficha técnica pozo 11.....	325
Cuadro 229- Ficha técnica pozo 12.....	326
Cuadro 230. Ficha técnica pozo 12A.....	327
Cuadro 231. Ficha técnica pozo 13.....	328
Cuadro 232. Ficha técnica pozo 14.....	329
Cuadro 233. Ficha técnica pozo 15.....	330
Cuadro 234. Ficha técnica pozo 15A.....	331
Cuadro 235. Ficha técnica pozo 16.....	332
Cuadro 236. Ficha técnica pozo 17.....	333
Cuadro 237. Ficha técnica pozo 18.....	334
Cuadro 238. Ficha técnica pozo 19.....	335
Cuadro 239. Ficha técnica pozo 20.....	336
Cuadro 240. Ficha técnica pozo 21.....	337
Cuadro 241. Ficha técnica pozo 22.....	338
Cuadro 242. Ficha técnica pozo 23.....	339
Cuadro 243. Ficha técnica pozo 24.....	340
Cuadro 244. Ficha técnica pozo 25.....	341
Cuadro 245. Ficha técnica pozo 26.....	342
Cuadro 246. Ficha técnica pozo 27.....	343
Cuadro 247. Ficha técnica pozo 28.....	344
Cuadro 248. Ficha técnica pozo 29.....	345
Cuadro 249. Ficha técnica pozo 30.....	346
Cuadro 250. Ficha técnica pozo 31.....	347
Cuadro 251. Ficha técnica pozo 32.....	348
Cuadro 252. Ficha técnica pozo 33.....	349
Cuadro 253. Ficha técnica pozo 34.....	350
Cuadro 254. Ficha técnica pozo 35.....	351

Cuadro 255. Ficha técnica pozo 36.....	352
Cuadro 256. Ficha técnica pozo 37.....	353
Cuadro 257. Ficha técnica pozo 38.....	354
Cuadro 258. Ficha técnica pozo 29.....	355
Cuadro 259. Ficha técnica pozo 40.....	356
Cuadro 260. Ficha técnica pozo 41.....	357
Cuadro 261. Ficha técnica pozo 42.....	358
Cuadro 262. Ficha técnica pozo 43.....	359
Cuadro 263. Ficha técnica pozo 44.....	360
Cuadro 264. Ficha técnica pozo 45.....	361
Cuadro 265. Ficha técnica pozo 46.....	362
Cuadro 266. Ficha técnica pozo 47.....	363
Cuadro 267. Ficha técnica pozo 48.....	364
Cuadro 268. Ficha técnica pozo 49.....	365
Cuadro 269. Ficha técnica pozo 50.....	366
Cuadro 270. Ficha técnica pozo 51.....	367
Cuadro 271. Ficha técnica pozo 52.....	368
Cuadro 272. Ficha técnica pozo 53.....	369
Cuadro 273. Ficha técnica pozo 54.....	370
Cuadro 274. Ficha técnica pozo 55.....	371
Cuadro 275. Ficha técnica pozo 56.....	372
Cuadro 276. Ficha técnica pozo 57.....	373
Cuadro 277. Ficha técnica S. Juan el Obispo 1 La Cuchilla.....	374
Cuadro 278. S. Juan el Obispo 2 Cementerio.....	375
Cuadro 279. Tanque de Don Mario.....	376
Cuadro 280. Tanque de Doña Celia.....	377
Cuadro 281. Valores requeridos para distintas etapas.....	385
Cuadro 282. Ficha técnica del pozo 1.....	386
Cuadro 283. Ficha técnica del pozo 2.....	387
Cuadro 284. Ficha técnica pozo 3.....	388
Cuadro 285. Ficha técnica pozo 4.....	389
Cuadro 286. Ficha técnica pozo 5.....	390

Cuadro 287. Ficha técnica pozo 6 .....	391
Cuadro 288. Ficha técnica pozo 7 .....	392
Cuadro 289. Ficha técnica pozo 8 .....	393
Cuadro 290. Ficha técnica pozo 9 .....	394
Cuadro 291. Ficha técnica pozo 10 .....	395
Cuadro 292. Ficha técnica pozo 11 .....	396
Cuadro 293. Ficha técnica pozo 12 .....	397
Cuadro 294. Ficha técnica pozo 13 .....	398
Cuadro 295. Ficha técnica pozo 14 .....	399
Cuadro 296. Ficha técnica pozo 15 .....	400
Cuadro 297. Ficha técnica pozo 16 .....	401
Cuadro 298. Ficha técnica pozo 17 .....	402
Cuadro 299. Ficha técnica pozo 18 .....	403
Cuadro 300. Ficha técnica pozo 19 .....	404
Cuadro 301. Ficha técnica pozo 20 .....	405
Cuadro 302. Ficha técnica pozo 21 .....	406
Cuadro 303. Ficha técnica pozo 22 .....	407
Cuadro 304. Ficha técnica pozo 23 .....	408
Cuadro 305. Ficha técnica pozo 24 .....	409
Cuadro 306. Ficha técnica pozo 25 .....	410
Cuadro 307. Ficha técnica pozo 26 .....	411
Cuadro 308. Ficha técnica pozo 27 .....	412
Cuadro 309. Costos de planta de tratamiento San Juan El Obispo .....	413

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio.....	9
Figura 2. Cinturón verde del departamento de Sacatepéquez.....	17
Figura 3. Componentes de un Sistema de Distribución.....	24
Figura 4. Esquema general de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable. ....	27
Figura 5. Accesorios del tanque superficial de comportamiento simple, planta.....	35
Figura 6. Accesorios de tanque superficial de comportamiento simple, corte.....	35
Figura 7. Curva de distribución horaria del consumo de la población.....	36
Figura 8. Curva integral de consumo de la población.....	36
Figura 9. Curva integral del tanque regulador con suministro por gravedad.....	37
Figura 10. Curva integral de tanque suministrado por bombeo.....	38
Figura 11. Elementos de control y protección.....	43
Figura 12. Elementos de una estación de bombeo.....	45
Figura 13. Sistema de bombeo en serie.....	48
Figura 14. Sistema de bombeo en paralelo.....	48
Figura 15. Ilustración para determinar la carga dinámica total.....	49
Figura 16. Demanda del cloro.....	52
Figura 17. Techo de una escuela, como un área de captación.....	55
Figura 18. Techo cuenca de la Comunidad del Tecongo Aguascalientes.....	56
Figura 19. Ladera recubierta con concreto en forma de abanico.....	56
Figura 20. Sistema de captación de agua de lluvia con geomembrana.....	57
Figura 21. Canaleta con rejilla y válvula para las primeras lluvias.....	58
Figura 22. Interceptor de las primeras aguas.....	59
Figura 23. Filtro de bajante.....	60
Figura 24. Filtro casero.....	60
Figura 25. Tanque de concreto reforzado superficial.....	63
Figura 26. Cisternas de geomembrana y polietileno.....	63
Figura 27. Tanques de almacenamiento prefabricados.....	64
Figura 28. FODA del sistema de captación techo cuenca.....	71
Figura 29. FODA del sistema de captación de ladera con geomembrana.....	72

Figura 30. Detalle de vertedero Sutro .....	84
Figura 31. Componentes del pozo de visita. ....	89
Figura 32. Profundidad de tubería.....	97
Figura 33. Ejemplificación de cortes transversales.....	99
Figura 34. Condición de cargas hidrostáticas. ....	101
Figura 35. Condición presión lateral del suelo.....	101
Figura 36. Condición tanque lleno y tapado. ....	102
Figura 37. Condición de flotación.....	102
Figura 38. Ubicación de los coeficientes de cortante.....	102
Figura 39. Ubicación de las deflexiones .....	103
Figura 40. Ubicación de los coeficientes de los momentos de las tablas.....	103
Figura 41. Casos de análisis según método PCA.....	123
Figura 42. Rejilla tapada .....	137
Figura 43. Tragante de agua tapado. ....	138
Figura 44. Tasa de crecimiento para la población de La Antigua Guatemala. ....	140
Figura 45 Proyección de la población por domicilio .....	140
Figura 46. Curvas de nivel de La Antigua Guatemala en el programa Civil AutoCad.....	142
Figura 47. Matriz obtenida de las capas evaluadas del departamento de Sacatepéquez.....	151
Figura 48. Proyección de la población de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez.....	152
Figura 49. Tanque de recirculación, elegido para el diseño.....	155
Figura 50. Tramos del diseño de alcantarillado sanitario. ....	171
Figura 51: Crecimiento poblacional San Pedro Las Huertas .....	195
Figura 52: Sistema de orificio de carga constante, elegido para el diseño. ....	201
Figura 53. Mapa temático de la ubicación del diseño.....	247
Figura 54. Mapa temático del análisis de riesgo mediante matriz .....	248
Figura 55. Mapa temático de cobertura del uso de suelo.....	249
Figura 56. Mapa temático de zonas de deslizamiento.....	250
Figura 57. Mapa temático de precipitación.....	251
Figura 58. Mapa temático de pendientes de Antigua Guatemala.....	252
Figura 59. Mapa temático de geología de La Antigua Guatemala.....	253
Figura 60. Mapa temático de la ubicación de los tanques de agua potable .....	254
Figura 61. Mapa temático de la ubicación de los pozos de La Antigua Guatemala .....	255

Figura 62. Mapa temático de los terrenos disponibles en el cerro de la Cruz.....	263
Figura 63. Mapa temático de la ubicación propuesta para el techo cuenca .....	264
Figura 64. Mapa temático de la matriz de análisis de riesgo .....	265
Figura 65. Mapa temático de la precipitación.....	266
Figura 66. Mapa temático de cobertura de uso de suelo.....	267
Figura 67. Mapa temático de zona de deslizamientos.....	268
Figura 68. Mapa temático de la zona de inundación.....	269
Figura 69. Mapa temático de pendientes.....	270
Figura 70. Mapa temático de la geología.....	271
Figura 71. Mapa temático de curvas de nivel.....	272
Figura 72. Precipitación promedio mensual de la estación Suiza Contenta.....	276
Figura 73. Precipitación promedio anual de la estación Suiza Contenta.....	276
Figura 74. Precipitación máxima y mínima de la estación Suiza Contenta.....	277
Figura 75. Curvas DIF de la estación INSIVUMEH.....	278
Figura 76. Curvas DIF de la estación meteorológica San José.....	279
Figura 77. Ubicación pozos de visita de La Antigua Guatemala.....	298
Figura 78. Ubicación de llenacántaros en San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala .....	300
Figura 79. Mapa temático de ubicación de pozos .....	301
Figura 80. Mapa temático de ubicación de rebombeo .....	302
Figura 81. Mapa temático de ubicación de tanques .....	303
Figura 82: Análisis fisicoquímico de agua de pozo nuevo en San Pedro las Huertas .....	304
Figura 83: Análisis microbiológico de agua en nuevo Pozo de San Pedro las Huertas .....	305
Figura 84: Análisis bacteriológico de pozo en San Pedro las Huertas.....	306
Figura 85: Análisis fisicoquímico de pozo en San Pedro las Huertas.....	307
Figura 86: Localización de nuevo pozo en San Pedro las Huertas .....	308
Figura 87: Informe de aforo en pozo nuevo en San Pedro las Huertas.....	309
Figura 88: Perfil de nuevo pozo en San Pedro las Huertas .....	310
Figura 89. Mapas temáticos de ubicación de pozos de visita .....	313
Figura 90. Mapa temático de ubicación propuesta de planta de tratamiento.....	314
Figura 91. Mapa temático de la ubicación de los pozos .....	378
Figura 92. Mapa temático de sistema de conducción cementerio - Celia.....	379
Figura 93. Mapa temático de sistema de conducción cuchilla - Mario.....	380

Figura 94. Mapa temático de ubicación de tanques .....	381
Figura 95. Mapa temático de nodos del sistema de distribución .....	382
Figura 96. Mapa temático de nodos del sistema de distribución .....	383
Figura 97. Sistemas de distribución Parte Baja y Parte Alta. ....	384
Figura 98. Ubicación de los pozos de visita de San Juan del Obispo, Sacatepéquez .....	416
Figura 99. Ubicación de la PTAR propuesta .....	417

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal ampliar la línea base de información de Antigua Guatemala y realizar propuestas de diseño para solucionar problemas existentes con respecto a agua potable, aguas residuales y aguas pluviales. Para llevar a cabo este objetivo se realizaron distintas fases de trabajo.

La primera fase fue determinar las áreas de estudio, esta elección fue tomada con la línea base de información proporcionada por el trabajo de graduación “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: línea base” y sugerencias de parte de la municipalidad. Los lugares de trabajo fueron La Antigua Guatemala, San Pedro Las Huertas y San Juan El Obispo.

La segunda fase fue establecer propuestas de diseño para mejorar el sistema de agua potable y las frecuentes inundaciones provocadas por la lluvia en La Antigua Guatemala. Para lo cual se diseñó un sistema de abastecimiento de agua potable proponiendo que todos los pozos existentes se unieran en un solo tanque de almacenamiento que después distribuirá todo por gravedad al casco urbano de La Antigua. La propuesta del lugar en donde se colocó el nuevo tanque se realizó por medio del programa QGIS y se realizaron mapas temáticos para plasmar de mejor manera esta información. Posteriormente se hizo el diseño de todas las líneas de conducción correspondientes a los pozos, el diseño estructural según el Portland Cement Association del tanque de almacenamiento y su respectiva cloración.

Para disminuir las presentes inundaciones en el casco urbano de La Antigua Guatemala se propuso el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, el cual consiste en un techo cuenca. La estructura consiste en un techo de láminas galvanizadas, dividido en dos aguas inclinadas hacia adentro con pendiente de 5% y confluentes hacia una canaleta colectora central que desagua sobre un tanque de concreto reforzado. Pretende captar la demanda de agua requerida del año, durante el período de lluvia, el reúso del agua será para la limpieza de calles y avenidas, apaciguar un incendio y el riego de cinco manzanas de café.

En La Antigua Guatemala se amplió la información de los pozos de visita correspondiente a aguas pluviales y negras. Para ellos se realizaron varias visitas para conocer el estado de los pozos, obtener las cotas invert y realizar fichas técnicas de cada pozo visitado. También, se hizo la propuesta

de diseñar un sistema de alcantarillado que sustituya el sistema actual capaz de transportar el caudal generados por las aguas residuales.

La tercera fase fue ampliar la información del estado actual del sistema de abastecimiento de agua potable y de los pozos de aguas residuales de la aldea San Pedro Las Huertas. Para ampliar la información del estado de los sistemas de agua potable y aguas residuales se realizaron visitas técnicas a los elementos de cada sistema. En cada visita se evaluó el estado de los elementos mediante fichas técnicas que tomaban diversos aspectos como su georreferenciación, en caso de los pozos se tomaron las cotas invert, observaciones, entre otros.

Para mejorar el estado de la red de agua potable se evaluó si el actual sistema era capaz de soportar la presente y futura población, teniendo como resultado que no es capaz. Con esta información se realizó la propuesta de diseño de la línea de conducción del pozo nuevo que no está siendo utilizado hacia un nuevo tanque de almacenamiento a donde llegará el agua de ambos pozos para luego distribuirse por gravedad en toda la aldea. El diseño del tanque de almacenamiento se realizó con respecto a lo establecido en el American Concrete Institute.

Con respecto a las aguas residuales se propuso el diseño de una planta de tratamiento que cumpla con los requerimientos de remoción de contaminantes solicitados por el gobierno de Guatemala. Se utilizó como base el acuerdo 236-2006. Los elementos de la planta de tratamiento fueron diseñados con el objeto de cumplir con las solicitudes de caudal más críticas que pueda ocurrir en la aldea San Pedro Las Huertas. La ubicación de la planta fue cercano al punto de desfogue de las tuberías existentes.

La cuarta fase fue realizar una propuesta de rediseño del sistema de abastecimiento y distribución de agua potable actual y el diseño de una planta de tratamiento para la aldea San Juan El Obispo. La propuesta de rediseño del sistema de distribución y abastecimiento de agua potable se realizó con herramientas informáticas como QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1., Epanet, Google Earth Pro y otros. Posteriormente se diseñó el tanque cisterna de San Juan El Obispo basado en la metodología Portland Cement Association y el código American Concrete Institute 350 R-Diseño de estructuras de ingeniería sanitaria.

Con respecto a las aguas residuales se propuso el diseño de una planta de tratamiento que cumpla con los requerimientos de remoción de contaminantes solicitados por el gobierno de Guatemala. Se utilizó como base el acuerdo 236-2006. Los elementos de la planta de tratamiento fueron diseñados con el objeto de cumplir con las solicitudes de caudal más críticas que pueda ocurrir en la aldea San Juan El Obispo. La ubicación de la planta fue cercano al punto de desfogue de las tuberías existentes.

La última fase fue la elaboración de manuales de mantenimiento y operación de todas las propuestas de diseño. Esto con el objetivo de dejar una guía de cómo manejar los elementos propuestos. Todas estas propuestas pretenden mejorar la calidad de vida de las personas en La Antigua Guatemala, San Pedro Las Huertas y San Juan El Obispo.



## I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es fundamental para cualquier forma de vida en el planeta. Sin embargo, el constante aumento de la población y el desarrollo industrial ha generado un desequilibrio entre la cantidad de agua disponible y la demanda. En la actualidad se estima que el 97% es agua salada, el 2% se encuentra congelada en los polos y solamente el 1% corresponde a agua dulce, la cual se encuentra en ríos, lagos y corrientes subterráneas (MARN, 2017). Adicionalmente, el suministro de agua dulce se está reduciendo debido a la contaminación de los recursos hídricos superficiales.

La escasez del agua dulce incrementa cada año, convirtiéndose en un tema de preocupación mundial. La falta de agua es una de las restricciones del desarrollo social y económico de la población, situación que ocurre con mayor frecuencia en comunidades rurales. En el mundo, se estima que más de 1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y en su mayoría viven en zonas rurales (OMS, 2003). Por tanto, es necesaria la aplicación de nuevas alternativas para el abastecimiento de agua como lo ofrecen los sistemas de captación de agua pluvial, para recolectar el agua que la población demanda, incrementar la disponibilidad hídrica y disminuir las inundaciones.

No obstante, es necesario que cada hogar tenga acceso directo a una red de agua potable, puesto que ayuda a la salud de los miembros de la familia y a disminuir la contaminación en los cuerpos de agua superficiales (Galarza, 2007). Antigua Guatemala cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable que consiste en diversas fuentes de captación, ya sean naturales o de pozos, las cuales son almacenadas en tanques y distribuidas por tuberías de asbesto cemento, PVC o hierro fundido. Cada poblado de La Antigua cuenta con su propio sistema de abastecimiento y tanque de almacenamiento.

Antigua Guatemala se caracteriza por compartir sus drenajes para aguas negras y pluvial, lo que provoca que sea propensa a inundaciones debido a las precipitaciones prolongadas y deficiencia del sistema de drenaje. De modo que, se requiere el diseño de un alcantarillado sanitario nuevo. Así como, plantas de tratamiento para tratar las aguas negras, de esta forma se reduce el nivel de contaminación que se genera diariamente y se tiene un equilibrio con el ecosistema. El presente trabajo de graduación pretende realizar propuestas de diseño para solucionar problemas existentes con respecto a agua potable, aguas residuales y aguas pluviales en Antigua Guatemala, queda a juicio de la Municipalidad tomarlas en cuenta.



## II. OBJETIVOS

### A. General

Ampliar la línea base de información de Antigua Guatemala y realizar propuestas de diseño para solucionar problemas existentes respecto a: agua potable, agua pluvial y aguas residuales.

### B. Específicos

1. Diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable para La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala.
2. Desarrollar una propuesta para la captación de agua de lluvia con base a las propiedades de la Municipalidad de la Antigua Guatemala, en el cerro de la Cruz, la Guardianía el Hato y el Hato.
3. Diseñar un sistema de alcantarillado para La Antigua Guatemala que sustituya al sistema actual capaz de transportar el caudal generado por las aguas residuales.
4. Evaluar el estado actual del sistema de abastecimiento de agua potable en San Pedro Las Huertas en Antigua Guatemala.
5. Diseñar un sistema de abastecimiento y distribución de agua potable para la aldea San Juan del Obispo, Sacatepéquez que abastezca toda la comunidad.
6. Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro Las Huertas.
7. Diseñar una planta de tratamiento ubicada en San Juan del Obispo, Antigua Guatemala, del municipio de Sacatepéquez, Guatemala.



### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Situación actual del agua en Guatemala

El agua es fundamental para cualquier forma de vida en el planeta. En la actualidad se estima que el 97% es agua salada, el 2% se encuentra congelada en los polos y solamente el 1% corresponde a agua dulce, la cual se encuentra en ríos, lagos y corrientes subterráneas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se origina en el Mar Caribe y Océano Pacífico, lo que hace que el país tenga intensas precipitaciones en las laderas de las montañas expuestas en el tránsito de tales vientos. De acuerdo con los balances anuales de agua, la disponibilidad promedio anual de agua superficial y subterránea es de 97,120 millones m<sup>3</sup>, de los cuales se estima que 33,699 millones de m<sup>3</sup> corresponden a la disponibilidad anual de agua subterránea renovable.

El promedio anual de agua se distribuye de la siguiente forma: 23.7% en la vertiente del Océano Pacífico, 42.1% en la del Golfo de México y el 34.2% en la del Mar Caribe; del agua ofertada es demandada el 23.3%, 4.4% y 7.4%, respectivamente (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012).

El hecho que el régimen hidrológico dependa exclusivamente de la lluvia durante 6 meses y el almacenamiento subterráneo, hace notar la diferencia entre el flujo de los ríos durante el período de lluvias y el seco. A continuación, se presenta la disponibilidad de agua (L/hab/día) anual a nivel nacional y por vertiente de Guatemala, de acuerdo con el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, (2012):

Cuadro 1. Disponibilidad hídrica anual nacional y por vertiente.

Vertientes	Área (km <sup>2</sup> )	% área	Q Medio (m <sup>3</sup> /s)	Q (litros/s/km <sup>2</sup> )	Población (2002)	% Hab.	Hab. /km <sup>2</sup>	litros/ habitante/día
Pacífico	23,990	22.0	728.47	31	5,897,817	52.5	245.8	10,897
Caribe	34,259	31.5	1,180.53	34	3,450,840	30.7	100.7	30,030
Golfo de México	50,640	46.5	1,297.63	26	1,888,539	16.8	37.3	60,225
<b>Totales</b>	<b>108,889</b>	<b>100.0</b>	<b>3,206.63</b>	<b>29</b>	<b>11,237,196</b>	<b>100.0</b>	<b>103.2</b>	<b>25,116</b>

Fuente: SEGEPLAN (2007)

Fuente: (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012).

De toda el agua empleada en el país, 1,540 millones m<sup>3</sup> son de aguas residuales, solo el 5% son tratadas, el resto son vertidas sin tratamiento a corrientes de agua superficial. Adicionalmente, el 40% del agua usada en el riego retorna al río, dando así un saldo anual de 94,984 millones m<sup>3</sup> (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012).

A continuación, se presentan las demandas del uso en Guatemala, para el período del 2005 (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012).

Cuadro 2. Balance hídrico nacional y por vertiente del 2005.

Concepto	Oferta y uso de agua anual en Guatemala					Situación para el mes más seco			
	Indicadores	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país	V. Pacífico	V. Golfo de México	V. Mar Caribe	Total país
	caudal (m <sup>3</sup> /seg)	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )	volumen (mill m <sup>3</sup> )
<b>I. Capital hídrico</b>	<b>3,079.65</b>	<b>22,973.03</b>	<b>40,922.06</b>	<b>33,224.75</b>	<b>97,119.84</b>	<b>755.28</b>	<b>1,042.67</b>	<b>846.55</b>	<b>2,644.50</b>
Vertiente del Pacífico	728.47								
Golfo de México	1,297.63								
Mar Caribe	1,053.55								
<b>II. Total demandas consuntiva o no</b>		<b>5,346.23</b>	<b>1,783.46</b>	<b>2,466.37</b>	<b>9,596.06</b>	<b>698.19</b>	<b>159.59</b>	<b>277.00</b>	<b>1,134.78</b>
<b>III. Total demandas de uso consuntivo</b>		<b>3,758.73</b>	<b>278.83</b>	<b>1,105.07</b>	<b>5,142.63</b>	<b>565.90</b>	<b>34.21</b>	<b>163.56</b>	<b>763.66</b>
<i>a. Agua potable y saneamiento</i>	Hogares país	485.22	132.50	216.90	834.62	40.43	11.04	18.08	69.55
	Hogares con servicio domiciliario	1,458,480	426.96	112.82	191.71	731.48	35.58	9.40	15.98
	Hogares con servicio comunitario	182,537	31.11	5.24	13.02	49.37	2.59	0.44	1.09
	Hogares con otro tipo de servicio (pozo)	337,241	22.44	10.90	7.37	40.71	1.87	0.91	0.61
	Hogares sin servicio (acceso precario)	222,350	4.70	3.54	4.81	13.06	0.39	0.30	0.40
		2,200,608							
<i>b. Uso agropecuario</i>		2977.06	130.41	849.62	3957.09	500.76	21.84	142.27	664.86
	Riego (312,000 ha en todo el país)	2743.62	123.03	801.53	3668.18	457.27	20.51	133.59	611.36
	Ganadería y otros usos agropecuarios (2.0 millones UA)	27.44	1.23	8.02	36.69	2.29	0.10	0.67	3.06
	Agroindustrial (lavado de caña y otros)	206.00	6.15	40.08	252.23	41.20	1.23	8.02	50.45
<i>c. Industria y otras actividades de transformación</i>		291.28	13.84	37.51	342.63	24.27	1.15	3.13	28.55
	Industria manufacturera (80 m <sup>2</sup> /US\$ 1,000 en VA)	285.28	11.84	35.51	332.63	23.77	0.99	2.96	27.72
	Industria de la construcción	6.00	2.00	2.00	10.00	0.50	0.17	0.17	0.83
<i>d. Minería</i>		0.00	0.60	0.30	0.90	0.00	0.05	0.03	0.08
	Minas de Oro - Marlin	822 m <sup>3</sup> /día	0.00	0.30	0.00	0.30	0.00	0.03	0.00
	Otros minas y otros productos mineros (estimación)		0.00	0.30	0.30	0.60	0.00	0.03	0.05
<i>e. Otras actividades económicas</i>		5.18	1.48	0.74	7.40	0.43	0.12	0.06	0.62
	Hoteles y restaurantes (27,038 plazas cama/día, 50%)	3.45	0.99	0.49	4.93	0.29	0.08	0.04	0.41
	Comercios y otros	1.73	0.49	0.25	2.47	0.14	0.04	0.02	0.21
<b>IV. Total demanda no consuntiva</b>		<b>1,587.50</b>	<b>1,504.63</b>	<b>1,361.30</b>	<b>4,453.43</b>	<b>132.29</b>	<b>125.39</b>	<b>113.44</b>	<b>371.12</b>
Energía hidráulica	141.21	1,587.33	1,504.63	1,361.30	4,453.26	132.28	125.39	113.44	371.11
- Vertiente del Pacífico	50.33								
- Golfo de México	47.71								
- Mar Caribe	43.17								
Energía térmica (excepto Ingenios cogeneradores)	3910 mill kw/h	0.17	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	0.00	0.01
<b>V. Aguas retorno de riego (Infiltración)</b>		<b>1,097.45</b>	<b>49.21</b>	<b>320.61</b>	<b>1,467.27</b>	<b>182.91</b>	<b>8.20</b>	<b>53.44</b>	<b>244.55</b>
<b>VII. Generación aguas contaminadas</b>		<b>1,060.93</b>	<b>137.63</b>	<b>340.90</b>	<b>1,539.46</b>	<b>129.57</b>	<b>13.31</b>	<b>40.43</b>	<b>183.31</b>
Origen doméstico	388.17	106.00	173.52	667.69	32.35	8.83	14.46	55.64	
Origen agropecuario	493.85	22.15	144.28	660.27	82.31	3.69	24.05	110.05	
Origen industrial	174.77	8.30	22.51	205.58	14.56	0.69	1.88	17.13	
Origen de otras actividades económicas	4.14	1.18	0.59	5.92	0.35	0.10	0.05	0.49	
<b>Saldo (superavit o déficit)</b>		<b>21,372.68</b>	<b>40,830.07</b>	<b>32,781.18</b>	<b>94,983.94</b>	<b>501.86</b>	<b>1,029.98</b>	<b>776.86</b>	<b>2,308.70</b>

Fuente: SEGEPLAN (2007)

Fuente: (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2012).

## 1. Usos del agua

El agua se utiliza en la mayoría de las actividades del ser humano, su calidad dependerá del uso que se le dé. Por ejemplo, el agua de riego debe tener baja cantidad de sal y la de consumo humano no debe tener organismos infecciosos. A nivel mundial, el mayor uso del agua es para riego, el segundo lugar lo ocupa la industria y en tercero es el consumo humano (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017). Usualmente una persona promedio utiliza el agua de la siguiente forma:

Cuadro 3. Consumo aproximado por habitante por día.

Actividad	Consumo de agua
Lavar la ropa	60-100 litros
Limpia la casa	15-40 litros
Lavar los trastes con maquina	18-50 litros
Lavar los trastes a mano	100 litros
Cocinar	6-8 litros
Ducha	35-70 litros
Bañarse	200 litros
Lavarse los dientes	30 litros
Lavarse los dientes cerrando la llave	1.5 litros
Lavarse las manos	1.5 litros
Afeitarse	40-70 litros
Afeitarse cerrando la llave	3 litros
Lavar el coche con manguera	500 litros
Descargar el WC	10-15 litros
Media descarga de WC	6 litros
Regar un jardín pequeño	75 litros
Riego de plantas en interiores	15 litros
Beber	1.5 litros

Fuente: (Guzmán, 2014).

## B. Monografía Antigua Guatemala

### 1. Antecedentes históricos.

La ciudad de Antigua Guatemala, la cual tiene este nombre oficialmente desde 21 de julio de 1775, hoy en día es la cabecera de Sacatepéquez y está localizada al centro del departamento (Gutiérrez, 2017).

Esta ciudad fue asentada originalmente en el valle de Panchoy o Pancan. En Keqchiquel esto significa “laguna grande”, por lo que da a entender que antes todo este valle estaba bajo el agua. La ciudad fue conocida como “Santiago de los Caballeros” originalmente en 1543 y servía como la capital de la colina española en esa época. Previamente a que la capital de Guatemala estuviera situada en este

lugar, estaba localizada en el “Valle de Almolonga” hoy conocida como “ciudad vieja”. Esta ciudad se trasladó gracias a un terremoto y un deslave del volcán de agua en 1541 (Gutierrez, 2017)

La ciudad capital tuvo que ser trasladada el 21 de julio de 1775, gracias a que hubo dos terremotos conocidos como los terremotos de Santa María. El traslado lo ordeno la Corona Española hacia el Valle de la Ermita o de la Virgen, hoy en día esta es nuestra ciudad (Gutierrez, 2017)

La ciudad de Antigua Guatemala fue designada como cabecera departamental en el año 1839 por la Asamblea Constituyente y se formalizó y oficializó la creación del departamento en 1879. Se le otorgó el título de “Patrimonio Cultural” en 1979 por la UNESCO (Organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura). La ciudad aún conserva edificios del siglo XVI y varias propiedades están protegidas por su valor histórico (Gutiérrez, 2017).

## 2. Localización y ubicación geográfica.

Antigua Guatemala se encuentra localizada sobre las coordenadas geográficas 14° 34´ latitud norte y 90° 44´ longitud oeste, ubicada a 50 kilómetros de la capital actual, y a una altura sobre el nivel del mar de 1,530 metros (Martínez, 2016).

Figura 1. Ubicación del municipio.



Fuente: (Martinez, 2016).

### 3. Accesos y comunicaciones.

El principal acceso a la ciudad es el de la ruta Nacional 10, que comunica Antigua Guatemala con San Lucas Sacatepéquez. Es la principal debido a que es la que permite el acceso directo desde la ciudad de Guatemala. Además, existe la entrada mediante la ruta Nacional 14, que se intercepta con la ruta Centroamericana 9 cerca de la ciudad de Escuintla. Esta ruta es de gran importancia, pero no se le ha dado el mantenimiento apropiado y es muy solitaria, por lo que es usada como punto de atraco por parte de ladrones y asaltantes (Martínez, 2016).

También existen caminos de baja importancia y de poco uso, tales como la ruta Nacional 11 que conecta desde Parramos hacia Jocotenango, uniéndose a la ruta Nacional 14 que proviene desde El Tejar, Chimaltenango (Martínez, 2016).

### 4. Aspectos climatológicos.

El clima de Antigua Guatemala es constante y agradable todo el año. Las temperaturas varían desde los 18 hasta los 25 grados centígrados, por lo que se considera que es una región fresca, de clima fresco a frío, como se observa en el siguiente cuadro (Martínez, 2016).

Cuadro 4. Temperatura media en °C de estación: Suiza Contenta.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1997	***	***	***	22.0	19.6	20.0	20.4	19.6	***	***	***	20.0	20.3
1998	21.0	21.2	21.0	23.0	20.0	18.1	18.7	18.0	16.1	14.5	15.0	14.3	18.4
1999	12.0	20.1	20.5	21.6	20.9	18.6	18.2	19.3	18.5	17.2	16.5	20.2	18.6
2000	19.1	19.7	21.2	21.5	21.1	20.5	20.0	21.7	20.0	***	17.8	17.2	20.0
2001	18.5	***	20.1	20.7	19.8	19.6	19.2	18.3	18.1	18.0	18.3	19.1	18.5
2002	18.9	18.4	18.6	20.2	18.3	18.4	18.7	18.8	18.6	19.6	17.3	17.1	18.6
2003	17.5	18.0	20.5	21.1	19.2	18.8	19.0	19.6	19.8	18.6	***	***	19.2
2004	14.9	17.6	17.3	18	***	***	***	***	***	16.9	14.2	12.8	16.0
2005	12	14.2	15.9	17.8	18.6	17.6	17	17	17	16	14.5	15	16.1
2006	14	14	15	16	18	17.1	18	17.6	17	16.2	15.4	15.4	16.1

Fuente: (Insivumeh,

### 5. Servicios.

El municipio de Antigua Guatemala posee, en su gran mayoría, los servicios básicos de drenaje sanitario y pluvial, sistemas de abastecimiento de agua potable, energía eléctrica, instituciones de educación pública y disposición de basura. Se le ha tomado como un servicio primario a este último,

ya que por ser Patrimonio de la Humanidad se le debe dar el mantenimiento adecuado para poder mantener el título otorgado (Martínez, 2016).

Además de los servicios básicos, también se pueden disfrutar los servicios adicionales o secundarios, tales como las actividades recreativas, turismo, áreas verdes bien cuidadas, telefonía y servicio de internet (Martínez, 2016).

### C. Normas utilizadas

#### 1. Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-06)

También conocido como “Seismic design of liquid-containing concrete structures”, describe el procedimiento para el diseño de estructuras contenedoras de líquidos sometidas a cargas sísmicas, los cuales pueden ser tanques rectangulares o circulares, dependiendo de los apoyos seleccionados. Considera fuerzas y presiones dinámicas de acuerdo con la condición de carga del tanque. Así como, diseño por resistencia en etapa última, durabilidad y control de fisuras en etapa de servicio. Debe utilizarse en junto con el código las tablas de la Asociación del Cemento de Portland (PCA) para el diseño del tanque (ACI, 2007).

#### 2. Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras (ASCE 7-10)

Su nombre en inglés “Minimum design loads for buildings and other structures”, el código proporciona requisitos mínimos de carga para el diseño de estructuras de acero. Las cargas y sus combinaciones se establecen para para el diseño de resistencia y el diseño de esfuerzo permisible. Brinda los requisitos de diseño sísmico y de viento (ASCE, 2010).

#### 3. Especificación norteamericana para el diseño de elementos estructurales de acero conformados en frío (AISI).

Se conoce por su traducción en inglés como “North American specification for the design of cold-formed steel structural members”, especifica ecuaciones y observaciones acerca de los miembros de acero estructural formados en frío. Indica los principios de diseño para los estados límites (LRFD) para el pandeo local, post -pandeo local, torsional, distorcional, resistencia a la cedencia y arrugamiento del alma (AISI, 2007).

Los perfiles de acero formados en frío son secciones de lámina delgada, son livianos, cuentan con aceptable resistencia para relaciones considerables de anchura/espesor, poseen paneles portantes que soportan cargas axiales de compresión, no tienen tensiones residuales que presentan los perfiles de laminados en caliente y no hay engrosamiento de los espesores en las esquinas de las secciones. Las formas más comunes de los perfiles son tipo C, Z, L y tubos estructurales (AISI, 2007).

#### 4. Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección (NSE 2)

La normativa establece combinaciones de cargas, ecuaciones para el espectro sísmico, requisitos para las acciones del viento y brinda lineamientos para diseño de cimientos. De igual forma, cuenta con un listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipios (AGIES, 2017).

#### 5. Diseño estructural de edificaciones (NSE 3)

Esta norma trata sobre la configuración estructural y sistemas sismo-resistentes. Así como, esfuerzos a través de la estructura, cargas sísmicas estáticas equivalentes, métodos de análisis modal dinámico y límites máximos de desplazamiento y derivas de piso (AGIES, 2017).

### D. Sistemas de información geográfica

#### 1. SIG.

Los sistemas de información geográfica SIG o GIS por sus siglas en inglés que se puede definir como un sistema empleado para describir y categorizar la tierra, con el objetivo de mostrar y analizar la información a la cual se le refiere geográficamente, representado generalmente en forma de mapas. Estos mapas pueden ser interactivos o impresos. (ArcGIS, 2018)

Con un SIG se puede crear y administrar información espacial, asimismo se facilita la visualización de datos de cualquier tipo en un mapa. Comúnmente este tipo de software es utilizado para cartografía automatizada, infraestructura, ordenamiento territorial, medio ambiente, entre otros.

#### 2. Mapas SIG

Los mapas hechos en las herramientas SIG no son mapas ordinarios ya que no solamente son representaciones cartográficas estáticas, son ventanas interactivas donde se encuentra todo tipo de

información geográfica e información descriptiva y modelos de análisis espacial. En los GIS el mapa funciona como una interfaz para crear más información en torno a ella.

Con los mapas GIS se pueden identificar patrones, tales como las características de la población en una ciudad, zonas urbanas. También se pueden generar datos realizando geo procesos con los cuales se pueden obtener las superficies de los terrenos, analizar imágenes satelitales, determinar el uso de la tierra, entre muchas otras cosas que se pueden representar dentro de un mapa GIS. (Geoinnova, 2017)

### 3. Archivos tipo Shape

Los archivos Shape o Shapefile es el formato que utilizan los softwares SIG en el cual se almacena la ubicación geométrica y la información de los atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de los shape son representadas en tres diferentes variantes, las cuales son, puntos, líneas o polígonos. Dentro de estos archivos se pueden incluir tablas de vínculos con archivos externos al shape.

Un shapefile está constituido por cinco archivos, los cuales cada uno guarda información específica por separado. De estos archivos solo tres son necesarios para cargar un shape a una plataforma SIG. El archivo .shp es el cual almacena la geometría de la entidad, el .shx es el archivo que almacena el índice de la entidad y el archivo .dbf el cual almacena la información de los atributos de la entidad. (ArcGIS, 2016)

### E. Cinturón Verde

Se conoce como cinturón verde a una franja de espacios naturales que poseen interconexión entre sí, que bordea una ciudad o un poblado. El objetivo principal del cinturón verde es limitar la frontera urbana, por medio de un “colchón” natural climático para la población que rodea. Se considera esta área como idónea para la creación de parques. (Soto, 2007)

En Antigua Guatemala para la protección del cinturón verde se creó el Acta número 32-2010 que constituye los parámetros normativos para áreas urbanizables que se localicen dentro del cinturón verde del municipio de La Antigua Guatemala. En dicha acta se definen los siguientes artículos:

**Artículo 1.- Objeto.** Los parámetros normativos para áreas urbanizables tienen por objeto establecer los aspectos técnicos para normar la organización del uso de suelo, la densidad poblacional y habitacional, el fraccionamiento y la construcción de los predios que se localicen dentro del Cinturón Verde.

**Artículo 2.- Campo de aplicación.** Los parámetros normativos aplican únicamente a las aldeas siguientes: San Felipe de Jesús, El Hato, San Mateo Milpas Altas, San Juan Gascón, Santa Inés del Monte Pulciano, Santa Ana, San Cristóbal El Bajo y San Cristóbal El Alto.

**Artículo 3.- Definiciones.** Para efectos de aplicación e interpretación del presente acuerdo se entenderá por:

1. **Áreas Urbanizables:** Se entenderán por Áreas urbanizables tanto las áreas que ya cuentan con una infraestructura urbana (calle, servicios básicos, equipamiento y otros conexos.), como aquellas que carecen de infraestructura, pero, poseen vocación para ser desarrolladas como áreas urbanas.
2. **Cinturón Verde:** Comprende los cerros y montañas con cobertura boscosa que se encuentran alrededor de la Ciudad, en las que, con el fin de preservar el paisaje natural que la rodea, los recursos naturales, la biodiversidad, y minimizar el riesgo de desastres naturales por deslizamientos de tierras, queda prohibida la tala de árboles y la construcción de edificaciones, salvo en áreas de que se consideren urbanizables. De acuerdo con el Segundo Registro de la Propiedad (2012), el cinturón verde se conforma por:
  - **Áreas de protección por reforestación:** áreas actualmente deforestadas que deben servir de recarga de acuíferos o nacimientos de agua potable y protección contra deslaves de tierra, y que por lo tanto están sujetas a reforestación a través de programas específicos para el efecto. Son tierras marginales para uso agrícola o pecuario intensivo. Tienen como objetivo preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como las fuentes de agua.

- Áreas de manejo forestal: Áreas actualmente con cobertura boscosa, con condiciones favorables para aprovechamiento forestal y con limitaciones para usos agropecuarios. Con aptitud preferente para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como de plantaciones con fines de aprovechamiento, sin que esto signifique el deterioro de otros recursos naturales.
- Áreas de reforestación para manejo forestal: áreas deforestadas con vocación para nuevas plantaciones forestales para su aprovechamiento.
- Áreas para agricultura permanente o sistemas agroforestales: áreas con limitaciones de pendiente y profundidad, aptas para el establecimiento de sistemas de cultivos permanentes.
- Área para agricultura con mejoras: áreas que presentan limitaciones de uso moderadas con respecto a la pendiente, profundidad y/o drenaje. Para su cultivo se requieren prácticas de manejo y conservación de suelos, así como prácticas agronómicas.
- Áreas para sistema selvo-pastoral: áreas con limitaciones de pendiente y/o profundidad, drenaje interno que tienen limitaciones permanentes o transitorias de drenaje. Permitan el desarrollo de pastos naturales o cultivados y/o asociados con especies arbóreas.

**Artículo 4.- Criterios de definición de áreas urbanizables dentro del Cinturón Verde:** Estas dependen de las características naturales que tenga cada área en cuanto a topografía e hidrografía y su nivel de ocupación constructiva. Se establecen las siguientes:

**Áreas Urbano-Consolidadas:** Es el espacio físico construido que está ocupadas por las aldeas, caseríos, cantones u otras formas de ocupación.

Cuadro 5. Parámetros normativos para el área urbano consolidada.

<b>URBANO CONSOLIDADO (UC-1)</b>				
PARAMETRO		PROCEDIMIENTO		
descripcion	unidad	UCU+CCPOT+CM		CM
		requerimiento		
<b>PENDIENTE</b>				
inclinación del terreno	%	hasta 11		> 11*
<b>ORGANIZACIÓN USO DEL SUELO EN PROYECTOS INMOBILIARIOS</b>				
		Residencial	Comercial/Industrial	
area vendible		50-55	60-65	
circulación		20-25**		
area verde	%	10	0	
equipamiento		15	15	
area servicios		variable		
<b>DENSIDAD</b>				
densidad habitacional	hab/Ha	375	no aplica	
Número aprox de unidades habitacionales	viv/ha	75	no aplica	
<b>TAMAÑO DE LOTES (desmenbraciones)</b>				
frente	m	6	no aplica	
area	m2	72	no aplica	
<b>CONSTRUCCIÓN</b>				
índice de edificabilidad	relación		1.25	
índice de ocupación	relación		0.85	
% de permeabilidad	relación		0.15	

\* deberá resolver estructuralmente  
 \*\* si se reduce la circulación puede aumentarse el área vendible

**Áreas Urbanizables tipo 1:** Constituye las áreas, predios o parte de predios con pendientes del nivel natural del terreno menores o igual a once por ciento (11%).

Cuadro 6. Parámetros normativos para el área urbanizable tipo I.

<b>URBANIZABLE 0-11% (UR-1)*</b>				
PARAMETRO		PROCEDIMIENTO		
descripcion	unidad	UCU+CCPOT+CM		CM
		requerimiento		
<b>PENDIENTE</b>				
inclinación del terreno	%	hasta 11		
<b>ORGANIZACIÓN USO DEL SUELO EN PROYECTOS INMOBILIARIOS</b>				
		Residencial	Comercial/Industrial	
area vendible		50-55	60-65	
circulación		20-25**		
area verde	%	10	0	
equipamiento		15	15	
area servicios		variable		
<b>DENSIDAD</b>				
densidad habitacional	hab/Ha	150	no aplica	
Número aprox de unidades habitacionales	viv/ha	30	no aplica	
<b>TAMAÑO DE LOTES (desmenbraciones)</b>				
frente	m	9-10 ***	no aplica	
area	m2	180 ***	no aplica	
<b>CONSTRUCCIÓN</b>				
índice de edificabilidad	relación		1.25	
índice de ocupación	relación		0.7	
% de permeabilidad	relación		0.3	

\* no debe tener vista ni ser visto desde Zona de Restricción Máxima  
 \*\* si se reduce la circulación puede aumentarse el área vendible  
 \*\*\* Se permite frentes y áreas menores siempre que se mantenga densidad habitacional

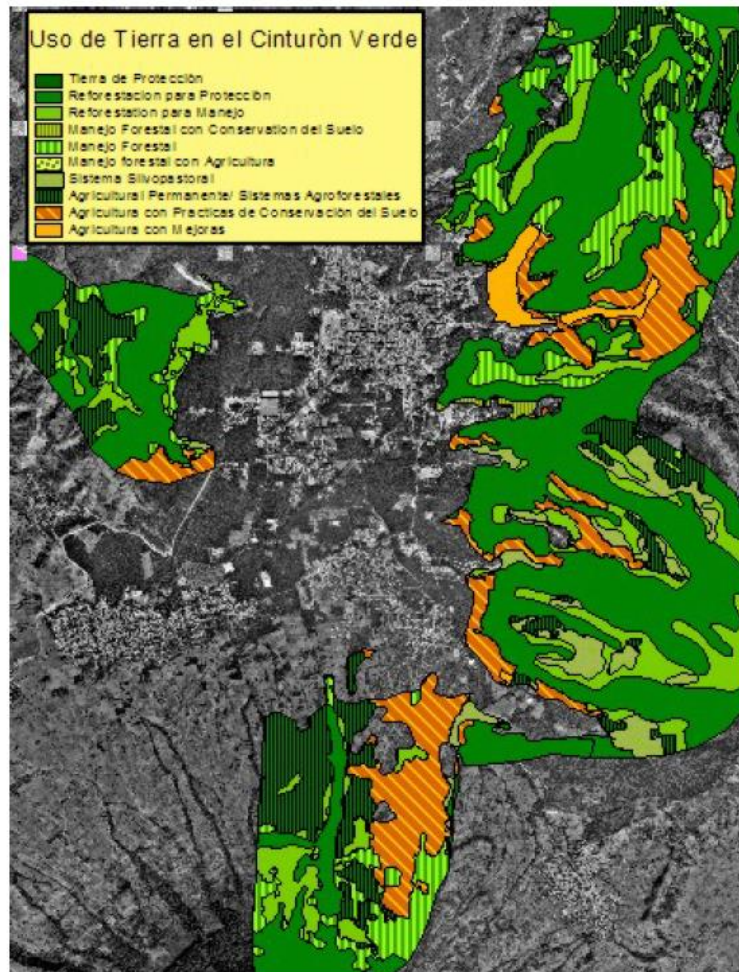
**Áreas Urbanizables tipo 2:** Constituye las áreas, predios o parte de predios con pendientes del nivel natural del terreno mayores de once por ciento (11%) y menores o iguales a dieciséis por ciento (16%)

Cuadro 7. Parámetros normativos para el área urbanizable tipo 2

URBANIZABLE 11-16 % (UR-2)*				
PARAMETRO		PROCEDIMIENTO		
descripcion	unidad	UCU+CCPOT+CM		CM
		requerimiento		
<b>PENDIENTE</b>				
Inclinación del terreno	%	> 11 < 16		
<b>ORGANIZACIÓN USO DEL SUELO EN PROYECTOS INMOBILIARIOS</b>				
		Residencial	Comercial/Industrial	
area vendible		40-45	60-65	
circulación		20-25**		
area verde		20	0	
equipamiento		15	15	
area servicios		variable		
<b>DENSIDAD</b>				
densidad habitacional	hab/Ha	125	no aplica	
Número aprox de unidades habitacionales	viv/ha	25	no aplica	
<b>TAMAÑO DE LOTES (desmenbraciones)</b>				
frente	m	9-10 ***	no aplica	<9
area	m2	180 ***	no aplica	<180
<b>CONSTRUCCIÓN</b>				
Índice de edificabilidad	relación		1.25	
Índice de ocupación	relación		0.7	
% de permeabilidad	relación		0.3	

\* no debe tener vista ni ser visto desde Zona de Restricción Máxima  
 \*\* si se reduce la circulación puede aumentarse el área vendible  
 \*\*\* Se permite frentes y áreas menores siempre que se mantenga densidad habitacional

Figura 2. Cinturón verde del departamento de Sacatepéquez



## F. Agua potable

Según la Organización Mundial de la Salud (2014), el agua potable se define como el agua utilizada para fines domésticos y de higiene personal. Además, para afirmar que la población tiene acceso al agua potable la fuente debe estar a menos de un kilómetro de distancia de lugar de utilización y debe poseer la capacidad de brindar al menos 20 litros de agua diarios por cada miembro de la familia.

### 1. Calidad de agua

La mayoría de la población, alrededor del mundo, cocina y bebe con el agua entubada que llega a sus casas; por lo que, es necesario que el agua sea salubre. El agua potable es considerada salubre cuando cumple con las características microbianas, químicas y físicas que pauta la Organización Mundial de la Salud o lo que indican las leyes de calidad del agua potable de cada país.

En el caso de Guatemala, se cuenta con la norma COGUANOR 29001, la cual constituye los parámetros para mejorar la calidad agua. Dentro de la norma se establecen dos tipos de límites:

- Límite máximo aceptable (LMA), el cual es el valor de la concentración de cualquier característica del agua; arriba del cual el agua para a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique daño a la salud del consumidor.
- Límite máximo permisible (LMP), es el valor de la concentración de cualquiera característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para el consumo humano.

Dentro de las características físicas y químicas, se puede mencionar las siguientes:

- Color: el color en el agua potable puede ser efecto de la presencia de materia orgánica de color. Algunas de estas sustancias pueden ser, sustancias húmicas, materiales como el hierro y el manganeso, o residuos industriales.
- Olor: el olor en el agua se debe principalmente de la presencia de sustancias orgánicas. Los olores se pueden dar debido a distintas causas, por ejemplo, puede ser por el incremento de actividad biológica o por contaminación industrial.

- Sabor: es la percepción combinada de sustancias detectadas por los sentidos del gusto y el olfato. El sabor en el agua potable se debe a un cambio en la calidad de la fuente de agua natural o deficiencias en el tratamiento.
- Turbiedad: la turbiedad es la claridad del agua. La turbiedad, de preferencia debe ser baja. Los elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos contra los efectos de desinfección, por lo tanto, estimular el crecimiento de bacterias y ejercer una cantidad significativa de cloro.
- Conductividad eléctrica: los sales en el agua se disuelven en iones de carga positiva y negativa, los cuales conducen la electricidad. (Organización Panamericana de la Salud, 1988)

Cuadro 8. Características físicas que debe tener el agua potable

Característica	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en escala de platino - cobalto		
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados		

Fuente: COGUANOR, 2013

Cuadro 9. Características químicas que debe tener el agua potable.

Característica	LMA	LMP
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 $\mu$ S/cm
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0 °C - 25.0 °C	34.0 °C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L
(1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de Escherichia Coli y ciertos virus		
(2) En aquellas ocasiones en que amanecen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.		
(3) En unidades de pH		

Fuente: (COGUANOR, 2013)

Cuadro 10. Normas para consultar para diferentes estudios.

COGUANOR NGO 4 010	Sistema internacional de unidades (SI)
COGUANOR NGO 29 011h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación del color método de referencia
COGUANOR NGO 29 011h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de la turbiedad
COGUANOR NGO 29 012h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza
COGUANOR NGO 29 012h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro
COGUANOR NGO 29 013h3	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Alcalinidad
COGUANOR NGO 29 013h7	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro
COGUANOR NGO 29 013h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Fluoruro
COGUANOR NGO 29 013h18	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrato)
COGUANOR NGO 29 013h19	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrito)
COGUANOR NGO 29 013h21	Aguas. Determinación de constituyentes orgánicos no metálicos. Oxígeno disuelto. Método de referencia
COGUANOR NGO 29 013h23	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencial hidrógeno (pH).

Fuente: (COGUANOR, 2013)

Por otra parte, se encuentran las características bacteriológicas, que consiste en la probabilidad de contaminación del agua con organismos patógenos. El agua puede contar con contaminantes de aguas negras, las cuales no son observadas en análisis fisicoquímicos. En cambio, las pruebas bacteriológicas se han diseñado para detectar estos microorganismos.

- Microorganismos coliformes. Los microorganismos coliformes viven más tiempo en el agua que los patógenos. Aparecen en las materias fecales. La presencia de estos microorganismos en el agua es una señal de alerta ante la contaminación del agua. El grupo coliforme comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa (Cifuentes, 2004)
- Método de los tubos múltiples. Método estándar para la determinación del grupo coliforme. Está basado en la fermentación de lactosa con producción de gas. El método de análisis utilizado es el del número más probable, el cual consta en tres fases: presuntiva, confirmatoria y complementaria. La primera fase es a través de la presencia de gas para determinar la presencia de organismos coliformes. La fase presuntiva consta de la localización de los grupos coliformes mediante la presencia de gas debido a la fermentación de lactosa. La fase confirmatoria y complementaria se realizan dependiendo de los resultados obtenidos. La

segunda y tercera fase constan de un acuerdo de resultados obtenidos de la fase 1. Dependiendo de la cantidad de muestra se pueden hacer pruebas con 15 tubos y con 9 tubos (Ruiz, 2000).

- Método por la membrana de filtración. Método que permite analizar un mayor volumen de agua en comparación con el método de tubos múltiples. Comúnmente el volumen de muestra es de 100 ml Se colocan filtros, generalmente compuestos de ésteres de celulosa, con poros de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro que retienen las bacterias coliformes al filtrar volúmenes específicos según el origen de la muestra. Las membranas se colocan en un medio selectivo donde se pueden desarrollar las colonias deseadas. Tras la filtración se procede a la incubación en donde las temperaturas van de 37 grados celcios a 44.5 grados celcios. Dando así la oportunidad a las baterías a desarrollarse (Ruiz, 2000).

Se acepta como límite a una colonia de coliformes totales y ausencia de *Escherichia coli* en 100 mL de agua. La ausencia de coliformes se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad de agua (COGUANOR 29001, 2013). La norma COGUANOR 29001 establece límites aceptables para la presencia de organismos coliformes, los cuales son:

Cuadro 11: Límites de las membranas de filtración, grupo coliforme

La media aritmética de todas las muestras normales que se examinen en un mes no debe de exceder de:	Un microorganismo/100 mL.
El número de colonias por muestra normal no ha de exceder de 3/50 mL, 4/100 mL, 7/200 mL ó 13/500 mL en:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos muestras consecutivas.</li> <li>• En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras.</li> <li>• Más del 5% de las muestras normales, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.</li> </ul>

Fuente: (COGUANOR, 2013)

- Método de los tubos múltiples de fermentación. Utilizado para la identificación de grupos coliformes en las muestras de agua. Se fundamenta en la fermentación de lactosa con producción de gas. El número más probable, es el método utilizado para el análisis de las

muestras, el cual consta de las tres etapas; las cuales son: fase presuntiva, confirmatoria y complementaria. (Ruiz, 2000).

La precisión de este método depende la cantidad de tubos utilizados. El número obtenido mediante el método del Número Más Probable (NMP) se basa en tablas de probabilidad estadísticas, las cuales tienen un límite de confianza del 95%. El método de NMP puede ser aplicado en toda clase de aguas (Ruiz, 2000). La norma COGUANOR 29001 establece límites aceptables para la presencia de organismos coliformes, los cuales son:

Cuadro 12: Límites las membranas de filtración, grupo coliforme

Cuando se examinan porciones de 10 mL.	No más del 10% deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme.
No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10 mL de una muestra normal, cuando ocurran:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En dos muestras consecutivas.</li> <li>• En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras.</li> <li>• En más de 5% de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.</li> </ul>

Fuente: (COGUANOR, 2013)

## 2. Fuentes de agua

Es un depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua. Dependiendo de la ubicación de la fuente de agua se determina el sistema de abastecimiento, el cual puede ser por gravedad o bombeo. (Molina, Rangel, Camargo, & Castañeda, 2015).

a. Aguas superficiales

Las aguas superficiales discurren naturalmente en la superficie terrestre, las cuales pueden ser, ríos, lagos, arroyos, etc. Estas fuentes se ven afectadas por las poblaciones cercanas a ellas debido a que las contaminan por su utilización y descarga de desechos.

b. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son formadas mediante la infiltración de un porcentaje de la cuenca. Depende de las características hidrológicas de cada una de ellas y de la formación geológica del acuífero. La captación de estas aguas puede ser mediante manantiales, galerías filtrantes y pozos.

c. Agua de lluvia

El agua de lluvia que proviene de la condensación de vapor de agua en la atmósfera. Beber agua de lluvia no es recomendable sin su debido tratamiento. Se ve contaminada por ozono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, plomo y partículas. Estos son emitidos a la atmósfera como consecuencia de actividades industriales y de transporte.

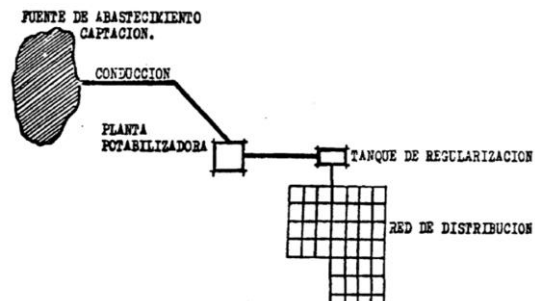
d. Agua de manantial

Es un afloramiento de agua subterránea. Por lo regular, el agua de un manantial fluye a través de estratos con grava, arena o roca fisurada. Los estratos impermeables bloquean el flujo subterráneo del agua y permiten que aflore a la superficie. En condiciones normales, el agua de manantial no requiere de ningún tratamiento. La localización de estos cuerpos de agua se encuentra en laderas de colinas y valles ribereños. En los de ladera el agua aflora en forma horizontal y en los de fondo el agua aflora de forma ascendente. En ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado y cuando aflora por varios puntos es un manantial difuso (Pittman R. A., 2014).

3. Componentes de un sistema de abastecimiento

Un sistema de abastecimiento es el conjunto de fuentes, tuberías y accesorios que son usados para conducir el agua necesaria en una población para su desarrollo humano. Cada componente es esencial para su funcionamiento; ya que se seleccionan de acuerdo con las necesidades y recursos que posee la población donde será usado. (Ministerio de Obras Públicas, 2016)

Figura 3. Componentes de un Sistema de Distribución



Fuente:(Ministerio de Salud Pública, 2011)

a. Línea de conducción

Se les conoce así a todos los dispositivos integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que transportan el agua desde el punto donde se capta hasta donde almacenará. Habitualmente es una tubería que transporta el agua por fuerza de gravedad o por medio de una bomba, es normal que un sistema de agua se cuente con más de una línea de conducción. (Instituto de Fomento Municipal, 2011). Depende de la topografía y las condiciones locales se decide qué método utilizar.

b. Tipos de conducción

1) Conducción por bombeo.

Generalmente es un diseño utilizado cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. Por lo que el equipo le da la energía necesaria para lograr el transporte del agua. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

2) Conducción por gravedad

La conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente del punto de entrega del agua. El transporte del agua se logra por medio de la diferencia de energías disponibles.

Por lo que es necesario que la topografía existente posea una pendiente que pueda llevar a cabo la conducción sin necesidad de bombeo y también posea una presión aceptable. Además, posee ciertas ventajas como: inexistencia de costos de energía, operación sencilla, bajos costos de mantenimiento y reducción de cambios de presión. (Comisión Nacional del Agua, 2016).

La tubería que abastece de agua al tanque (línea de conducción) se diseña para el gasto máximo diario y la tubería que inicia el tanque hacia el poblado (línea de alimentación) para el gasto máximo horario en el día de máxima demanda. (Comisión Nacional de Agua, 2016)

### 3) Conducción por bombeo – gravedad

En ciertos casos la topografía del terreno requiere que la línea de conducción sea una combinación de los dos tipos vistos anteriormente. Ya que, si la línea de conducción debe de cruzar partes con mayor elevación que la superficie del agua en el tanque de abastecimiento, entonces se coloca un tanque intermedio. Por lo que, la primera parte es por bombeo y la segunda por gravedad. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

### 4) Diseño de línea de conducción

En algunas situaciones, las fuentes de abastecimiento se encuentran a distancias largas de donde se requiere que llegue el agua. Por lo que se da la necesidad de interconectar las líneas de conducción de cada fuente, por lo que se llega a formar una red de conducción. Al momento de unir las líneas y formar una sola red, se puede reducir los costos, pero la operación del sistema será mucho más compleja y por ende se deberá de revisar de manera detallada que siempre posea un adecuado funcionamiento. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Cabe mencionar también la necesidad de las líneas paralelas, que se forman cuando es necesario colocar dos o más tuberías sobre el mismo trazo. La utilización de ello será según las necesidades de demanda de agua y la disponibilidad de recursos que posee el lugar.

### c. Almacenamiento

Se conoce como almacenamiento al punto o los puntos, en un sistema de abastecimiento de agua potable en donde se regula y se almacena el agua a distribuir a una comunidad de acuerdo con la demanda poblacional diaria. Los tanques pueden estar formados por distintos materiales como concreto reforzado, acero estructural y otros materiales. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Los tanques habitualmente están colocados en los puntos topográficos más altos del sector en donde se aprovechará el diseño. Lo importante de los tanques es que obtenga la energía necesaria para que pueda ser distribuida con el caudal y la presión requerida. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

#### 1) Tanques enterrados

Estos son construidos bajo el nivel del suelo y son usados cuando existe terreno con una cota adecuada para el funcionamiento de la red de distribución y de fácil excavación. La ventaja de estos tanques radica en la protección del agua de las variaciones de la temperatura y de proporcionar una perfecta adaptación al entorno. Sin embargo, la excavación se convierte en un proceso engorroso de acuerdo con todas sus instalaciones para la red de conducción y crece la dificultad de control de las posibles futuras filtraciones que se presenten. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

#### 2) Tanques semienterrados

Los tanques semienterrados poseen una parte de su estructura por debajo del nivel del terreno y la otra parte por sobre el nivel. Son empleados cuando se presentan dificultades de excavación del terreno, pero la altura topográfica al punto de alimentación cumple todos los requerimientos para su distribución. Este tipo de tanque permite un mejor acceso a las instalaciones del tanque si se presentase algún problema. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

#### 3) Tanques superficiales

Los tanques superficiales son construidos por encima de la superficie del terreno; habitualmente son construidos cuando el terreno presenta secciones duras donde es imposible excavar o en dados casos no conviene perder más altura y se considera que al nivel del suelo es lo requerido para su funcionamiento.

Este tipo de tanques se sitúan en una elevación natural en las cercanías de la zona en donde se va a distribuir el agua; logrando que la diferencia del nivel entre el tanque y el punto más alto a abastecer no sea mayor de 15 centímetros. Y la diferencia de alturas entre el nivel de tanque del punto máximo de operación y el punto más bajo por abastecer sea de 50 metros. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

#### 4) Tanque elevado

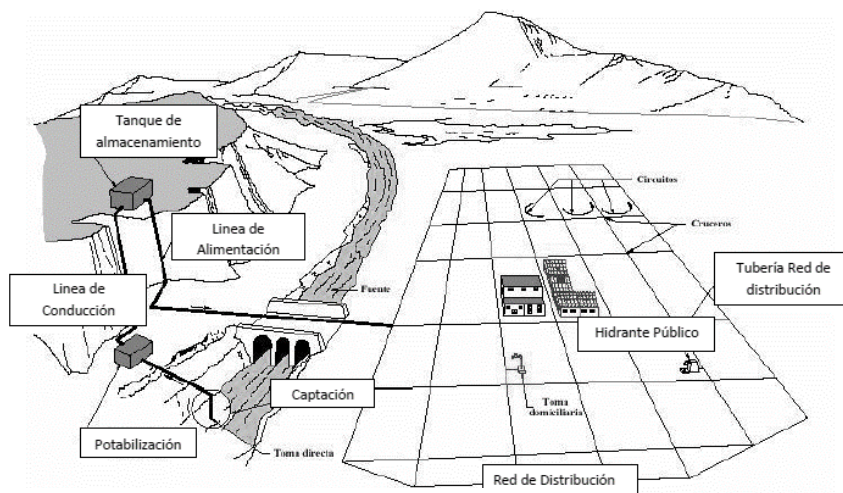
Los tanques elevados son aquellos donde la base está por encima del nivel del suelo y se mantiene firme por la estructura construida, la cual está constituida por el tanque, la torre y la tubería de alimentación y descarga.

Para que el beneficio sea óptimo, los tanques elevados poseen una altura de 10, 15, o 20 metros. Se colocan cerca de donde será usado, pero en áreas más grandes se colocan varios tanques en distintos puntos que puedan cubrir la zona. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

d. Red de distribución

Es el conjunto de dispositivos como: líneas, redes, válvulas y otros dispositivos de control que en un sistema de abastecimiento de agua potable cumple con la función de distribuir en la comunidad. El agua llega a distribuirse en cada domicilio mediante conexiones domiciliarias o conexiones prediales o comunales. (Instituto de Fomento Municipal, 2011)

Figura 4. Esquema general de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.



Fuente: (Ministerio de Salud Pública, 2011)

Las redes de distribución de agua se estructuran según el tipo de función que desempeñan; de acuerdo con la: distribución de consumos, a la reducción de pérdidas de carga, de acuerdo con las situaciones imprevistas y a reducir costos.

4. Consumo de agua

El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona en un día, también conocido como dotación. La determinación de consumo se basa en datos estadísticos del consumo pasado y presente de la población, si se tuviera la información. Sin embargo, al no tener la información se basa en datos de otras poblaciones vecinas o en el caso de Guatemala, la norma del Instituto de fomento municipal de Guatemala -INFOM-. (López, 2004)

a. Factores determinantes del consumo

- Temperatura: debido a las condiciones de las actividades del ser humano, entre mayor sea la temperatura mayor será el consumo de agua.
- Calidad del agua: el consumo de agua será mayor en medida que las personas posean mayor seguridad de la buena calidad de agua que llega a sus hogares.
- Características sociales y económicas: el nivel de educación y de ingresos que tenga la población; puesto, que entre poblaciones mayormente urbanas se tiene mayor consumo de agua que en las poblaciones de área rural.
- Servicio de alcantarillado: contar con este tipo de sistemas eleva el consumo de agua, en comparación con ciudades en donde se utilicen letrinas o no exista ningún sistema.
- Presión en la red de distribución de agua: entre mayor sea la presión de la red, mayor será la pérdida en el consumo. Además, existen mayor daño de tubería.
- Administración: entre más eficiente sea la administración, existirá mejor control de consumo de agua. Por lo que, se podrán reducir fugas y desperdicios. (López, 2004)

b. Consumo neto

Es la cantidad de agua efectiva usada en cada una de las actividades que se realizan, también conocido como dotación neta. Siendo estas clasificadas en cuatro ramas:

- Consumo doméstico: dicho consumo conlleva todo el consumo de agua por actividades del hogar, tales como: sanitarios, lavamanos, lavado de ropa, aseo personal, entre otros.
- Consumo comercial e industrial: el consumo de agua por industria varía de acuerdo con lo que se dedique, los procesos de desarrollo que conlleve.
- Consumo público e institucional: es todo aquello proporcionado de manera gratuita, para uso general de la población. (López, 2004)

5. Factores de diseño

Para el diseño de tanque de abastecimiento es necesario considerar ciertos factores para que este trabaje de forma óptima. Tomando en cuenta las necesidades de la población a quienes va dirigido el nuevo sistema.

a. Período de diseño

Corresponde a la vida útil que posea el abastecimiento de agua potable para satisfacer las necesidades de la población. Aproximadamente se considera un periodo de 15 a 20 años para las obras civiles y de 5 a 10 años para los equipos mecánicos; en ciertos casos se considera un proyecto por etapas y se debe de considerar un tiempo de gestión de aproximadamente 2 años. El periodo está influenciado por la estimación de la población futura, caudal, comportamiento del sistema de ampliación y costos. (Chiquin, 2009)

b. Nivel de servicio

Factor que depende del caudal de la o las fuentes disponibles y del nivel económico de una población. El primer nivel de servicio constituye el más económico, el cual es aquel que se proporciona por medio de llenacántaros. En este se instala un llenacántaros en el centro de un grupo de viviendas a los que les suministrará. Los habitantes transportan el agua hasta sus viviendas. (Rouge, 1999)

El segundo nivel es una combinación de llenacántaros y conexiones prediales, donde parte de la población es servida con llenacántaros y la otra mediante un grifo instalado en el límite predial de la vivienda. El tercer nivel constituido por conexiones prediales y el cuarto nivel cuenta con servicio de conexiones intradomiciliarias (varios grifos dentro de cada vivienda). (Rouge, 1999)

c. Dotación

Cantidad de agua que se le proporciona a cada habitante de una población específica en un día. La dotación es afectada por varios factores como: clima, tipo de fuente, calidad de agua, actividad productiva y la medición del consumo. (Instituto de Fomento Municipal, 2011)

Si existieran estudios en la comunidad sobre la demanda de la población o poblaciones similares, deberán tomarse en cuenta. Sin embargo, si estos no existieran, se puede fijar un valor mediante los siguientes parámetros:

- Servicio a base de llenacántaros: 30 a 60 lt/hab/día
- Servicio mixto de llenacántaros y conexiones prediales: 60 – 90 lt/hab/día
- Servicio exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda: 60 – 120 lt/hab/día
- Servicio de conexión intradomiciliarias, con opción a varios grifos por vivienda: 90 – 170 lt/hab/día

- Servicio de pozo excavado, con bomba de mano: mínimo 15 lt/hab/día.

#### 1) Factor de corrección por temperatura

La temperatura que exista en la comunidad para que se diseñe puede afectar la dotación asignada. Por lo que, para ello se puede incrementar de la siguiente manera:

- Entre 15% y 20% para climas con temperaturas superiores a 28 °C.
- Entre 10% y 25% para climas con temperaturas entre 20°C y 28°C.
- No se recomienda incremento para temperaturas inferiores a 20°C.

#### d. Censo de población

Se debe de poseer un censo, que especifique el número de habitantes totales y por vivienda. El último censo realizado en Guatemala fue en año 2002, en donde Sacatepéquez tenía una densidad poblacional de 533 habitantes/km<sup>2</sup>. Y de acuerdo con el INE (2002), el total de hogares correspondía a 49 687 en donde únicamente 48 355 tenían acceso a agua entubada. Dentro de los municipios del departamento con mayor cantidad de hogares se encuentra Antigua Guatemala, en donde existían 8 732 hogares donde 8 322 tenían acceso a agua entubada. (INE, 2002)

#### e. Proyecciones de población

La utilización de las proyecciones de población propone un estimado de la capacidad que debe de poseer el tanque para cumplir con el abastecimiento de agua a la población requerida por al menos 20 años. Considerando las proyecciones se puede estimar la capacidad necesaria del tanque para que cumpla dicho tiempo de vida.

La población futura se puede determinar por varios métodos; sin embargo, el más utilizado es el método geométrico, la formula está dada por:

$$Pf = Po * (1 + i)^n \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $Pf$  es la población futura
- $Po$  es la población inicial
- $i$  es la tasa de crecimiento poblacional %
- $n$  es el número de años en el futuro

Sin embargo, Guatemala ha estado trabajando con proyecciones desde su último censo. Por lo que, según el Instituto Nacional de Estadística (2008), la población de Sacatepéquez para el año 2018 es de 363 073 habitantes; en donde Antigua Guatemala posee 46 693 habitantes. El INE provee una proyección hasta el año 2020, en donde la población de Sacatepéquez es de 376 111 habitantes, en donde la población de Antigua Guatemala es de 43 931 habitantes. (INE, 2008)

f. Caudales de diseño

Los caudales de diseño se refieren a los consumos considerados para el dimensionamiento de las tuberías y obras hidráulicas en cada componente que conforma un abastecimiento de agua que se basa en la información básica, el aforo y un estudio poblacional. (Instituto de Fomento Municipal, 2011).

1) Caudal medio diario.

Procedente del resultado de multiplicar la dotación por la población futura, dividido por el número de segundos de un día:

$$Q_m = \frac{Dot * P_f}{t} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $Q_m$  es el caudal medio
- $Dot$  es la dotación en l/hab/día
- $P_f$  es el número de habitantes
- $t$  es el tiempo de un día en segundos (86400)

2) Caudal máximo diario

Existen dos métodos de determinación, el primero es mediante el registro del parámetro para la población específica. El segundo, en dado caso no existiese se puede determinar el valor mediante la utilización de un factor de 1.2 a 1.5 para poblaciones menores de 1000 habitantes y de 1.2 para mayores de 1000 habitantes.

$$Q_{md} = Q_m * F_{md} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $Q_{md}$  es el caudal máximo diario
- $Q_m$  es el caudal medio diario
- $F_{md}$  es el factor máximo diario por utilizar

### 3) Caudal máximo horario

Se obtiene mediante el caudal medio diario por medio de un factor, el cual oscila entre 2 y 3 para poblaciones menores a 1000 habitantes y de 2 para poblaciones mayores a 1000 habitantes. La demanda varía según la hora del día, en las horas de la noche el consumo sería mínimo en comparación con horas de la mañana.

$$Q_{mh} = Q_m * F_{mh} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $Q_{mh}$  es el caudal máximo horario
- $Q_m$  es el caudal medio diario
- $F_{mh}$  es el factor máximo horario por utilizar

### 4) Caudal de uso simultáneo

Para el diseño de ramales de distribución debe hacerse la comparación entre los cálculos del caudal obtenidos con el factor máximo horario y el criterio de uso simultáneo. Se utilizar el mayor de ellos.

$$q = k * \sqrt{n - 1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- $q$  es el caudal de uso simultáneo no menor de 0.20 litros/s
- $k$  es el coeficiente (0.20 predial; 0.15 llena cántaros)
- $n$  es el número de conexiones o llena cántaros futuros.

### 6. Tanque de distribución

La función básica de un tanque consiste en almacenar agua en periodos donde la demanda es menor que el suministro; pues de tal forma, en los periodos donde la demanda sea mayor que el

suministro, se pueda complementar con el agua almacenada inicialmente. (López, 2004). Las funciones básicas de un tanque consisten en: compensar las variaciones de consumo a lo largo del día, poseer una reserva de agua para atender diferentes casos, y dar una presión adecuada a la red de distribución de la población. (López, 2004)

La capacidad de los tanques se define mediante las necesidades de las localidades a servir. Habitualmente en las localidades urbanas y principalmente las ciudades con alto comercio, industria y turismo, se deberá hacer un estudio que tome en cuenta un volumen que pueda cubrir dichas demandas. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Los tanques pueden construirse sobre terreno, siempre y cuando se disponga de un desnivel topográfico adecuado que permita el correcto funcionamiento; estos pueden ser: superficiales, semienterrados, o enterrados). Si no se dispone de la condición correcta de topografía el tanque deberá ser elevado.

Si el tanque corresponde a una construcción enterrada o semienterrada, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación, como: tubería de drenaje, pozos sépticos, letrinas o sitios de relleno sanitario. Para estos casos, es recomendable construir un sistema de drenaje perimetral que reduzca la contaminación.

El material del tanque debe de ser impermeable y se ha de proteger contra la posible corrosión causada por el agua. Por parte, el diseño estructural debe de resistir empujes hidrostáticos, empujes de tierra y flotación cuando se encuentre vacío. Además, hay que considerar que la placa del fondo se debe encontrar a una distancia mínima de 0.5m por arriba del nivel freático.

La geometría del tanque no posee mayor importancia, pues este puede ser: cuadrado, rectangular o circular. La forma afecta de forma directa el análisis del diseño estructural y cimentación de este. (López, 2004)

#### a. Construcción tanques de almacenamiento

Los tanques de distribución o almacenamiento realizados mediante concreto ciclópeo o de concreto, debe de cubrirse con losa de concreto reforzada, provista de boca de inspección con tapa sanitaria, para la inspección y reparación. El acceso debe estar cerca de la entrada de la tubería de alimentación para hacer afoco cuando sea necesario.

El tanque debe tener instalaciones para ventilación, rebalse y limpieza. La tubería de salida deberá tener pichacha y estar instalada a 0.10 metros sobre el nivel del piso del tanque. Si los muros son de mampostería, la parte superior debe estar tratada de tal manera que se elimine la adherencia posible con la losa. (INFOM - UNEPAR, 1997)

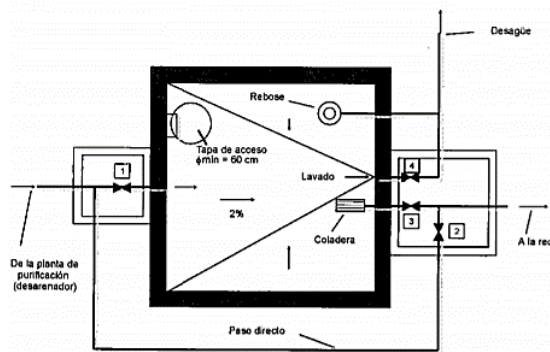
#### 1) Especificaciones para tanques enterrados, semienterrados o superficiales

- El área de localización del tanque debe aislarse mediante cerco, para evitar la entrada de personas o animales o usada para desechos.
- Colocar el tanque a una distancia y altura convenientes, respecto a cualquier fuente de contaminación. Distancia mínima horizontal de la fuente de contaminación es de 30 metros.
- Pendiente debe de ser óptima, con el fin que permita drenar hacia afuera el agua superficial.
- Fondo del tanque por encima del nivel freático.
- Paredes de los tanques enterrados, deben salir por lo menos 30 centímetros de la superficie del terreno. (INFOM - UNEPAR, 1997)

#### 2) Accesorios necesarios

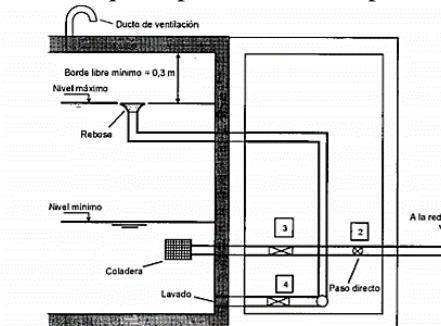
La tubería de entrada del tanque debe descargar por encima del nivel del agua y debe de tener una válvula de cierre. La tubería de salida debe estar ubicada de manera opuesta de la de entrada, pero de no ser factible se debe de realizar un apantallamiento del tanque de modo que se aumente el tiempo de retención del agua, esto mediante una coladera a 20 centímetros del fondo del tanque. (López, 2004)

Figura 5. Accesorios del tanque superficial de comportamiento simple, planta.



Fuente: (López, 2004)

Figura 6. Accesorios de tanque superficial de comportamiento simple, corte.

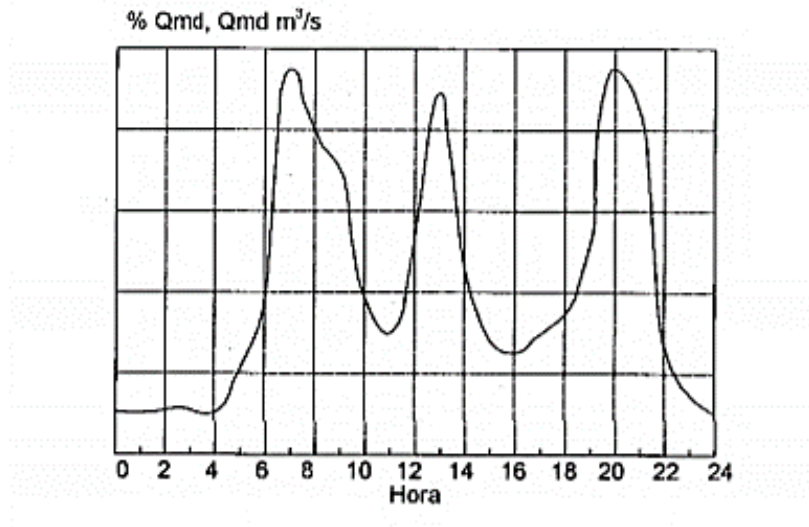


Fuente: (López, 2004)

b. Capacidad del tanque de distribución

El volumen un tanque se calcula en base a los datos de consumo de la población y su distribución horario. El consumo de la población depende de las costumbres que poseen sus habitantes; por lo que, en poblaciones pequeñas los valores serán más extremos por las costumbres semejantes, opuesto a lo que ocurre en grandes poblaciones.

Figura 7. Curva de distribución horaria del consumo de la población.



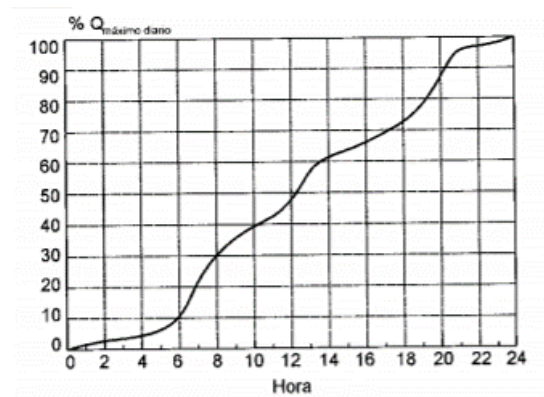
Fuente: (López, 2004)

#### 1) Método de la curva integral

Mediante la curva de distribución horaria, se obtiene la curva integral de consumo; donde se toma en cuenta los valores del consumo acumulado en periodo de 24 horas. La curva integral representa el consumo acumulativo de la población, por ende, dicha curva es de carácter ascendente.

Además, la ordenada en cualquier punto representa el consumo total hasta el momento, y la pendiente en cualquier punto representa el consumo instantáneo. Luego de determinar la curva integral de consumo, se procede a determinar la curva integral de suministro, la cual depende del tipo de tanque: alimentado por gravedad, o por bombeo.

Figura 8. Curva integral de consumo de la población.

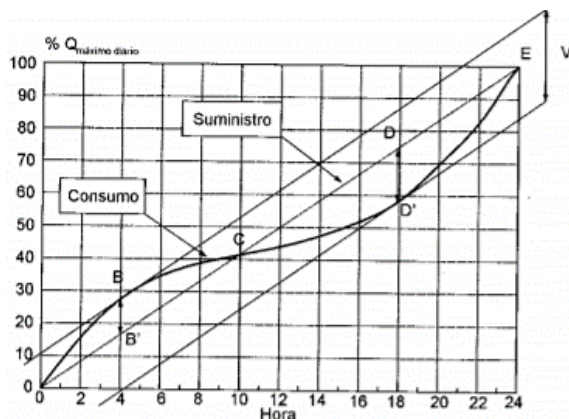


Fuente: (López, 2004)

a) Cálculo de la capacidad del tanque alimentado por gravedad.

En la *Figura 9* se puede observar la curva integral de un tanque con suministro por gravedad; en donde, la línea ABCDE representa la curva integral por consumo y la recta AE representa la curva integral de suministro para un periodo de 24 horas.

Figura 9. Curva integral del tanque regulador con suministro por gravedad.



Fuente: (López, 2004)

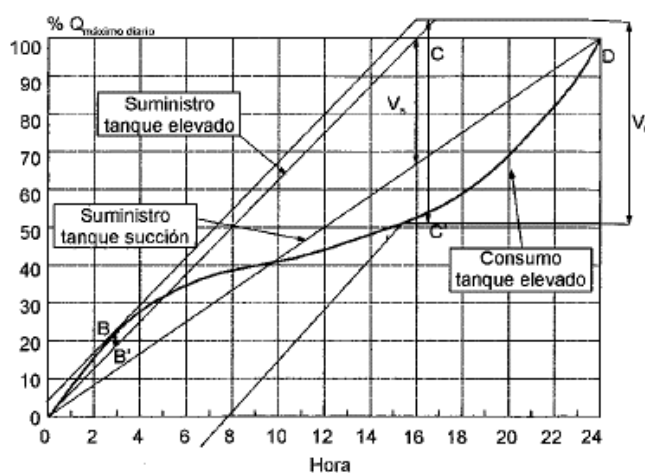
De acuerdo con la imagen, a partir del punto B al D, la pendiente de la curva es mayor, por lo que se obtiene un sobrante de agua. Luego, a partir del punto D, el consumo es menor, representando la falta de agua hasta el día siguiente al punto B.

Por lo que el segmento de volumen máximo está representado por BB' y el máximo sobrante por DD'. Por lo que el volumen total del tanque será la representación de la suma algebraica de los dos segmentos mencionados anteriormente. Para regulación de demanda el volumen podrá incrementar en un 20%, según norma. (López, 2004)

b) Cálculo de capacidad del tanque elevado alimentado por bombeo

La manera de operar un sistema de bombeo es mediante aumentos económicos; pues entre más horas de bombeo, menor será la capacidad del tanque, pero mayores serán los costos de operación. Sin embargo, en caso de que el bombeo sea continuo durante el día la determinación de la capacidad del tanque se hará de la misma manera que la de un tanque suministrado por gravedad.

Figura 10. Curva integran de tanque suministrado por



Fuente: (López, 2004)

## 2) Método de factores empíricos

Existen casos en donde no se encuentra información para llevar a cabo la curva de distribución horaria de población. Por lo anterior, el INFOM ha establecido el cálculo del volumen de la demanda a partir de porcentajes empíricos. Se considera para el diseño el 25% a 40% del caudal medio diario para los sistemas de gravedad, y de 40% a 65% cuando el tanque es alimentado por sistemas de bombeo. (Instituto de Fomento Municipal, 2011)

### 7. Dimensionamiento del tanque superficial

Al obtener el volumen del tanque, se prosigue con el predimensionamiento. El cual depende de la profundidad; pues a mayor sea esta, mayor será el costo de los muros perimetrales, y menor el de las placas del fondo y de la cubierta. Por otro lado, si es menor la profundidad; será viceversa.

Si se desea que el largo y la anchura del tanque sean iguales, el dimensionamiento dependerá de la altura. Por lo que, primero se divide el volumen entre la altura deseada y luego se saca la raíz cuadrada de lo obtenido de dicha división.

### 8. Pérdidas de agua

Se conoce como pérdidas de agua a la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua utilizado por los usuarios. Las pérdidas totales se pueden clasificar como pérdidas técnicas o físicas; entre estas se encuentra: fugas de red, tanques de almacenamiento y errores en

medición de consumo. Y las pérdidas comerciales debidas a las conexiones clandestinas y a deficiencias de cobertura al momento de medición del consumo. El índice de pérdidas (%P) se define como:

$$P(\%) = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen consumido}}{\text{Volumen producido}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Asimismo, existen índices máximos dependiendo de la población. Para el caso de sistemas con baja capacidad técnica y económica el porcentaje de pérdida máximo es de 40%, mientras que un sistema con alta capacidad técnica y económica es un máximo de 20%. En el caso de entidades que prestan el servicio, debe oscilar un índice entre 10% y 15%. (López, 2004)

#### 9. Equipamiento de un pozo

Tras la perforación y aforo del sondeo se realiza el diseño del equipamiento del pozo. Para un equipamiento electromecánico se definen las siguientes instalaciones:

##### a. Instalaciones hidráulicas

El dispositivo más importante de las instalaciones eléctricas es el equipo de bombeo. Las bombas más comunes utilizadas para la extracción de agua subterránea son la de eje horizontal, eje vertical y grupo electrobomba sumergible. Es importante tener en cuenta algunos datos básicos para poder dimensionar el grupo de bombeo. Por lo que se debe obtener:

- Caudal máximo, niveles estáticos y dinámicos, al igual que la calidad del agua.
- El diámetro útil de la entubación del revestimiento, posición de cada uno de los filtros y profundidad.
- La cota del punto de entrega del agua y presión en el mismo y pérdidas de carga en la conducción.

Se debe considerar la ubicación, el caudal de explotación y la altura de elevación para la selección del equipo de bombeo. El equipo se debe ubicar dentro de un tramo de tubería de revestimiento ciega para evitar la posible entrada de arena. La cámara de bombeo debe de tener algún filtro por debajo que aporte agua para garantizar que haya un flujo de agua ascendente circulando a lo

largo del motor de la bomba. El equipo de bombeo debe ubicarse por debajo del nivel dinámico, evitando así el fenómeno de cavitación.

El caudal de explotación se utiliza para diseñar el grupo de bombeo a instalar en el pozo. Debido a la falta de información para el cálculo del descenso total del nivel piezométrico, así como el descenso real que se crea en el pozo para un determinado caudal de bombeo, se calcula el caudal de explotación mediante la aplicación de un coeficiente corrector al caudal máximo de aforo.

El coeficiente está en función de los años del acuífero o tipo de acuífero del pozo, el caudal de explotación se puede acotar entre el 65% y el 85% del caudal máximo de aforo, esto con el fin de tomar en cuenta las influencias de otros pozos. La altura de elevación es la suma del nivel dinámico de bombeo, de las pérdidas de carga en el sistema y de la diferencia de cota con el punto de entrega. Se le aplica un coeficiente corrector que aumenta el nivel dinámico máximo de aforo, siendo recomendable incrementarlo un 20%.

Con los valores determinados del caudal de explotación y de la altura manométrica, se consultan catálogos de los fabricantes. A partir de la curva característica de los grupos de bombeo se elige la que brinde mejor rendimiento. La velocidad de circulación del agua en el motor debe ser inferior a 3.5 m/s, evitando así el flujo turbulento. (Martín, 2016)

#### b. Instalaciones eléctricas

Para ello, se deben tomar en cuenta varios dispositivos para el correcto funcionamiento, entre ellos se mencionan los siguientes:

- Transformador de potencia: Se colocan en el caso de haber presencia de energía en alta tensión. Causando una disminución en la tensión de funcionamiento del grupo de bombeo. Las tensiones bajas de funcionamiento más habituales son: 400 V, 500 V, 690 V o 1,000 V. Para el dimensionamiento del transformador se debe de calcular la potencia aparente (S), siendo:

$$S = \frac{P_{abs.mot}}{\cos\theta} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- $S$  es la potencia aparente (KVA)
- $P_{abs.mot}$  es la potencia absorbida por el motor del grupo de bombeo (KW)
- $\cos\theta$  es el factor de potencia de la instalación

La potencia absorbida por la bomba es igual a:

$$P_{abs.g.bom} = \frac{9.81 * Q * H_m * \rho}{1000 * \eta_b} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$P_{abs.mot} = \frac{P_{abs.g.bom}}{\eta_m} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- $Q$  es el caudal de bombeo (L/s)
- $H_m$  es la altura manométrica (m)
- $\eta_b$  es el rendimiento de la bomba, grupo de bombeo
- $P_{abs.g.bom}$  es la potencia absorbida por el motor del grupo de bombeo (KW)
- $\rho$  es la densidad del fluido a elevar

Los valores de rendimiento de la bomba, del motor y del factor de potencia del grupo de bombeo son tomados de la curva característica y de la ficha técnica.

- Cables de alimentación: Transportan la energía eléctrica desde el secundario del transformador hasta la electrobomba. Los cables suelen ser de cobre con aislamiento de etileno – propileno (EPR) o etileno – propileno de alta densidad (HEPR). La intensidad máxima y caída de tensión para cable que conecta el transformador con el cuadro de protección y control. Se determinan de la siguiente manera:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I * \cos\phi}{S} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- $\Delta V$  es la caída de tensión.
- $S$  es la sección del cable ( $\text{mm}^2$ ).
- $I$  es la intensidad máxima suministrada por el transformador (A).
- $\rho$  es la resistividad del conductor ( $\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ ).
- $L$  es la longitud del cable (m).

La intensidad absorbida por el motor y la caída de tensión para el cable de alimentación al motor del grupo de bombeo. Se determinan de la siguiente manera:

$$I_{abs.mot} = \frac{P_{abs,mot}}{\sqrt{3} * V * \eta_m * \cos\phi} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- $P_{abs,mot}$  es la potencia absorbida por el motor.
- $\eta_m$  es el rendimiento del motor.
- $I_{abs.mot}$  es la intensidad absorbida por el motor.

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * (R * L * \cos\phi + X * L * \sin\phi) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- $\Delta V$  es la caída de tensión.
- $R$  es la resistencia óhmica ( $\Omega/\text{km}$ ).
- $L$  es la longitud del cable (m).
- $X$  es la reactancia ( $\Omega/\text{km}$ ).

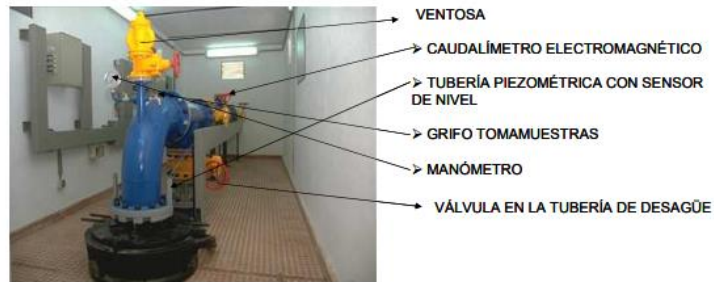
La caída de tensión se calcula para el momento de arranque, que es cuando se produce el mayor pico de tensión consumida. La intensidad de arranque es cinco veces la intensidad nominal del motor. (Martín, 2016).

### c. Instalaciones de control y protección

Son los dispositivos que controlan el proceso de explotación del pozo, facilitando y automatizando los arranques y paradas del grupo de bombeo. Algunos componentes para proteger la

instalación son: analizador digital de redes, amperímetro analógico, relé de protección integral y protección diferencial. También se instala una batería de condensadores para corregir la energía reactiva que se genera en el sistema (Martín, 2016).

Figura 11. Elementos de control y protección



Fuente: (Martín, 2016)

d. Obra civil y urbanización de la parcela

Los elementos encontrados dentro de la parcela del pozo suelen ser:

- Centro de Alta tensión: casetas prefabricadas de hormigón, ya listas para el alojamiento de los centros de transformación y cabinas de protección, así como del cuadro de control y del variador de frecuencia.
- Centro de Baja tensión: cumplen los mismos requerimientos de los centros de alta tensión.
- Arqueta del pozo: dentro de ellas debe de ir la boca del pozo y el final de la tubería de impulsión.

Cerramiento de la parcela: parcela vallada y cerrada, cuyo acceso solo lo tienen las personas autorizadas y capacitadas, evitando así la contaminación del pozo. (Martín, 2016)

10. Bombas

Máquina hidráulica que transforma energía, de un tipo a otro. Corresponde a una maquina generadora que trabaja con un determinado fluido incompresible en la que se produce transformación de energía mecánica a energía hidráulica. El objetivo principal de la bomba es transmitir energía a un líquido para permitir su transporte a una instalación específica, mediante un aumento de la presión a la salida de la bomba. (Valdez, 1990).

### a. Clasificación de máquinas hidráulicas

Las máquinas se pueden clasificar según el sentido de transmisión de la energía entre el fluido y la maquinaria

#### 1) Máquinas volumétricas

La energía en este caso se realiza mediante presión. Las bombas funcionan mediante un desplazamiento positivo y su movimiento puede ser alternativo o rotativo. El fluido en este caso circula a través de la bomba en forma de paquetes discretos separados unos de otros. Es necesario que posean una válvula de impulsión cerrada para asegurar el límite de presión máxima. Posee distintos elementos para transportar el fluido y de tal forma se impida su regreso y dañe el equipo.

#### 2) Máquinas rotodinámicas o turbomáquinas

El intercambio de energía se produce mediante la transferencia de cantidad de movimiento; por lo que, la variación del momento cinético que experimenta el fluido al atravesar el rodete de la máquina. En este caso la maquinaria utiliza uno o varios rodetes para comunicar la energía del fluido. Debido a que su movimiento es rotativo, también se le conocen como bombas centrífugas. En este caso, el factor que se ve afectado es la velocidad.

#### 3) Máquinas gravimétricas

Intercambio de energía se da en forma de energía de posición; por lo que es energía potencial. Por lo anterior, es la altura de elevación la que se ve afectada siempre.

### b. Diseño de estaciones de bombeo

- Periodo de diseño: la vida útil de las estaciones de bombeo es menor a otros elementos que conlleva el sistema, por lo que el periodo de diseño para caudales pequeños en zonas rurales puede ser de 15 años y para proyectos de mayor tamaño para comunidades más grandes puede ser de 30 años.
- Caudal de bombeo: el caudal de bombeo es utilizado en líneas de conducción por bombeo. Este está dado por:

$$Q_b = \frac{Q_{md} * 24}{No. horas de bombeo}$$

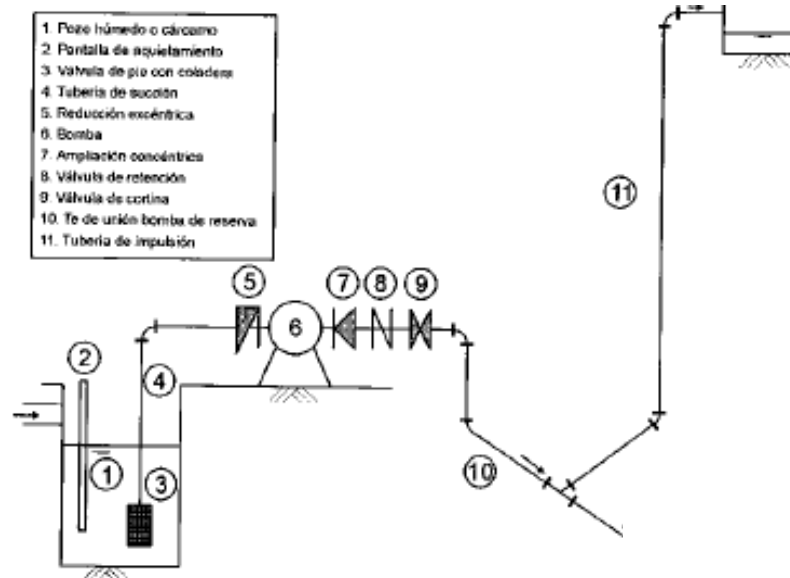
Ecuación 14

Donde:

- $Q_b$  es el caudal de bombeo (lt/s)
- $Q_{md}$  es el caudal máximo diario (lt/s)
- *No. horas de bombeo* depende del motor:
  - o Para motor diésel un máximo de 12 horas.
  - o Para motor eléctrico un máximo de 18 horas.

c. Elementos de la estación de bombeo

Figura 12. Elementos de una estación de bombeo.



Fuente: (López, 2004)

- Pozo húmedo: cámara utilizada para almacenar el fluido, que es conectado a la tubería de succión de una bomba.
- Pantalla de quietamiento: se coloca para disipar energía del agua en el punto de entrada; sin embargo; no siempre es necesaria.
- Válvula de pie con coladera: impide la entrada de distintos sedimentos o elementos ajenos a la bomba que la puedan dañar. Este elemento se coloca si la succión es negativa, si la succión es positiva no es necesaria.
- Tubería de succión: la tubería de succión debe de estar correctamente armada para evitar cualquier entrada de aire que dañe el sistema. Por lo anterior, el diámetro de la

tubería de succión no debe ser menor que el diámetro de la tubería de impulsión y tampoco del orificio de entrada a la bomba.

- Reducción excéntrica: si en dado caso a tubería de succión es mayor que la entrada de la bomba se debe realizar una reducción excéntrica y así evitar la acumulación de aire.
- Bomba: para seleccionar la bomba se deben tomar distintas características, como: caudal, altura dinámica y eficiencia de la bomba. Y además es necesario tomar en cuenta características que afecten los costos del sistema, como: diámetro de tuberías, volumen y tiempo de bombeo.
- Ampliación concéntrica: en el caso de la impulsión no existen problemas con la generación de espacios de aire, por lo que si se necesita cambios de diámetros estos pueden ser concéntrico. La tubería debe ser mayor o igual al orificio de salida de la bomba.
- Válvula de retención: permite el paso de agua en la dirección del bombeo y por ende, evitar que el flujo regrese y se dañe la bomba. Sin esta válvula, al detener el bombeo toda la cabeza estatica de impulsión quedaría actuando sobre el rodete y por consiguiente, sobre eje de la bomba lo cual ocasionaria los daños a largo plazo. (López, 2004)
- Válvula de compuerta: su objetivo principal es facilitar el proceso de mantenimiento o reparación cuando sea necesario. Es una válvula de alta capacidad y bajo costo, su funcionamiento es sencillo de comprender.
- Tubería de impulsión: la velocidad de la tubería de impulsión debe de estar dentro de  $0.6 m/s^2 - 2m/s^2$ . En esta tubería es necesario realizar un análisis por sobrepresión provocado por el golpe de ariete. Se debe de realizar un estudio del diámetro más económico, evaluando un rango de diámetros mediante la evaluación de los límites de velocidad.

#### d. Sobrepresión – Golpe de ariete

El golpe de ariete es el encuentro que se produce entre el fluido transportado y las paredes del conducto. Por lo que, consiste en la sobrepresión que la tubería recibe al final la impulsión del fluido a un tanque de almacenamiento. El golpe de ariete se presenta en forma de onda oscilatoria que viaja a lo largo de la tubería. El primer pico de dicha onda corresponde a la elevación máxima y tiene la misma magnitud para el golpe de ariete negativo como positivo. (Toledo, 2009)

Por lo anterior, se calcula la celeridad, también conocida como la velocidad de onda elástica, en parámetros de instalación del sistema. La ecuación por utilizar es la de continuidad y se ve delimitada por la geometría y mecánica de la línea de conducción.

$$C = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E}\right) * \left(\frac{Q_i}{e}\right)}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- $C$  es la celeridad de la onda elástica del fluido ( $m/s$ )
- $K$  es el módulo de elasticidad del fluido ( $N/m^2$ )
- $\rho$  es la densidad del liquido ( $kg/m^3$ )
- $Q_i$  es el diámetro interno de tubería ( $m$ )
- $E$  es el módulo de elasticidad de tubería ( $N/m^2$ )
- $e$  es el espesor de la tubería ( $m$ )

Al determinar la celeridad de la onda, se debe de calcula el valor de sobrepresión mediante el cambio de presión.

$$AP = \frac{V * C}{g} \quad \text{Ecuación 16}$$

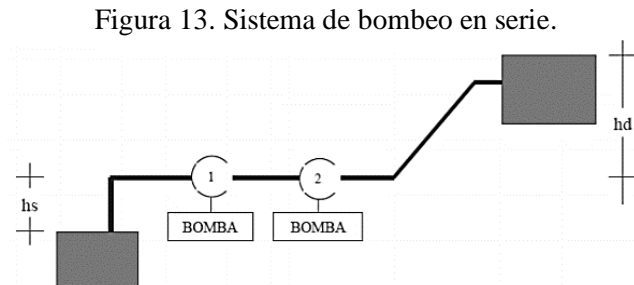
Donde:

- $AP$  es la diferencia de presión ( $m. c. a$ )
- $C$  es la celeridad de la onda elástica del fluido ( $m/s$ )
- $V$  es la velocidad del fluido en tubería ( $m/s^2$ )
- $g$  es la gravedad

e. Sistemas de bombeo

1) Serie

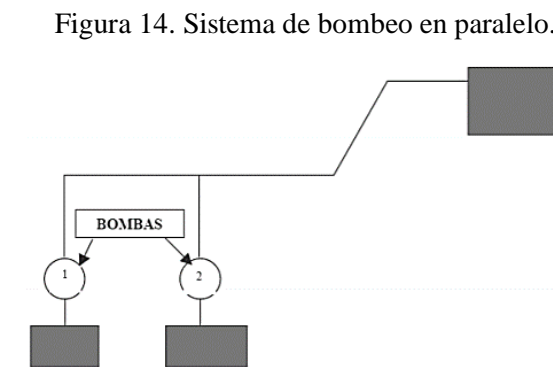
Los sistemas en serie se utilizan para aumentar la altura dinámica total, pues se acoplan dos o más bombas. Dichas bombas pueden ser diferentes. En caso de tener dos bombas; la succión de la bomba 2 se alimenta de la descargar de la bomba 1. (Suárez, 2010)



Fuente: (Suárez, 2010)

2) Paralelo

Son bombas operando paralelamente, este sistema mantiene una presión constante de bombeo para aumentar el caudal. Cada una de las bombas corresponde a una fuente de agua. Llegando a un punto de unión de las líneas de conducción. (Suárez, 2010)

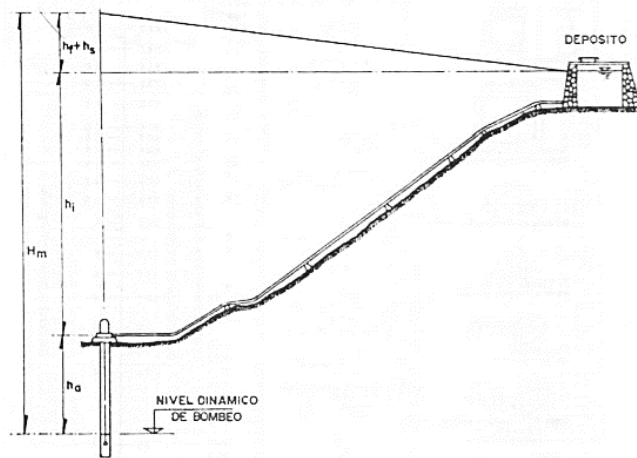


Fuente: (Suárez, 2010)

### 3) Cálculo hidráulico

La bomba hidráulica tiene a producir un salto brusco en el gradiente hidráulico que hace referencia a la energía dinámica comunicada al agua por la bomba. La carga dinámica total es mayor a la carga total de elevación con la que trabaja la bomba para tener la capacidad de dominar todas las pérdidas de energía en la tubería. Por lo que la carga dinámica total indica la energía dada al agua a su paso por la bomba. (Valdez, 1990) .

Figura 15. Ilustración para determinar la carga dinámica total.



Fuente: (Valdez, 1990)

$$CDT = h_d + h_s + h + h_i + \frac{v^2}{2g} + h_m \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

- $CDT$  es la carga dinámica total (m)
- $h_d$  es la altura del nivel dinámico a la boca del pozo
- $h_s$  es la pérdida de carga en la línea de succión
- $h$  es la altura del eje de la bomba a la de descarga
- $h_i$  es la pérdida de carga en línea de impulsión
- $\frac{v^2}{2g}$  es la pérdida por velocidad
- $h_m$  son las pérdidas menores (10% de las pérdidas de impulsión)

## 11. Cloración

Considerado un desinfectante ideal, pues es económico y de fácil empleo; sin embargo, requiere precaución con el manejo de dosis. Se considera un medio de desinfección económico comparado con otros. Para que el cloro sea efectivo se debe de dejar un tiempo determinado de contacto con el agua, este radica de 15 a 20 minutos. El equipo utilizado para la cloración debe de ser resistente a la corrosión, pues el cloro es un elemento muy corrosivo.

### a. Tipos de cloro empleados

- Hipoclorito de Calcio: la presentación consiste en tabletas, polvo o granular. Se aplica directamente al fluido o se puede realizar mediante una preparación previa mediante solución acuosa. Posee un color blanquecino y las presentaciones de venta es mediante cubetas o tarros del componente; estos poseen un cloro activo del 70%. (Comisión Nacional del Agua, 2016)
- Hipoclorito de Sodio: su presentación es de forma líquida en distintas concentraciones. Líquido de color amarillo verdoso, suministrado mediante envases plásticos de 20 y 50 litros. Posee un contenido de cloro activo del 13%.
- Cloro gaseoso: consiste en cloro en estado gaseoso, pero al aplicarle presión a baja temperaturas pasa a ser líquido. Es de color ámbar, donde su peso es 1.5 veces más que el agua. El cloro líquido se utiliza en sistemas de acueductos de gran tamaño y para instalaciones pequeñas se utiliza el cloro gaseoso.

### b. Cloradores

- Cloradores a presión. El cloro se inyecta en estado gaseoso, mediante cilindro. Estos tienden a ser más costosos pero su ventaja radica en que no tienen la necesidad de suministrar adicionalmente agua y energía eléctrica. Funciona de la siguiente manera: el gas entra a presión que el cilindro posee y llega a válvula reguladora que reduce la presión. Luego pasa a un medidor de caudal y a un sistema de ajuste que permite fijar el flujo. Por último, el cloro se inyecta a la tubería mediante difusor. Además, estos

equipos poseen una válvula de seguridad para que no exista un exceso de presión y de tal manera evitar cualquier incidente.

- Cloradores de vacío. Su construcción se basa en un tubo de Venturi, el cual produce una presión negativa que se transmite por medio de los dispositivos internos del clorador. Son cloradores más seguros y confiables. Estos cloradores, poseen varios accesorios para su correcto funcionamiento, los cuales son: manómetro, válvula reguladora de presión, rotámetro, regulador de caudal, válvula de seguridad, inyector, y válvula de drenaje.

### c. Operación de cloradores

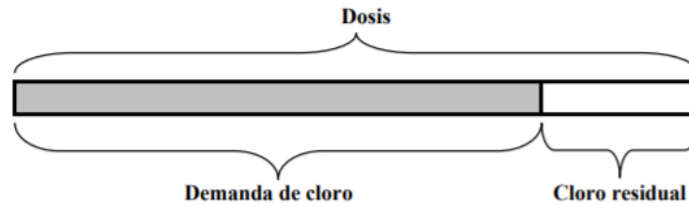
- Simple con determinación ocasional de cloro: se ajusta el clorador para que inyecte dosis predeterminada de cloro. Este tipo de operación se recomienda cuando la demanda de cloro y caudal de la planta no varíe con mucha frecuencia. Recomendado en plantas de menor tamaño.
- Con analizador permanente y alarma: permite el uso de alarmas y cajas registradoras que pueden indicar si existe algún fallo en el sistema de dosificación. Para su realización es necesario determinar la demanda del cloro y el caudal tratado; por lo anterior, se recomienda para plantas de menor tamaño, donde no varíe la frecuencia de los parámetros mencionados.
- Ajuste de dosis proporcional al flujo: constituye un circuito abierto, donde las lecturas se registradas de presión diferencial son convertidas a impulsos eléctricos. Estos últimos provocan que el mecanismo aumente, disminuya o cierre el dosificador de cloro.
- Ajuste proporcional a la demanda: método para circuito cerrado, donde después de 15 a 30 segundos de haber inyectado el cloro, el medidor de cloro residual toma una muestra para determinar si se modifica o no la tasa de cloración. Es ideal, cuando la demanda de cloro varía constantemente.
- Ajuste de dosis proporcional a la demanda de cloro como al flujo tratado: el sistema de cloración posee un orificio de regulación del cloro que es manejado por la diferencia de presiones del sistema, y a la vez analiza el cloro residual de acuerdo con la demanda. Su uso es recomendable en plantas de mayor tamaño, donde existe variación de los

parámetros mencionados. El equipo es automático y únicamente se necesita vigilancia del sistema.

d. Determinación de cloro a dosificar

La cantidad de cloro a dosificar debe ser equivalente a la demanda total de cloro a la que se le adiciona la cantidad de cloro residual. Es necesario realizar previamente ensayos de consumo instantáneo de cloro denominado “Ensayo de demanda de cloro” (ver *Figura 16*).

Figura 16. Demanda del cloro.



Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

En caso no llevar a cabo el ensayo, se debe de realizar la desinfección de manera progresiva con cantidades crecientes de cloro hasta obtener la concentración residual requerida. Para ello debe existir un control de intervalo de tiempo; ya que, mediante el tiempo se puede determinar el tiempo que transcurre para el trayecto del agua desde el punto de aplicación hasta el punto de más alejado de la red. (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

e. Guía técnica.

El ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud, elaboraron una guía técnica que posee criterios básicos recomendados para el tratamiento y la desinfección del agua para consumo humano por medio de cloro. Y posee recomendaciones para manipulación y almacenamiento de agua. (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, 2006)

De acuerdo la guía, se puede determinar la cantidad de cloro líquido o granular a dosificar de acuerdo con el uso que se le dará al agua y al volumen que se quiera clorar. También se puede calcular el peso del cloro, mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{V * D}{C * 10}$$

Ecuación 18

Donde:

- $P_c$  es el peso del cloro
- $V$  es el volumen del agua
- $D$  es la dosis del cloro
- $C$  es la concentración de cloro

## G. Agua pluvial

### 1. Agua de lluvia

La lluvia es un fenómeno atmosférico en donde cae agua en forma de precipitación, se da gracias a la condensación del vapor de agua contenido en las nubes cuando estas atraviesan capas de aire frío. De acuerdo con Cahuex (2005), la lluvia se define como la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor de 0.5 mm. Mientras que, la llovizna consiste en gotas de agua de diámetro inferior a 0.5 mm y su intensidad es inferior a 1 mm/h.

En el ciclo hidrológico, la precipitación se da cuando asciende el vapor de la atmósfera junto con el agua de evapotranspiración, al elevarse las temperaturas se tornan frías y hacen que se condensen las nubes. Luego, las partículas de las nubes chocan, crecen y se da la precipitación, la cual se da en forma de lluvia, granizo o nieve (Cahuex, 2005).

Se considera una lluvia excesiva si llueve más de 2000 mm en una zona, se llamará lluvias abundantes si anualmente se alcanza 1000 a 2000 mm. Mientras que, las lluvias escasas son de 200 a 500 mm de agua anualmente, si las lluvias son por debajo de 200 mm anuales, se consideran insuficientes. La lluvia depende de la presión, temperatura y la radiación solar. Las mediciones de precipitación pueden realizarse mediante un pluviómetro, pluviógrafo, radar o uso de satélites (Poo, 2011)

El régimen de lluvia en la región de Guatemala manifiesta una distribución temporal y espacial muy variada. La época de lluvia es entre mayo y octubre, siendo la época donde cae del 75 al 95% de la precipitación anual (Cahuex, 2005).

De igual forma, se puede presentar la lluvia ácida, la cual posee una elevada concentración de ácido sulfúrico y nítrico. Esta es causada por la descomposición de la capa vegetal, erupciones volcánicas y la quema de combustibles fósiles en fábricas, automóviles, etc. El pH de la lluvia ácida es menor a 5.6 unidades, cuando el agua potable posee un pH de 7. La lluvia ácida les roba nutrientes a los suelos, afecta a algunas especies, reducen la resistencia de los árboles, etc. (Cahuex, 2005).

## 2. Sistemas de captación

Los sistemas de captación de agua pluvial se utilizan para recolectar y filtrar el agua de lluvia, la cual es captada en una superficie determinada, para luego ser almacenada en un contenedor. El agua tratada se distribuye en una red hidráulica independiente de la red de agua potable. Los sistemas de captación de agua pluvial deben de considerar un área de captación, un sistema de conducción, el área de filtro y tratamiento y almacenamiento.

### a. Área de captación del agua de lluvia

El área de captación es la superficie en donde cae la lluvia, ésta debe tener un tamaño suficiente para cumplir con la demanda, debe de ser uniforme, libre de roturas y fugas, y deben limpiarse regularmente. Los materiales con los que están construidas estas superficies no deben desprender olor, color y substancias que puedan contaminar el agua pluvial. El agua puede ser recolectada en techos, patios, explanadas, caminos pavimentados, suelo y cualquier superficie no permeable por donde escurra lluvia y sea factible recolectarla (Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales, 2011).

El cálculo del área de captación de lluvia se logra haciendo mediciones directas o viendo los planos de la construcción existentes, pero se debe considerar únicamente las áreas en donde se podrá recolectar el agua y enviarlo al tanque de almacenamiento. A veces, las casas tienen partes del techo de donde es difícil transportar el agua al almacenamiento, por lo que deben de ser excluidas (Adler, 2008).

La cantidad de agua que se obtendrá depende del área de captación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un milímetro de agua en un metro cuadrado es igual a tener un litro de agua. Igualmente,

siempre habrá un porcentaje de pérdida según el material del área de captación y conducción. Si el área de captación posee un ángulo de inclinación, el cálculo se debe realizar con las medidas que obtengan en la proyección vertical de la misma, puesto que si la lluvia llega con viento ésta puede caer con el mismo ángulo de inclinación para hacer efectiva el área disponible (Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales, 2011).

### 1) Techos

Algunos de los materiales más usuales para su construcción son: lámina galvanizada, teja, madera, paja y concreto. La superficie debe permitir el escurrimiento y ser impermeable. Se debe usar un tratamiento de impermeabilización sobre la superficie o usar un material impermeable que no desprenda residuos (Hernández, 2013).

Figura 17. Techo de una escuela, como un área de captación



Fuente: (Hernández, 2013).

El techo debe tener la superficie y pendiente adecuada para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción. De acuerdo con Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural (2001), los porcentajes de escurrimiento dependerán del material con el que se construya el techo de la vivienda, como se observa a continuación.

Cuadro 13. Eficiencia de escurrimiento del material del techo.

Porcentajes de Escurrimiento	
Material	Eficiencia (%)
Lámina metálica	90
Teja de arcilla	80 – 90
Madera	80 – 90
Concreto	80 – 90
Paja	60 – 70

Fuente: (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

## 2) Techos cuenca

Estructuras diseñadas para la recolección directa del agua de lluvia a nivel comunitario. Está compuesta por un techo, que funciona como área de captación y retardador de evaporación. El techo con pendiente de 5%, está conformado por dos superficies que convergen en un canal central por gravedad, para transportar el agua recolectada a la cisterna. También, se compone de un tanque de almacenamiento, donde se instala un piezómetro en la pared externa del tanque para indica el nivel de agua. El sistema de conducción consiste en una válvula de salida, continuada por una tubería y al final de ella hay una llave para el uso público (Hernández, 2013).

Figura 18. Techo cuenca de la Comunidad del Tecongo



Fuente: (Guzmán, 2014).

## 3) Suelo o laderas

Al ser el área de captación insuficiente en un techo, se puede recurrir a utilizar el suelo. Mediante movimiento de tierras y un recubrimiento impermeable como una geomembrana, plástico tratado o concreto, se puede elaborar un área de captación o almacenamiento.

Figura 19. Ladera recubierta con concreto en forma de abanico.



Fuente: (Hernández, 2013).

Sin embargo, en este tipo de captación se necesitan conocer la topografía, clima y geología. Así como, la precipitación media mensual y anual para estimar el volumen de agua, variación de

temperatura para conocer el porcentaje de pérdida de agua por evaporación. Adicionalmente, las características de la flora servirán para determinar el mejor filtro a utilizar, para reducir la cantidad de materia orgánica que puede ingresar al tanque de almacenamiento. Todos estos factores por considerar servirán para los cálculos respectivos de excavación, relleno y compactación (Hernández, 2013).

Cuando se utiliza geomembrana, es recomendable realizar una buena compactación del terreno a fin de no dañarla, en la mayoría de los casos se utiliza un rodillo pata de cabra y rodillo con ruedas neumáticas que ejercen presiones superiores a 9 kg/cm<sup>2</sup> (Pizarro, 2015).

Figura 20. Sistema de captación de agua de lluvia con geomembrana



Fuente: (Guzmán, 2014).

### 3. Sistemas de conducción

Se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes formas y materiales que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubos de PVC.

#### a. Canaletas

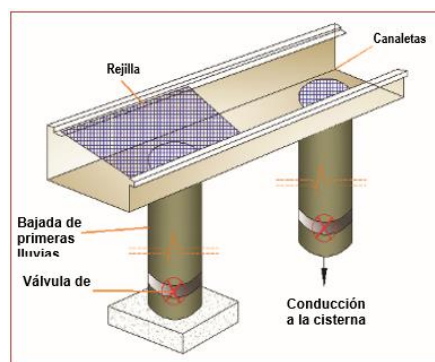
Su función es colectar el agua que ha escurrido por el techo y conducirlo hasta el tanque de almacenamiento. El ancho óptimo de una canaleta se encuentra entre los 20 y 30 cm. La profundidad depende del escurrimiento, incluyendo el agua que se acumule por la lenta entrada al tubo y el paso por el filtro, está entre 10 a 20 cm (Hernández, 2013).

Se debe colocar la canaleta lo más cercano al borde del techo para maximizar la captura del agua. Así como, posicionarla en un ángulo donde pueda conducir el agua al entubamiento y que no se

empoce, o que este lo lleve a la dirección contraria a la deseada. No obstante, un ángulo muy inclinado no es recomendado puesto que puede alejarse del borde y habría pérdidas (Hernández, 2013).

Hay diversos materiales con los que elaboran las cunetas, tales como: madera, aluminio, lámina galvanizada, cobre, acero e incluso pueden ser mitades de tuberías de PVC. Sin embargo, se recomienda que el material de las canaletas sea liviano, resistente al agua y fácil de unir para evitar fugas de agua. La selección del tipo de cuneta será con relación a su costo. Actualmente, se le pueden colocar mallas a las canaletas con el fin que el agua que se recolecte no se contamine con restos orgánicos u hojas (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

Figura 21. Canaleta con rejilla y válvula para las primeras lluvias.



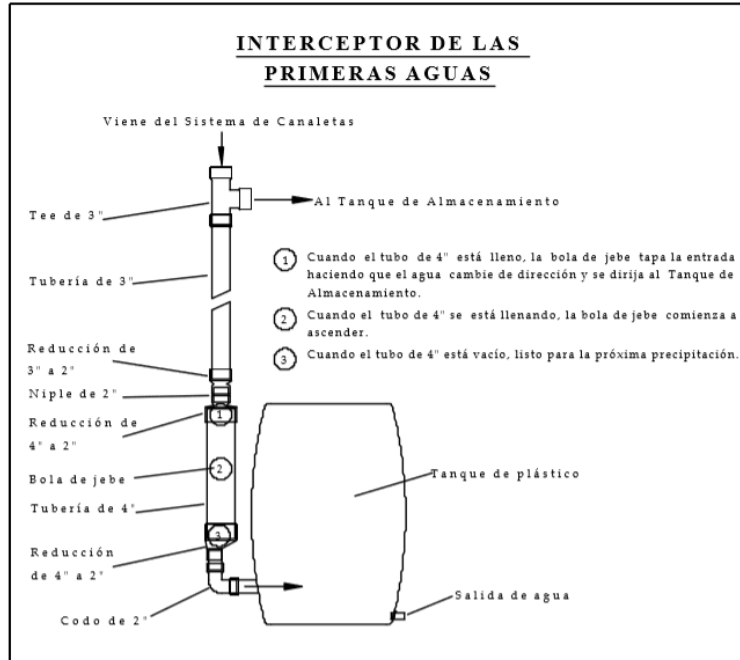
Fuente: (Hernández, 2013).

#### 4. Interceptor de primeras aguas

Es un dispositivo donde ingresan las primeras aguas que contribuyen al lavado del techo y contiene los materiales o suciedad que se encontraban en él al inicio de la lluvia. De modo que, impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

En el diseño del tanque se debe considerar que el volumen de agua que se necesita para lavar el techo es de 1L por m<sup>2</sup> de techo. Por lo general, el interceptor es un tanque de plástico, que se diseña con base en el área del techo (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

Figura 22. Interceptor de las primeras aguas.



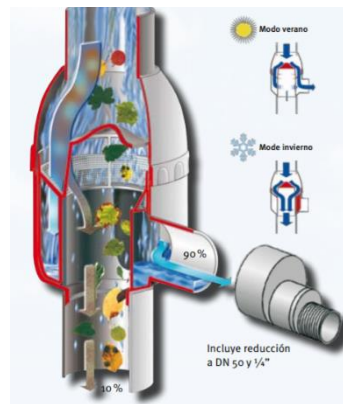
Fuente: (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

## 5. Filtros

La filtración es el proceso en donde se separan los sólidos del líquido en el que está suspendido, al hacerlo pasar a través de un medio poroso o filtro. Actualmente, hay una variedad de filtros especiales para el agua de lluvia, llamados filtros de bajante que incluyen un sistema de separación de sólidos que lo tienen integrado internamente.

Estos pueden limpiarse solos, hacen la función de rebosaderos, pueden tener cambios de modo verano a invierno, se conectan al tanque de almacenamiento y requieren de poco mantenimiento. Se tiene diversos modelos, los cuales se seleccionan por el tamaño de la superficie del techo y la forma de la bajada que puede ser rectangular, circular u ovalada (Garantía, 2015).

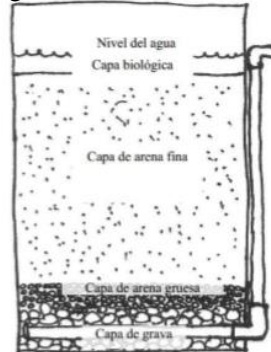
Figura 23. Filtro de bajante



Fuente: (Garantía, 2015).

Así mismo, hay filtros caseros, que se elaboran con grava, arena, carbón activado y un recipiente plástico u otro material. La capa de arena fina actúa como una barrera física para atrapar partículas suspendidas, protozoos y helmitos. Las capas de arena gruesa y grava sirven para filtrar más el agua y evitar que la arena fina salga junto el agua (Guzmán, 2014).

Figura 24. Filtro casero



Fuente: (Guzmán, 2014).

Pese a que el agua de los techos es de buena calidad sobre todo ya filtrada, no se garantiza la ausencia de bacterias u otros microorganismos. Se debe tener un buen almacenamiento del agua y debe clorarse o hervirla para que sea apta para el consumo humano. Es recomendable colocar tuberías en el tanque para que transporten el agua, de esta forma se evita abrir constantemente el tanque de almacenamiento y así se reduce la contaminación (Hernández, 2013).

## 6. Almacenaje pluvial

El agua captada puede almacenarse en tanques de diferentes materiales, estos pueden guardar agua durante la estación de lluvia y una reserva para la estación seca. Sin importar el material, los

tanques siempre deben estar lo más limpio posible al inicio de las lluvias, debe de realizarse una revisión periódica de la limpieza y de la calidad del agua, ya que de esto depende el tiempo durante el cual se puede almacenar agua para mantener su potabilidad. Es ideal dejar un drenaje en el fondo del tanque para vaciarlo fácilmente, esto contribuye a que la limpieza sea rápida (Hernández, 2013).

Igualmente, el tanque debe poseer una tapadera que cierre bien para impedir la entrada de material contaminante y que disminuya las pérdidas por evaporación. Así como, disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande para permitir el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias. Adicionalmente, el tanque no debe de tener fugas en sus paredes o fondo, así se evita pérdidas, contaminación y agua empozada alrededor del tanque. También, la entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001)

Los tanques deben de llevar un dispositivo de evacuación de excedentes de agua, el cual consiste en un tubo cerca del borde superior, el cual puede conectarse a otro tanque para aprovechar los excedentes, se sugiere colocar una malla fina que cubra la salida de rebalse, para impedir la entrada de insectos (Hernández, 2013).

Se pueden distinguir dos tipos de tanques: superficiales y subterráneos. Los superficiales son los que se encuentran al nivel del suelo, pueden construirse de bloques, ladrillos o piedras con mezcla de grava, arena y cemento, o bien pueden ser de plástico o metálicos. Los tanques subterráneos requieren de una buena impermeabilización de las paredes para evitar filtración tanto hacia afuera como hacia adentro. Estos tanques deben ubicarse lejos de letrinas y tanques sépticos (Hernández, 2013).

Cuadro 14. Comparación entre tanques de almacenamiento superficial y subterráneo.

Características	Tanque superficial	Tanque enterrado
Captación del agua de lluvia	Almacena el agua a un nivel inferior.	Almacena el agua al nivel del suelo.
Cimentación	Si el suelo contiene demasiada materia orgánica y es muy suelto, hay inestabilidad.	El suelo es más firme para soportar cargas y las paredes del tanque pueden ser más delgadas.
Presión del terreno lateral	No aplica.	Al estar vacío el tanque, el suelo ejerce una mayor presión.
Presión del agua	La presión del agua se incrementa durante sismos.	La presión del agua en las paredes disminuye por la presión que ejerce el suelo, es más estable durante sismos.
Contaminación del agua almacenada	Si el tanque está debidamente sellado será difícil que el agua se contamine, a excepción de que entren directamente con el agua almacenada.	El agua almacenada puede contaminarse por aguas negras o por mal sellado en la tapa de registro durante tormentas.
Daños por agentes externos	Expuesto a impactos.	El tanque puede dañarse por raíces de árboles o por el tránsito de vehículos, personas u objetos pesados.
Efectos de la intemperie	Las paredes del tanque están sujetas a esfuerzos de expansión o contracción por calentamiento y enfriamiento.	Las paredes están más protegidas a los efectos de la intemperie.
Efectos del nivel freático	No aplica.	Si el nivel freático está superficial, el tanque puede flotar cuando esté vacío.
Disposición del agua	El grifo es más cercano a la superficie y es más fácil su limpieza.	Para disponer del agua se necesita bombearla.
Limpieza y Mantenimiento	Fácil mantenimiento, limpieza y reparación.	Difícil acceso para limpieza, reparación y mantenimiento.
Costo	Menor costo.	Costo mayor por uso de bombeo, excavación del terreno y estudio de suelos.

Fuente: (Guzmán, 2014).

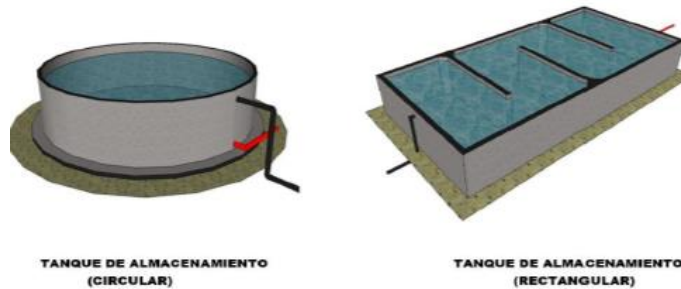
Los tanques pueden ser prefabricados o contruidos en el sitio, entre las cisternas construidas se pueden mencionar:

a. Tanque de concreto reforzado

El concreto reforzado es el material más económico de la construcción, cuando está diseñado y construido correctamente, proporciona una larga vida y bajo costo de mantenimiento. Cuando se dosifica correctamente brinda impermeabilidad para la contención de líquidos, lo cual garantiza un aislamiento y protección del contenido.

El concreto tiene gran resistencia al ataque de agentes químicos y a la intemperie, posee capacidad a la compresión, tensión, flexión y cortante. Los tanques de este material pueden ser rectangulares o circulares (Caballero, 2006).

Figura 25. Tanque de concreto reforzado superficial.



Fuente: (Caballero, 2006).

- b. Cisterna revestida con cubierta flotante de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad o polipropileno reforzado

Las geomembranas son impermeables a fluidos y partículas, evitan filtraciones, fugas y la contaminación del agua almacenada. Resisten el punzonamiento, es de fácil instalación y colocación por ser termofusionable y es elástica. La impermeabilización obtenida con 1 mm de espesor de geomembrana de PVC equivale a la impermeabilidad de 1 m de arcilla compactada (Hernández, 2013).

La instalación de geomembranas requiere la eliminación de raíces y verificación que la tierra excavada sea apta para hacer terraplenes, compactación y proteger los taludes exteriores con geotextil o vegetación y se debe instalar un vertedero para prevenir los desbordamientos (Hernández, 2013).

Figura 26. Cisternas de geomembrana y polietileno



Fuente: (Hernández, 2013)

En la figura se observa las cisternas para a) uso doméstico, b) transporte de geomembrana para recubrimiento, c) cisterna sin tapa, d) cisterna revestida y con cubierta flotante de geomembrana de PVC.

### c. Tanques prefabricados

Existen diversas empresas que ofrecen tanques para conservar la calidad del agua, implementan sistemas que impiden la reproducción de bacterias, garantizan que no tendrán fugas, agrietamientos y fisuras. Estos son más baratos que los elaborados en sitio, pero están fabricados con dimensiones establecidas. Hay muchos materiales que pueden usarse para fabricar tanques de almacenamiento, tales como concreto, madera, metal y polietileno; siendo este último el más utilizado (Guzmán, 2014).

Así mismo, algunas empresas han diseñado tanques específicos para el almacenamiento de agua de lluvia, los cuales pueden ir enterrados o en la superficie. Pueden ser de varios materiales como: polietileno, cerámica, imitación de muro de piedra natural o de macetero. La capacidad máxima de los tanques es de 6,400L (Garantía, 2015).

Figura 27. Tanques de almacenamiento prefabricados.



Fuente: (Garantía, 2015).

## 7. Cálculos de captación

Para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia se requiere datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años. Así como, el número de personas beneficiadas demanda de agua y el tipo de material de la superficie de captación. A continuación, se describen las ecuaciones a utilizar

para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia de acuerdo con (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013)

a. Acumulación de lluvia mensual

Se calcula la precipitación promedio mensual para cada uno de los meses del año para los datos correspondientes de los 10 años de precipitación.

$$P_m = \frac{\sum_1^n P_i}{n} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- $P_m$  es la precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años (mm/mes).
- $P_i$  es la precipitación mensual del mes “i” (mm).
- n es el número de años evaluados.

b. Demanda de agua de la población

Se determina la demanda de agua de la población que se abastecerá del sistema para cada uno de los 12 meses del año.

$$D_m = \frac{N_u * N_d * \text{Dot}}{1000} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- $D_m$  es la demanda mensual para cada mes del año ( $\text{m}^3/\text{mes}/\text{población}$ )
- $N_u$  es el número de usuarios que se benefician del sistema.
- Dot es la dotación (lt/hab/día)

$$D_{\text{anual}} = \sum_{i=1}^{j=12} D_m \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- $D_{\text{anual}}$  es la demanda anual ( $\text{m}^3/\text{mes}/\text{población}$ )

De acuerdo con la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (UNEPAR), (2011), la dotación es la cantidad de agua asignada a un habitante en un día en una población. Por lo general, se expresa en litros por habitante por día: l/hab./día.

Cuadro 15. Dotación de acuerdo con el servicio a proporcionar.

<b>Servicio</b>	<b>Dotación (L/hab/día)</b>
<b>Llena cántaros exclusivamente</b>	30 a 60
<b>Llena cántaros y conexiones prediales</b>	60 a 90
<b>Exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda</b>	60 a 120
<b>Conexiones intradomiciliarias con opción a varios grifos por vivienda</b>	90 a 170
<b>Pozo excavado o hincado con bomba manual</b>	20
<b>Aljibes</b>	20

Fuente: (Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales, 2011).

Así mismo, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (2013), recomienda la siguiente dotación al día por habitante.

Cuadro 16. Dotación recomendada por habitante al día

<b>Actividad</b>	<b>Dotación (L/hab/día)</b>
<b>Bebida</b>	5
<b>Servicio de saneamiento</b>	25
<b>Higiene personal</b>	15
<b>Cocina</b>	5
<b>Total</b>	50

Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013).

c. Determinación de la oferta mensual de agua de lluvia

Es la cantidad de agua lluvia que un techo es capaz de recolectar para cada uno de los meses del año dependiendo de las precipitaciones en la zona. La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, como se presenta a continuación.

Cuadro 17. Coeficientes de escorrentía.

<b>TIPOS DE CAPTACIÓN</b>	<b>Ce</b>
<b>Cubiertas superficiales</b>	
Concreto	0,6-0,8
Pavimento	0,5-0,6
Geomembrana de PVC	0,85-0,90
<b>Azotea</b>	
Azulejos, teja	0,8-0,9
Hojas de metal acanaladas	0,7-0,9
Orgánicos (hojas con barro)	< 0,2
<b>Captación en tierra</b>	
Suelo con pendientes menores al 10%	0,0-0,3
Superficies naturales rocosas	0,2-0,5

Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013).

La ecuación es la siguiente:

$$A_{of} = \frac{P_m * C_e * A_c}{1000}$$

Ecuación 22

Donde:

- $A_{of}$  es la oferta mensual de agua de lluvia ( $m^3$ )
- $P_m$  es la precipitación promedio mensual ( $L/m^3$ )
- $C_e$  es el coeficiente de escorrentía (adimensional)
- $A_c$  es el área de captación asumida ( $m^2$ )

Se toma en cuenta que 1 mm de agua precipitada equivale a 1L por  $m^3$  de superficie. Así como, los meses que presentan precipitaciones menores a 40 mm son de sequía, pero dependerá de la zona y el criterio del diseñador.

d. Sobredimensionamiento del tanque.

$$sobredimensionamiento = \frac{\frac{\sum A_{of, meses de sequía}}{12 meses}}{demanda mensual} * 100\%$$

Ecuación 23

e. Sistema de conducción del agua de lluvia captada.

- Tiempo de concentración. Tiempo que tarda una gota en recorrer desde el punto más alejado hasta la canaleta.

$$T_c = 0.000325 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Ecuación 24

- Tiempo en que ocurre el máximo escurrimiento (horas)

$$T_p = 2 * \sqrt{T_c} + 0.6 * T_c$$

Ecuación 25

- Tiempo para drenar todos los escurrimientos (horas)

$$T_b = 2.67 * T_p$$

Ecuación 26

- Caudal máximo esperado para el área de captación ( $m^3/s$ )

$$Q_p = \frac{0.278 * P_{anual} * A}{T_p}$$

Ecuación 27

f. Estimación del área transversal de un canal

Corresponde al área efectiva para transportar un caudal máximo esperado, según la ecuación de continuidad.

$$Q_p = A * v \quad \text{Ecuación 29}$$

$$A = \frac{Q_p}{v} \quad \text{Ecuación 28}$$

A continuación, se presenta las velocidades promedio recomendadas de acuerdo con la pendiente longitudinal.

Cuadro 18. Velocidad promedio dependiendo de la pendiente longitudinal.

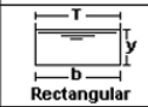

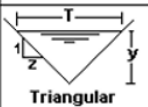
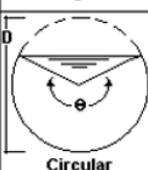
Pendiente longitudinal de la canaleta	Velocidad promedio (m/s)
2 a 4%	0.9
4 a 6%	1.2

Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013).

g. Dimensiones del canal

Se asumen dimensiones del canal dependiendo de los canales comercialmente disponibles o de las secciones de los materiales que se van a utilizar, se calcula el área apoyándose con el Cuadro No. 13, este valor de área debe ser mayor que el área requerida calculada en el inciso e., de lo contrario se deben seleccionar mayores dimensiones hasta que se cumpla este requisito.

Cuadro 19. Áreas hidráulicas de acuerdo con la sección de las canaletas.

Sección	Area hidráulica A
 <p>Rectangular</p>	$by$
 <p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$
 <p>Triangular</p>	$zy^2$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$

Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2013).

#### h. Diseño de tubería

El diseño de la tubería corresponde al cálculo del caudal de la tubería.

$$Q_c = \frac{5}{18} * A_c * I_p \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

- $Q_c$  es el caudal de conducción (L/s)
- $A_c$  es el área de captación de agua de lluvia. ( $m^2$ )
- $I_p$  es la intensidad máxima de lluvia en la zona (m/h)

$$I_p = \frac{P_{max}}{1000 * D} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

- $P_{max}$  es la precipitación registrada (mm).
- $D$  es el tiempo de duración de la tormenta (h)

Luego se calcula el diámetro de tubería de conducción.

$$D = \sqrt{4 * \frac{Q_c}{\pi * v}} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

- $D$  es el diámetro de la tubería (m)
- $Q_c$  es el caudal de conducción ( $m^3/s$ )
- $v$  es la velocidad media de la tubería (m)

Según UNAH (2013), se asume que no es un flujo turbulento, el cual debe ser menor a 1 m/s, para ser más críticos se utiliza 0.9 m/s.

#### 8. Ventajas y desventajas

Algunas ventajas que presenta la captación de agua pluvial son las siguientes:

- Contribuye a la sostenibilidad y protección del medio ambiente.
- Sistema independiente, es ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- No necesita energía para la operación del sistema.

- La baja o nula dureza del agua de lluvia puede extender su uso.
- El agua de lluvia está libre de sodio.
- El agua de lluvia se considera óptima para el riego.
- Tiene un costo menor al de redes hidráulicas públicas.
- Fácil y poco mantenimiento del sistema.
- Puede usarse en caso de incendios.
- Reduce la escorrentía y erosión.
- Reduce el volumen de agua de lluvia que entra al sistema de drenaje, reduciendo inundaciones.
- El agua estará disponible después de tormentas y desastres naturales.
- El agua es gratis para las personas que la recolectan.

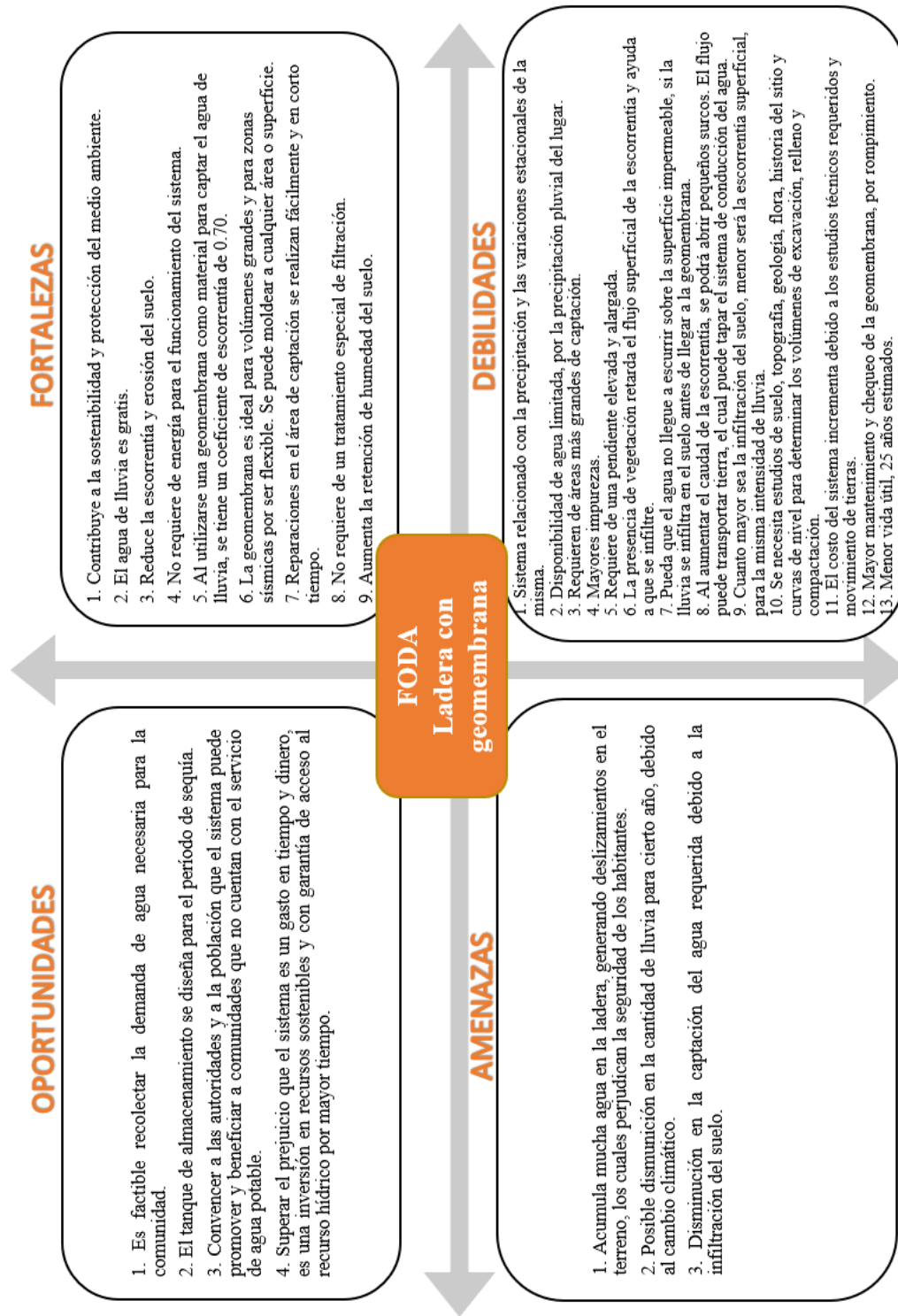
Entre las desventajas que puede tener este abastecimiento de agua se encuentran:

- La instalación del sistema tiene una inversión inicial que tardará unos años en amortizarse.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
- La disponibilidad del agua es limitada por el tamaño de la superficie de captación y el medio de almacenamiento.
- Otras fuentes de agua pueden necesitarse en algunas temporadas del año.
- Si se desea conservar mucha agua, es necesario tener un espacio mayor para colocar los tanques de almacenamiento.
- Debe pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenada para evitar tener contaminación por materia orgánica o insectos.

## 9. Selección de alternativa

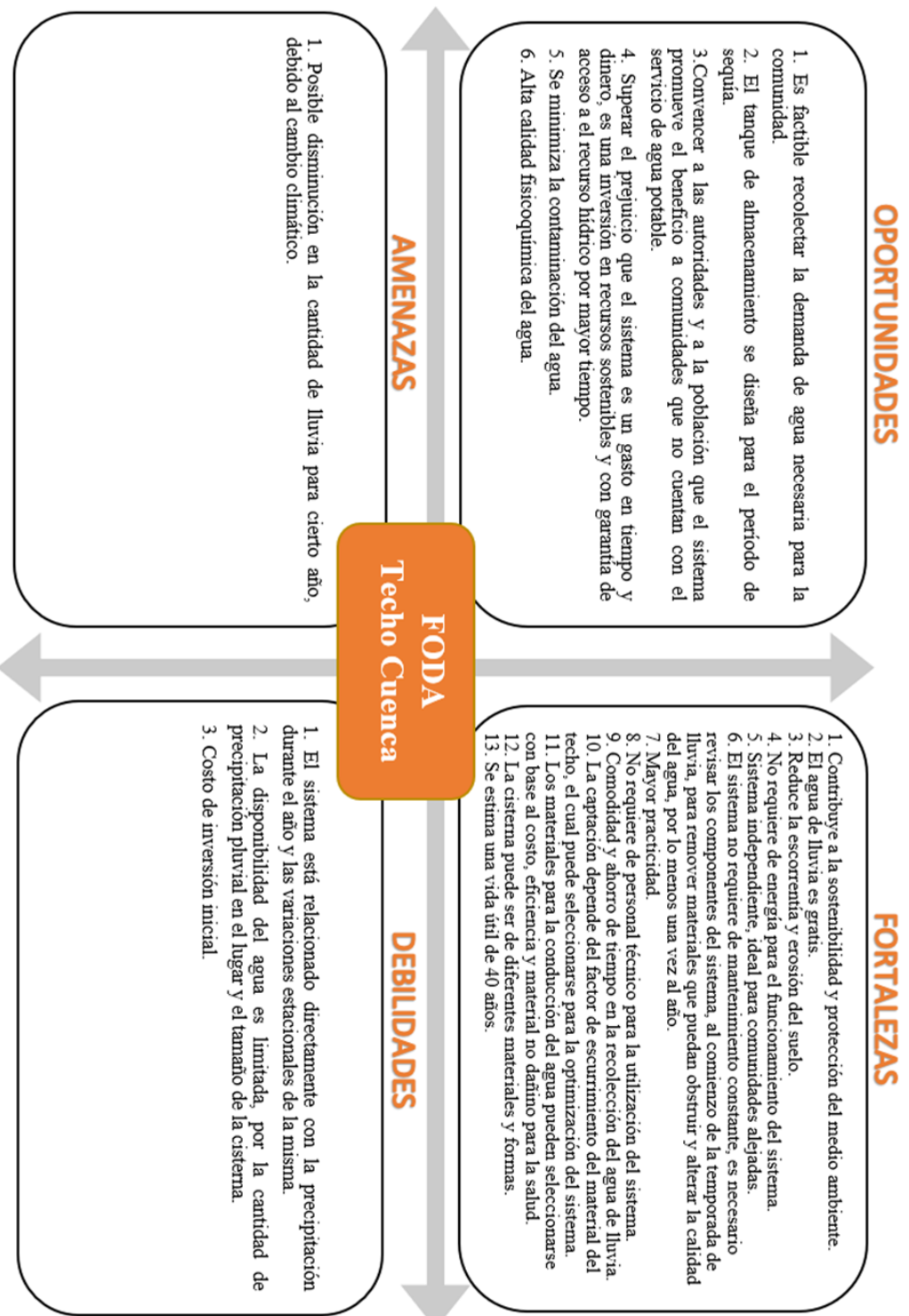
A continuación, se presentan los análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de las dos alternativas del sistema de captación de agua de lluvia. Mediante esta herramienta, se espera seleccionar la alternativa más viable y favorable para el proyecto de la Municipalidad de Antigua Guatemala.

Figura 28. FODA del sistema de captación techo cuenca



Fuente: (Laura María Mérida

Figura 29. FODA del sistema de captación de ladera con geomembrana.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

## 10. Coeficiente de escorrentía

Se define como el porcentaje de agua total llovida, que se desplaza por la superficie terrestre por acción de la gravedad, puesto que no todo el volumen de precipitación pluvial drena por medio de alcantarilla natural o artificial. Esto se debe a la evaporación, infiltración, retención del suelo, etc. Por lo que existirá diferente coeficiente para cada tipo de terreno el cual será mayor cuando más impermeable sea la superficie. Este coeficiente está en función del material sobre el cual circula el agua y varía desde 0.01 a 0.95. El coeficiente de escorrentía promedio se calcula por medio de la siguiente relación:

$$C = \frac{\sum(c * a)}{\sum a} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

- c es el coeficiente de escorrentía en cada área parcial.
- a es el área parcial.
- C es el coeficiente de escorrentía promedio del área drenada

## H. Agua residual

Son las aguas que resultan de algún tipo de actividad del hombre donde la calidad de esta haya sido alterada, estas pueden ser subdivididas en tres. (Universidad de Piura, s.f.)

### 1. Tipos de aguas residuales

#### a. Aguas residuales domésticas u ordinarias

Son las aquellas derivadas de la vivienda, originarias del metabolismo humano y actividades domésticas. Este tipo de aguas residuales son las más fácilmente tratables debido a su poca concentración de DBO<sub>5</sub> la cual se encuentra entre 200 a 400 mg/L. En este tipo de aguas se requiere de homogenización si la población a tratar es de menos de 500 habitantes ya que generalmente los consumos pico de agua se encuentran a la misma hora. (Universidad de Piura, s.f.)

Cuadro 20. Contaminantes en aguas residuales domésticas

CONTAMINANTE	UNIDAD	DÉBIL	MEDIA	FUERTE
ST	mg/L	350	720	1200
SD	mg/L	250	500	850
SS	mg/L	100	220	350
SSV	mg/L	80	165	275
SSF	mg/L	20	55	75
SSed	mL/L	5	10	20
DBO <sub>5</sub>	mg/L	110	220	400
DQO	mg/L	250	500	1000
N-Total	mg/L	20	40	85
N-Org	mg/L	8	15	35
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	12	25	50
P-Total	mg/L	4	8	15
P-Org	mg/L	1	3	5
Cl <sup>-</sup>	mg/L	30	50	100
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	20	30	50
G&A	mg/L	50	100	150
Coli-Total	NMP/100mL	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>

Fuente: (Jaramillo, 2014)

b. Aguas residuales industriales

Son aquellas aguas provenientes por actividades del sector comercial/industrial. A la hora de realizar procesos de producción de disposición de sus desechos. Este tipo de aguas residuales requieren de un tratamiento adicional, sobre todo en el pretratamiento. También para este tipo de aguas residuales es necesario complementar con un tratamiento fino o terciario. También para este tratamiento es necesario procesos específicos tales como la neutralización, adición de nutrientes, acidificación, entre otros. (Universidad de Piura, s.f.)

2. Características físicas de agua residual doméstica

a. Temperatura

Las aguas servidas tienen una temperatura mayor a el agua no contaminada debido a que se libera energía por reacciones bioquímicas por la degradación de la materia orgánica. (Villela, 2014)

b. Grasas y aceites

Los aceites y grasas en un agua residual se pueden determinar mediante una extracción previa, con un disolvente apropiado y la posterior evaporación del disolvente. (Villela, 2014)

c. Demanda bioquímica de oxígeno

Es el termino referido a la cantidad equivalente de oxígeno (DBO), generalmente dada en mg/l necesaria para degradar biológicamente los componentes de las aguas residuales (Villela, 2014)

d. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad equivalente de oxígeno necesaria para oxidar los componentes orgánicos del agua residual utilizando agentes químicos oxidantes. Al realizar una relación entre la DBO y la DQO se obtiene que tan biodegradables pueden ser las aguas que están siendo tratadas. Aguas que tienen una relación mayor o igual a 0.4, pueden ser clasificadas como muy biodegradables. Aguas que su relación va de 0.2 a 0.4 se clasifica como biodegradable y aguas con una relación menor a 0.2 se clasifican como aguas poco biodegradables. (Villela, 2014)

e. Sólidos totales

Es el material obtenido posteriormente a que el agua tenga un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Este puede ser clasificado en filtrables o no filtrables, estos últimos siendo conocidos también como sólidos en suspensión. La parte filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos, los coloidales son de tamaños de 0.001 y 1 micrómetro, este tipo de sólidos no pueden ser eliminados por sedimentación, por lo cual para depurar la parte coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación.

No pueden ser considerada como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación y sólidos sedimentables son aquellos que al estar en un recipiente de forma cónicas (cono de Imhoff) se sedimentan luego de un periodo de 60 minutos. Los sólidos en el recipiente cónico dan una medida aproximada de la cantidad de lodos que se obtendrá por la decantación primaria del agua residual (Sin Autor, 2005)

f. Nitrógeno total

Este químico se presenta en aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoniaco y en menor cantidad como nitritos y nitratos. Para cuantificar dicho químico se debe utilizar métodos espectrofotométricos. (Sin Autor, 2005)

g. Fósforo total

Este químico se presenta en aguas residuales en forma de fosfatos orgánicos y polifosfatos. También puede tener distintas formas nitrogenadas y es un químico que debe cuantificarse utilizando métodos espectrofotométricos. (Sin Autor, 2005)

h. Olor

El olor es algo característico de las aguas residuales y una de las principales razones por las cuales se presenta un rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, por lo cual es un parámetro a tomar en cuenta a la hora de realizar una planta de tratamiento. El mal olor influencia más en el ámbito psicológico que en el físico, malos olores pueden producir pérdida de apetito, menor consumo de agua, desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos.

En condiciones extremas, los malos olores pueden interferir en las relaciones humanas. Los olores pueden ir dentro de las aguas residuales o producirse a partir de ellas. En la tabla extraída del documento “Características de las aguas residuales” se observa el umbral de algunos tipos de olores que se pueden presentar en las aguas residuales.

Cuadro 21. Compuestos orgánicos de aguas residuales

Compuestos olorosos	Fórmula química	Calidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{H}$	A pescado
Amoníaco	$\text{NH}_3$	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2, \text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	$\text{H}_2\text{S}$	Huevos podridos
Mercaptanos (p.e. metilo y etilo)	$\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Coles descompuestas
Mercaptanos (p.e. butilo y crotilo)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}, \text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Coles podridas
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

Fuente: (Centro de investigación y desarrollo tecnológico, s.f.)

i. Color

Asimismo, el color forma parte importante en el agua residual, ya que de forma histórica esto ha servido de referencia para la caracterización del agua. La edad del agua residual puede ser determinada cualitativamente en función de su olor y color. Las aguas residuales de carácter reciente suelen tener colores grisáceos. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en el alcantarillado y producirse un proceso próximo al anaerobio las aguas empiezan a tomar un color gris oscuro y

posteriormente un color negro, este último siendo ya clasificado como aguas residuales sépticas. (Características de las aguas residuales).

### 3. Tipos de tratamiento

#### a. Pretratamiento

El pretratamiento de las aguas residuales es aquel proceso por el cual se eliminan materias cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los procesos siguientes del tratamiento y sistemas auxiliares. Generalmente se eliminan sólidos suspendidos de mayor tamaño, algunas grasas y aceites.

#### b. Tratamiento primario

El tratamiento primario contempla uso de operaciones físicas tales como sedimentación y desbaste para la eliminación de sólidos sedimentables presentes en el agua residual. Con este procedimiento se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Este proceso puede llevarse a cabo mediante el tamizado o la sedimentación. Generalmente en este proceso el efluente tratado contiene bastante materia orgánica y una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) alta.

Las plantas de tratamiento no pueden tener solo un tratamiento primario debido a que la calidad de agua que se tiene luego de este no es la más indicada para el medio ambiente por lo cual es siempre necesario hacer uso de tratamientos secundario. Estos tipos de tratamiento pueden ser fosas sépticas, desarenadores, trampas de grasa, entre otros. (Alianza por el agua, s.f.)

#### c. Tratamiento secundario

Son aquellos sistemas de tratamiento de agua residual que incorporan procesos biológicos con el uso de microorganismos para degradar la materia orgánica y convertirá en material celular, productos inorgánicos o material inerte.

Este tipo de tratamiento se divide en dos grandes grupos que definen la actividad biológica dentro del tratamiento, en las cuales la característica principal es la utilización de oxígeno dentro del mismo. Estos procesos se denominan aerobios (que utilizan oxígeno) y los anaerobios (que no utilizan oxígeno). La presencia o no del oxígeno afecta directamente la forma en la se transforma la materia, de

manera que si hay oxígeno en el sistema los desechos orgánicos se convierten en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), mientras que, en los procesos sin oxígeno, la materia se transforma en bio gas.

Los residuos de este proceso son los llamados lodos o fangos que deben ser extraídos del sistema para disponer de ellos de alguna otra manera, ya sea por secado, para utilizarlo como abono para plantas específicas u otros métodos de estabilización dependiendo del tipo de agua residual que se cuente en la planta, como un tratamiento químico.

Para realizar este tipo de tratamiento existen varios métodos los cuales pueden ser reactores anaerobios de flujo ascendente, lagunas de estabilización, lodo activado, zanjas de oxidación, filtros de arena intermitentes, entre muchos otros, que se utilizan dependiendo de las necesidades, posibilidades y terreno disponible. (Alianza por el agua, s.f.)

#### d. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario emplea combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como: el nitrógeno y el fósforo, cuya reducción con tratamiento secundario no es significativa. No obstante, estos términos son arbitrarios y, en muchos casos, carecen de valor alguno.

Estos tratamientos que son conocidos como tratamientos avanzados, permiten tener efluentes finales con mejor calidad para que estos sean vertidos en lugares de más exigencias o puedan ser reutilizados. Con este proceso se busca la eliminación de materia particulada y coloidal, aplicando tratamientos fisicoquímicos como coagulación y floculación. Para eliminar el exceso de nutrientes como fósforo y nitrógeno se utilizan procesos bioquímicos. El proceso más utilizado para eliminar nutrientes es el uso de sales de hierro y de aluminio.

Para la eliminación del nitrógeno se utiliza un proceso bioquímico que opera con condiciones óxicas y anóxicas para liberar el nitrógeno en forma gaseosa a la atmósfera. Luego para la eliminación del fósforo, se utiliza dos tipos de condiciones, las cuales son anaerobias óxicas y anóxicas, quedando el fósforo atrapado en microorganismos que son retirados como lodos en exceso. Como tratamiento final se puede clorar, pero con las demandas actuales para limitar el nivel de cloro en los afluentes se debe de clorar el agua para un nivel más aceptado o se puede utilizar radiación UV, ozono o membranas. (Alianza por el agua, s.f.)

#### 4. Elementos de plantas de tratamiento

##### a. Rejillas

Las rejillas se utilizan para la remoción de sólidos gruesos los cuales pueden representar dificultades en las demás etapas del tratamiento, entre estos sólidos se puede encontrar basura tales como papeles, plásticos, etc. Este tipo de rejas pueden ser de limpieza manual y auto limpiables, estas pueden ser rejas gruesas (4-10 cm), medias de (2-4cm) y finas (1-2cm). Este tipo de pretratamiento debe aplicarse siempre en las entradas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

##### b. Desarenador

En el desarenador se remueven las arenas y sólidos pesados que se encuentran luego de haber pasado por las rejillas. Los desarenadores deben contar con un medidor de flujo como puede ser un vertedero sutor con el cual se puede obtener el caudal que está pasando por el desarenador. Para su diseño se asume una gravedad específica de partículas cercana a 2.65 y deben de construirse siempre en dos o más unidades (Jaramillo, 2014)

##### c. Reactores biológicos anaerobios

En los reactores biológicos anaerobios se lleva a cabo la biotransformación de las aguas residuales en forma de metano, CO<sub>2</sub> y biomasa. Estos pueden ser de tipo UASB, RAP, de contacto, entre otros para un tratamiento anaerobio. Este tipo de reactores son comúnmente utilizados cuando se dispone de pocos recursos económicos para la construcción de una planta de tratamiento.

Este tipo de reactores pueden llegar a tener entre un 60 a un 80 por ciento de remoción de DQO, debido a que llegar a porcentajes de remoción superiores a 80% es muy difícil, generalmente este tipo de reactores son utilizados como tratamientos secundarios. (Jaramillo, 2014).

##### d. Separador gas-sólido-líquido

El separador gas, sólido, líquido se utiliza fundamentalmente en los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), su función es separa las corrientes de gas, sólidos y líquidos. El gas generado por los flóculos de bacterias o gránulos de lodo hace que el flóculo flote en el líquido, el cual debe golpear con algún tipo de superficie para separar el gas del sólido y así acumular el CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en la campana para posteriormente ser sacado del reactor y quemado. (Jaramillo, 2014)

e. Disposición de gases

En el tratamiento anaerobio los gases resultantes son principalmente metano, CO<sub>2</sub> y en menores cantidades, pero no despreciable H<sub>2</sub>S que es un gas soluble en agua, pero altamente oloroso cuando existe turbulencia. El metano y CO<sub>2</sub> son recolectados en el SGSL ya que se desprenden del agua, este gas es recolectado en gasómetros para mantener la presión constante para luego ser llevados al quemador, el cual debe tener una trampa de llamas. Para casos con aguas residuales de producción de alcohol con DQO de 50000 mg/l, se puede recolectar el metano para su uso.

f. Estabilización de lodos

El tratamiento de los lodos es muy importante debido a que están constituidos por bacterias orgánicas que no pueden ser desechados, sino que deben de estabilizarse. El proceso de estabilización puede realizarse de varias maneras, una de estas es la auto digestión, la cual consiste en sacar el lodo de las aguas residuales para que las bacterias no tengan de que alimentarse, por lo cual se consumen a ellas mismas hasta que ya no puede seguir la digestión. Otra manera de estabilizar los lodos es de manera química, la cual consiste en agregarles alguna sustancia para alterar el pH para que las bacterias no puedan seguir sus procesos bioquímicos y biológicos. (Jaramillo, 2014). Los lodos están divididos en dos tipos, los cuales son:

- Lodos primarios: estos son los que se obtienen del sedimentador o flotador primario cuando estos existen en una planta de tratamiento residual.
- Lodos secundarios: estos lodos se obtienen de los digeridos en los reactores biológicos pueden ser parcial o totalmente digeridos. Esto depende del tiempo de retención celular, los totalmente digeridos son aquellos con lodos activados con edades altas (mayores a 20 días), para reactores de medio fijo los lodos siempre estarán digeridos, por lo cual se puede proceder a una deshidratación en un lecho de secado de lodos debido que al estar digeridos no producen ningún olor.

## 5. Parámetros de diseño

### a. Pérdida de carga

Este es de los parámetros más importantes para el diseño de rejillas cuando el agua residual pasa entre las barras. La velocidad de aproximación del flujo debe estar entre 0.6 m/s para evitar sedimentación y 0.9 m/s para evitar arrastre de material.

La ecuación está dada por:

$$hf = \frac{V_C^2 - V^2}{2 * g} * \frac{1}{0.7} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

- $hf$  es la pérdida de carga.
- $V_C$  es la velocidad del agua por las barras m/s.
- $V$  es la velocidad media del agua aguas arriba m/s.
- $g$  es la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

### b. Velocidad de sedimentación

- Ley de Stoke establece la velocidad de sedimentación o flotación de cualquier partícula en un líquido dependiendo de su densidad, diámetro de partícula y viscosidad dinámica (Jaramillo, 2014) . La ecuación está dada por:

$$\frac{(\rho_{arena} - \rho_{h2o}) * g * d^2}{18 * \mu} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

- $\rho_{arena}$  es la densidad de la arena.
- $\rho_{h2o}$  es la densidad del agua.
- $g$  es la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$ .
- $d$  es el diámetro de partícula m.
- $\mu$  es la viscosidad dinámica.

- Ley de newton para flujo de transición

$$V_s = \sqrt{\frac{0.004316}{Cd}} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

- $V_s$  es la velocidad de sedimentación.
- $Cd$  es el coeficiente de resistencia de partículas.

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad \text{Ecuación 37}$$

- Ley de newton para flujo turbulento

$$Vs = \sqrt{2.66 * g * d * (\rho_{arena} - \rho_{h2o})} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

- $g$  es la gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>.
- $d$  es el diámetro de partícula m.
- $\rho_{arena}$  es la densidad de la arena.
- $\rho_{h2o}$  es la densidad del agua.

#### c. Número de Reynolds

El número de Reynolds es aquel que permite caracterizar la naturaleza de un flujo, ya sea laminar, de transición o turbulento, para lo cual se basa en la razón entre las fuerzas inerciales y las viscosas de un fluido. Puede ser laminar cuando el número de Reynolds es menor a 1, turbulento cuando es mayor a 2000 y de transición si se encuentra en cualquiera de los dos parámetros (Navarro, 2015)

$$Re = \frac{V_s * d}{\nu} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

- $V_s$  es la velocidad de sedimentación
- $d$  es el diámetro de partícula m.
- $\nu$  es la viscosidad cinemática del fluido

#### d. Velocidad critica de arrastre (horizontal)

La velocidad de arrastre u horizontal es la distancia en centímetros en la cual se mueve una partícula en un segundo, la cual depende del diámetro de la partícula y un factor de modificación el cual es dependiente de la partícula. La fórmula para determinar esta velocidad está dada por:

$$Vd = a * \sqrt{d} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

- a es el factor de modificación dependiente de la partícula
- d es el diámetro de la partícula (mm).

Tabla 22. Valores de Coeficiente

a	Diametro
36	d > 1mm
44	1mm > d > 0.1mm
51	d < 0.1mm

Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2006)

e. Tiempo de retención hidráulico

Es el tiempo promedio que un volumen de agua residual permanecerá en el tanque desde la entrada hasta su salida. Este es normalmente dado en el orden de 2 a 36 horas para lodos y para lagunas de estabilización puede llegar a ser hasta de varios días.

$$t_d = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

- V es el volumen útil de tanque o reactor en L o m<sup>3</sup>.
- Q es el caudal del AR, en L/s o m<sup>3</sup>/s.

f. Vertedero sutor

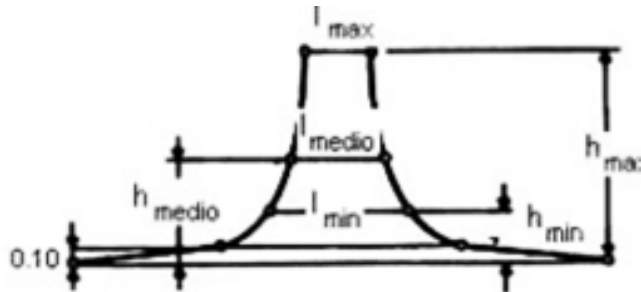
Es un sistema de control de flujo. Esto es muy importante ya que permite visualizar si el desarenador está trabajando entre los parámetros para los que fue diseñado. La fórmula está dada por:

$$Q = 1.84 * L * h^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

- Q es el caudal sobre el vertedero (m<sup>3</sup>/s).
- L es el ancho del vertedero (m).
- h es la carga sobre el vertedero (m).

Figura 30. Detalle de vertedero Sutor



Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

## I. Tubería

Compuesto por dos o más tubos ensamblados mediante un tipo de unión específico. La tubería puede ser de diferentes materiales, por lo que para la selección de este se toma en cuenta: resistencia mecánica, durabilidad, resistencia a corrosión, capacidad de conducción, economía, facilidad de conexión, facilidad de reparación y conservación de la calidad del agua.

En el caso de la resistencia de la tubería, esta debe de ser mayor que la carga estática que puede tener. La resistencia mecánica de la tubería debe permitir soportar cargas como: estáticas, dinámicas e internas. Por otro lado, para la corrosión, la tubería debe ser capaz de resistir suelos y aguas agresivas que pueda ocasionar desgaste de la tubería.

### 1. Plástico

El más usado es el policloruro de vinilo (PVC). Representan tuberías livianas y de fácil manejo. Estos son fabricados de color blanco. La unión de los tubos se realiza por medio de un sistema de espiga-campana; dando como resultado una resistencia a la presión de trabajo.

Los tubos de PVC poseen varias ventajas, entre estas: hermeticidad, pues impide infiltraciones y fugas; pared interior lisa, provocando menores pérdidas por fricción; resistencia a la corrosión, es inmune por lo que no es necesario el recubrimiento; flexibles, permite deflexión durante la instalación;

resistencia a la tensión, maneja correctamente los movimientos sísmicos, cargas muertas, y cargas vivas; y no altera la calidad del agua.

## 2. Hierro

Tuberías fabricadas con hierro fundido (HF) o hierro dúctil (HD). Considerado un material muy durable, pero es susceptible a la tuberculización (incrustaciones de óxido) lo cual incrementa la rugosidad. Por lo que, es necesario revestir el interior con cemento para evitar este fenómeno.

Entre sus ventajas se puede mencionar: larga vida útil; alta resistencia mecánica, impactos y cargas normales y extraordinarias; alta resistencia a la corrosión, pero susceptible a tuberculización que se disminuye con recubrimientos especiales; y libre de mantenimiento. Sin embargo, el material tiende a sufrir corrosión eléctrica o química sino es protegida de suelos ácidos o aguas agresivas; y es difícil su manejo por el peso.

## 3. Acero galvanizado

Material usado cuando la línea de conducción presenta altas presiones y se requieren grandes diámetros. Pueden ser usadas en exteriores, pero si son enterradas deben de ser protegidas con recubrimiento. En el caso del galvanizado, este revestido con zinc en el interior y exterior. Sino poseen revestimiento de zinc se conocen como acero negro.

Los tubos de acero tienen como ventajas: alta resistencia mecánica; en comparación con el concreto y el hierro, es mucho más ligero; y es fácil transporte e instalación. Pero como desventajas: no soporta cargas externas grandes; y es elemento corrosivo.

## 4. Concreto

Las tuberías de concreto pueden fabricarse sin refuerzo de acero cuando las presiones son relativamente bajas; sin embargo, en la mayoría de los casos la tubería esta reforzada con varillas de acero o un cilindro de acero reforzado con varilla y revestido con concreto. Como ventajas, posee: alta resistencia mecánica, con cargas muertas y altas presiones; alta capacidad para la conducción; larga vida útil; y bajo mantenimiento. Sin embargo, susceptible a corrosión en suelos ácidos; si sufre daños es difícil de reparar; y puede resultar complicado realizar conexiones.

## 5. Asbesto – cemento

Tubería compuesta por cemento y fibra de asbesto, obteniendo una superficie interna lisa. Se considera un material estable, pero se deteriora por los ácidos del suelo. Sin embargo, el material ha disminuido en su uso debido a que el asbesto es un material cancerígeno cuando es inhalado y al ser bebido puede provocar cáncer intestinal.

## J. Válvulas

Una válvula se define como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más conductos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 lb/in<sup>2</sup> (140 MPa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). (Tecval, 2017)

### 1. Válvula de compuerta

Funciona mediante el movimiento de una placa de forma perpendicular al flujo. Tiene como ventaja de que el operador puede saber fácilmente si la válvula está abierta o no. Su principal función es para cuando se requiera un cierre o apertura total, no es recomendable utilizarla como reguladora de gasto, esto debido a que causa pérdidas de carga y cavitación (Comisión Nacional del Agua , 2016).

### 2. Válvula de globo

Está conformada por un disco horizontal que se acciona mediante un vástago que abre o cierra un orificio por donde circula el agua. Se encuentra dentro de una caja de hierro fundido. Tienen una gran resistencia al paso de agua, por lo que es utilizada en tuberías de diámetro pequeño. También pueden ser utilizadas para drenar o vaciar tuberías (Comisión Nacional del Agua , 2016).

### 3. Válvula de asiento

El componente que presenta movimiento es un cilindro, cono o esfera. Este elemento contiene una perforación del mismo diámetro que el de la tubería, por lo que generalmente requiere un giro a noventa grados para pasar. Es comúnmente utilizada para controlar el gasto en los sistemas de distribución (Comisión Nacional del Agua , 2016).

#### 4. Válvula de mariposa

Funciona mediante un disco centrado en el cuerpo de la válvula. Es utilizada como reguladora de gasto en condiciones de gastos y presiones bajas. Puede sustituir la válvula de compuerta cuando se trabajan diámetros grandes y presiones bajas en la línea (Comisión Nacional del Agua , 2016).

#### 5. Válvula de altitud

Es utilizada para controlar el nivel del agua en un tanque en un sistema de distribución. Existen dos tipos: de una sola acción y doble acción. La válvula de una sola acción permite el llenado del tanque hasta un nivel predeterminado. La válvula de doble acción abastece a la red por medio de una tubería de paso, la cual se abre cuando la presión en la red es menor a la provista en el tanque. Son aquellas que cuentan con un flotador, las cuales regulan un llenado hasta cierto nivel, modulando seguidamente la apertura (Comisión Nacional del Agua , 2016).

#### 6. Válvula de purga

Es utilizada para controlar el ingreso y la expulsión del aire en la línea. Puede ser utilizada en las operaciones de llenado o vaciado de la línea. Comúnmente se coloca en las partes altas de la línea. También evita la formación de vacíos parciales. Es más utilizada en líneas de conducción y de alimentación. Posee orificios de diámetro pequeño para conexión con la atmósfera. Es recomendable colocarla en la línea de conducción, en los cambios de pendiente (Comisión Nacional del Agua , 2016).

#### 7. Válvula controladora de presión

Reduce la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo. Es utilizada para abastecer a zonas bajas de servicio. En lugar de una válvula controladora de presión se puede construir una caja rompe presiones (Comisión Nacional del Agua , 2016).

#### 8. Válvula de retención

Se puede colocar tanto por encima del grupo de bombeo para impedir la descarga brusca de la tubería de impulsión tras la parada del grupo de bombeo. Ayuda a evitar daños en la tubería de impulsión al igual que en la de conducción al punto de entrega, evitando los flujos inversos tras la parada de la conducción hasta el punto de entrega del agua (Martín, 2016).

## K. Cotas Invert

Es la cota que determina la localización de la parte inferior interior de la tubería. Al diseñar el sistema de alcantarillado sanitario, se deben considerar los siguientes aspectos que se refieren a las cotas invert de entrada y salida de las tuberías en los pozos de visita:

- Cuando a un pozo de visita entra una tubería y sale otra del mismo diámetro, la cota invert de salida estará, como mínimo, a 3 cm debajo de la cota invert de entrada.

$$\begin{aligned} \varnothing A &= \varnothing B \\ \text{Cota invert de salida} &= \text{Cota invert de entrada} + 0.03 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 43}$$

- Cuando la tubería que entra al pozo es de diferente diámetro que la de salida, la cota invert de salida debe estar por debajo de la cota invert de entrada.

Las ecuaciones para calcular las cotas invert son las siguientes:

$$C_{tf} = C_{ti} - (DH * S) \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

- $C_{tf}$  es la cota del terreno final
- $C_{ti}$  es la cota del terreno inicial
- $DH$  es la distancia Horizontal
- $S$  es la pendiente del terreno

$$C_{is} = C_{ti} - h_{min} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

- $C_{is}$  es la cota invert de salida
- $C_{ti}$  es la cota invert inicial
- $h_{min}$  es la altura mínima (m), que depende del uso de la calle

$$C_{ie} = C_{is} - \frac{h_{min} * L}{100} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

- $Cie$  es la cota invert de entrada
- $Cis$  es la cota invert de salida
- $h_{min}$  es la altura mínima en metros
- $L$  es la longitud en metros

## L. Alcantarillado

### 1. Partes de un alcantarillado

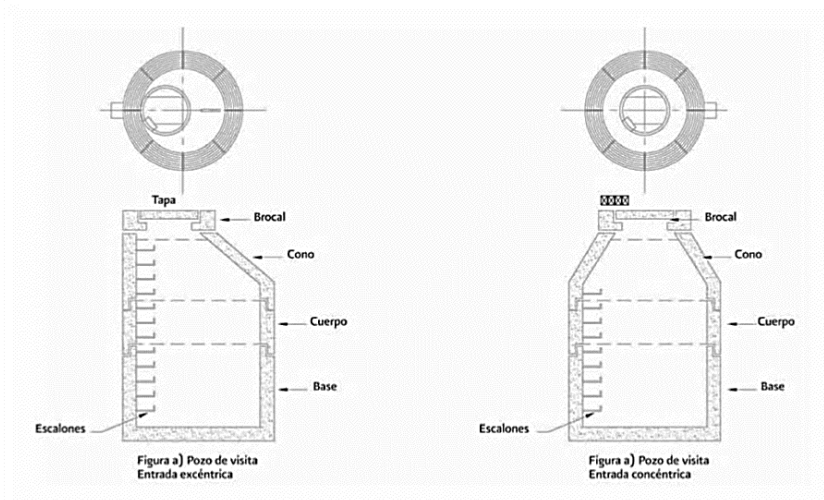
#### a. Colector principal

Es el medio por el cual se evacuan y transportan las aguas residuales y desechos generados por la población, lejos de donde se producen; este medio puede ser a través de tubería subterránea; dichas tuberías deben actuar hidráulicamente como canales abiertos (Mayorga, 2012)

#### b. Pozos de visita

Los pozos de visita son estructuras que permiten la inspección, ventilación y limpieza de la red de alcantarillado, se utilizan para la unión de dos o más tuberías y en todos los cambios de diámetro, dirección y pendiente, así como para las ampliaciones o reparaciones de las tuberías incidentes. Pueden ser prefabricados o contruidos en sitio de la obra (Comisión Nacional del Agua, 2009)

Figura 31. Componentes del pozo de visita.



Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2009)

### c. Conexiones domiciliarias

La conexión domiciliar tiene la finalidad de llevar las aguas servidas desde la vivienda o edificio hacia el colector principal. Normalmente, en el transcurso de la construcción del sistema de alcantarillado, se deja prevista una conexión en “Y” o “T” en cada edificación. Las conexiones deben taparse e impermeabilizarse para evitar la entrada de cualquier objeto que pueda obstruir la tubería, aunque es recomendable unión en “Y” para que el flujo entre al sistema de una manera menos violenta. Sin embargo, las conexiones “T” son más fáciles de instalar. La conexión domiciliar consta de dos partes: la caja o candela y la tubería secundaria (Mayorga, 2012).

#### 1) Caja o candela

La conexión se realiza por medio de una caja de inspección, construida de mampostería o con tubos de concreto, colocados verticalmente, el lado menor de la caja será de 0.45 metros; si fuese circular tendrá un diámetro no menor de 12”, las cajas deben estar impermeabilizadas por dentro y tener una tapadera para realizar inspecciones (Zapeta, 2008).

El fondo tiene que ser fundido de concreto, dejando la pendiente respectiva, para que las aguas fluyan por la tubería secundaria y puede llevarla al alcantarillado central, la altura mínima de la candela será de 1.00 metros (Zapeta, 2008)

#### 2) Tubería secundaria

Es la tubería que permite la conexión de la candela domiciliar con el colector principal, conduciendo las aguas residuales que la candela recibe del interior de las viviendas. Deberá utilizarse tubo PVC de 4”, con pendiente mínima de 2% y máxima de 6%, a efecto de facilitar la evacuación del agua. Hay que tomar en cuenta que la conexión domiciliar con el colector principal se hará en el medio diámetro superior, a un ángulo de 45 grados aguas abajo. (Zapeta, 2008)

### 2. Sistema de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado es una red de conductos, generalmente tubería, a través de las cuales se deben evacuar en forma eficiente y segura las aguas residuales domésticas, y de establecimientos comerciales o pluviales, conduciéndose a una planta de tratamiento y finalmente, a un sitio de vertido. De no existir estas redes de recolección de agua, se pondría en grave peligro la salud de las personas

debido al riesgo de enfermedades epidemiológicas y, además, se causarían importantes pérdidas materiales (Comisión Nacional del Agua, 2009). Desde la óptica hidráulica los sistemas alcantarillados son clasificados de la siguiente forma:

- Alcantarillados por gravedad: Se caracterizan por ser del tipo de flujo a gravedad, donde obedece la forma de la topografía del sitio factor que se busca aprovechar para conformar la red en el lugar que se ubique el proyecto, es utilizado para la recolección de aguas residuales de origen doméstico, comercial, industrial e institucional.
- Alcantarillados a presión: Empleado en la recolección de aguas residuales en zonas residenciales donde la construcción de la red por gravedad es problemática, por lo tanto, se hace uso de estaciones de bombeo. Además, se pueden incluir aguas residuales de origen comercial y solo una pequeña fracción de origen industrial. Este tipo de redes son por lo general pequeñas. (Mercedes, 2012)

Los sistemas de alcantarillado también pueden ser clasificados de acuerdo con dos tipos:

- Sistemas convencionales: Se clasifica en:
  - Alcantarillado sanitario: sistema diseñado para recolectar exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales.
  - Alcantarillado pluvial: sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación.
  - Estos pueden ser por separado o combinados.
- Sistemas no convencionales: se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y en general se limita a la evaluación de las aguas residuales:
  - Alcantarillado simplificado: un sistema de alcantarillado sanitario simplificado se diseña con los mismos lineamientos de un alcantarillado convencional, pero teniendo en cuenta la posibilidad de reducir diámetros y disminuir distancias entre pozos al disponer de mejores equipos de mantenimiento.
  - Alcantarillado condominiales: Son los alcantarillados que recogen las aguas residuales de un pequeño grupo de viviendas, menor a una hectárea, y las conduce a un sistema de alcantarillado convencional.

- Alcantarillado sin arrastre de sólidos. Conocidos también como alcantarillados a presión, son sistemas en los cuales se eliminan los sólidos de los efluentes de la vivienda por medio de un tanque interceptor. (Comisión Nacional del Agua, 2009)

a. Alcantarillado sanitario

Se diseña para recibir, evacuar, conducir y disponer las aguas domésticas, de establecimientos comerciales y pequeñas plantas industriales; por lo general, las aguas negras sin fermentación son ligeramente alcalinas o neutras, y bastante diluidas. Por lo tanto, en un sistema sanitario bien proyectado, construido y conservado, el problema de la corrosión queda reducido al mínimo, siempre que la velocidad de la corriente sea suficiente para arrastrar los desperdicios hasta el punto de descarga, antes que se inicie el proceso de putrefacción (Perez, 2013).

b. Alcantarillado pluvial

Se diseña y construye para recibir, conducir y disponer las aguas lluvias producto de la precipitación, puede caer en forma líquida, granizo o de nieve (Perez, 2013).

- i. Aspectos a tomar en cuenta para el diseño de un sistema de alcantarillado.
- ii. Componentes de un sistema de alcantarillado.

c. Alcantarillado combinado

Es el diseñado y construido para conducir aguas negras, industriales y lluvias. En la actualidad son pocos los alcantarillados de este tipo en zonas urbanas; sin embargo, dada la ubicación de privilegio en cuanto a los accidentes topográficos y a la restricción de desarrollo urbano, es posible su construcción (Perez, 2013).

3. Factores de diseño

a. Caudal de diseño

Este caudal indica la cantidad de flujo que puede transportar el sistema en cualquier momento y en cualquier tramo. Este es el que establece las condiciones hidráulicas sobre las que se pueden realizar los sistemas de alcantarillas.

$$Q_{dis} = No. hab * FH * FQM$$

Ecuación 47

Donde:

- $Q_{dis}$  es el caudal de diseño hidráulico.
- $No. hab$  es el número de habitantes futuros acumulados.
- $FH$  es el factor de Harmon.
- $FQM$  es el factor de caudal medio.

b. Período de diseño

Es el período de funcionamiento eficiente del sistema, una vez pasado este período, es necesario rehabilitar el mismo. El sistema de alcantarillado, sanitario para esta población, será proyectado para que llene adecuadamente su función durante un período de 20 años a partir de la fecha de construcción (Ramiro, 2004).

c. Factor de retorno

El factor de retorno es un número que oscila entre 70% y 90%. Sirve para determinar el consumo de agua que retornará al alcantarillado, es decir, que una población tiene una dotación diaria de agua por cada habitante y una parte de ella regresara al alcantarillado después de haber sido usada (Ramiro, 2004).

d. Dotación

Cantidad de agua que se le proporciona a cada habitante de una población específica en un día. La dotación es afectada por varios factores como: clima, tipo de fuente, calidad de agua, actividad productiva y la medición del consumo (Instituto de Fomento Municipal, 2011).

Si existieran estudios en la comunidad sobre la demanda de la población o poblaciones similares, deberán tomarse en cuenta. Sin embargo, si estos no existieran, se puede fijar un valor mediante los siguientes parámetros:

- Servicio a base de llenacántaros: 30 a 60 lt/hab/día
- Servicio mixto de llenacántaros y conexiones prediales: 60 – 90 lt/hab/día
- Servicio exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda: 60 – 120 lt/hab/día
- Servicio de conexión intradomiciliarias, con opción a varios grifos por vivienda: 90 – 170 lt/hab/día

- Servicio de pozo excavado, con bomba de mano: mínimo 15 lt/hab/día.

e. Caudal domiciliario

Es el agua que una vez ha sido usada por los humanos, para limpieza o producción de alimentos, es desechada y conducida hacia la red de alcantarillado, es decir que el agua de desecho doméstico está relacionada con la dotación del suministro del agua potable, menos una porción que no será vertida al drenaje de aguas negras, como los jardines y lavado de vehículos. Por lo tanto, el caudal domiciliario se encuentra relacionado directamente con el factor de retorno lo cual puede variar entre 75% y 90%. (Boj, 2011).

f. Caudal de conexiones ilícitas

Es la cantidad de agua de lluvia que se ingiere al drenaje, proviene principalmente porque algunos usuarios, conectan las bajadas de aguas pluviales al sistema. Este caudal daña al sistema, debe evitarse para no causar posible destrucción del drenaje. Se calcula como un porcentaje del total de conexiones, como una función del área de techos y patios, y de su permeabilidad, así como de la intensidad de lluvia. El caudal de conexiones ilícitas se calcula a través de diferentes métodos:

1) Método racional

$$Q = (C * I * A) / 360 \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

- $Q$  es el caudal de conexiones ilícitas
- $C$  es el coeficiente de escorrentía que depende de la superficie
- $I$  es la intensidad de lluvia en el área en mm/hora
- $A$  es el área en hectáreas

2) Método del reglamento de la municipalidad de Guatemala

Este asigna un caudal por conexiones ilícitas de 100 lt/hab/día

$$Q = \frac{(100 \text{ lt} * \text{hab} * \text{día}) * (\text{No. habitantes})}{86400} \quad \text{Ecuación 49}$$

g. Caudal comercial

Es el agua de desecho proveniente de las edificaciones comerciales como comedores, restaurantes, hoteles, etc. La dotación comercial dependerá del establecimiento a considerar, este valor oscila entre 600 a 3,000 lt/comercio/día (Boj, 2011).

h. Caudal industrial

Es el agua de desecho de las industrias, exceptuando las industrias químicas o farmacéuticas, por no ser permitido que viertan toda clase de químicos en el alcantarillado. Tanto para el caudal comercial y el industrial, si no se cuenta con el dato de la dotación de agua suministrada, se puede asumir dependiendo del tipo de industria entre 1,000 a 18,000 lt/industria/día. (Boj, 2011).

i. Caudal de infiltración

El caudal aportado por agua de infiltración tendrá en cuenta, entre otros, la permeabilidad del terreno, la altura del nivel freático, si es que llega a alcanzar las tuberías, el tipo de tubería y juntas empleadas, la forma de unión de las conexiones domiciliarias y conexiones de la cámara de inspección, tomándose en consideración la posibilidad de fisuras y roturas de juntas debidas a temblores de tierra. (Lemus, 2016)

Para tuberías que quedarán sobre el nivel freático:

- Tuberías de cemento:  $q_i = 0.025 * \text{diámetro (in)}$
- Tuberías de PVC:  $q_i = 0.01 * \text{diámetro (in)}$

Para tuberías que quedaran bajo el nivel freático:

- Tuberías de cemento:  $q_i = 0.15 * \text{diámetro (in)}$
- Tuberías de PVC:  $q_i = 0.02 * \text{diámetro (in)}$

j. Factor de caudal medio

Este factor regula la aportación del caudal en la tubería, es la suma de los caudales: doméstico, de infiltración, por conexiones ilícitas y caudal comercial dividido por el número de habitantes. Este factor debe estar dentro de los rangos de 0.002 a 0.005, si da un valor menos se tomará 0.002 y si fuera mayor se tomará 0.005 (Boj, 2011).

$$F_{qm} = Q_m / \text{población} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

- $Q_m$  es el caudal domiciliario + caudal de conexiones ilícitas + caudal comercial + caudal de infiltración

k. Factor de Harmon

Este es un factor de seguridad que permite simular el uso simultáneo del sistema por el número de habitantes totales (Martínez, 2016)

$$FH = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

- $P$  es la población futura acumulada en miles

l. Ecuación de Manning

La ecuación de Manning es utilizada para calcular las velocidades del agua y canales con base en flujos constantes y canales abiertos (Martínez, 2016).

$$V = \frac{1 * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

- $V$  es la velocidad de flujo a sección llena (metros por segundo)
- $R$  es el radio hidráulico
- $D$  es el diámetro de la sección circular (metros)
- $S$  es la pendiente de la gradiente hidráulica (metros por milímetros)
- $N$  es el coeficiente de rugosidad de Manning

Las Normas del Instituto Nacional de Fomento Municipal -INFOM- especifican que, para los drenajes sanitarios, el diámetro mínimo de las tuberías de PVC debe ser de 6 pulgadas y de 8 pulgadas para las de concreto (Martínez, 2016).

m. Incremento geométrico

El método incremento geométrico es el más recomendado para el diseño, debido a que es un modelo matemático más apegado a la realidad de las comunidades. Fórmula a utilizar:

$$Pf = Po * (1 + r)^n \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

- $Pf$  es la población futura final del periodo de diseño.
- $Po$  es la población al inicio del periodo de diseño.
- $r$  es la tasa de incremento de la población anual.
- $n$  es el período de diseño en años.

n. Censo de población

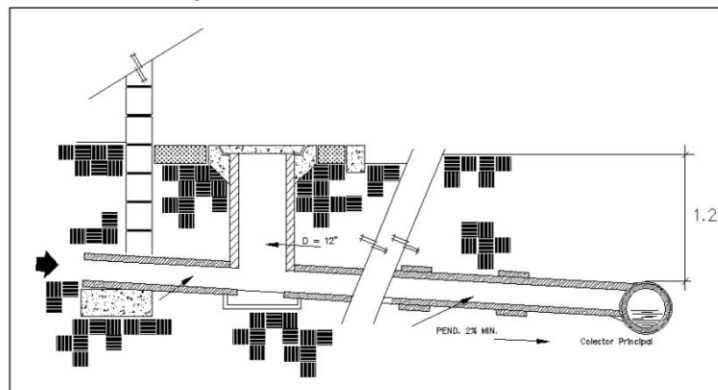
Se debe poseer un censo, que especifique el número de habitantes totales y por vivienda. El último censo realizado en Guatemala fue en año 2002, en donde Sacatepéquez tenía una densidad poblacional de 533 habitantes/km<sup>2</sup>. Y de acuerdo con el INE (2002), el total de hogares correspondía a 49 687 en donde únicamente 48 355 tenían acceso a agua entubada.

Dentro de los municipios del departamento con mayor cantidad de hogares se encuentra Antigua Guatemala, en donde existían 8 732 hogares donde 8 322 tenían acceso a agua entubada. (INE, 2002)

o. Profundidad mínima del coronamiento de la tubería

La profundidad mínima del coronamiento de la tubería con respecto a la superficie del terreno será de 1.20 metros como se muestra en la figura siguiente:

Figura 32. Profundidad de tubería.



Fuente: (Lemus, 2016).

Cuando la altura de coronamiento de la tubería principal resulte a una profundidad mayor de 3.00 metros bajo la superficie del terreno, se diseñará una tubería auxiliar, sobre la principal para las conexiones domiciliarias del tramo correspondiente (Lemus, 2016).

p. Pendientes máximas y mínimas

Es la pendiente que debe de tener la tubería para que el flujo se conduzca por gravedad, se puede obtener con la relación entre la longitud del tramo de la tubería y el promedio de las cotas o alturas; esto es para reducir costos de excavación. La pendiente de la tubería deberá adaptarse a la pendiente del terreno, sin embargo, todos los casos deben de cumplir con las especificaciones que determina la pendiente hidráulica. Se asume una pendiente inicial, de tal manera que la velocidad se mantenga en los parámetros de establecidos (Alcor, 2008).

q. Velocidades máximas y mínimas

Las velocidades máximas y mínimas que se permiten en el diseño de las tuberías son de 0.6 m/s como mínima y de 3.0 m/s la máxima, en tuberías de concreto. Para las tuberías de PVC estas velocidades cambian entre 0.4 m/s y 4 m/s. Estos parámetros de velocidad existen para evitar taponamientos por sedimentación gracias a una baja velocidad o evitar desgaste de las tuberías por la alta velocidad de los caudales (Gutiérrez, 2017).

r. Diámetro de tubería

Las normas del Instituto Nacional de Fomento Municipal (Infom), indican que el diámetro mínimo a colocar será de 8" en el caso de tubería de concreto y 6" para tubería de PVC, esto si el sistema de drenaje es sanitario, se utilizan estos diámetros debido a requerimientos de limpieza, flujo y evitar obstrucciones. Para las conexiones domiciliarias, se puede utilizar un diámetro de 6" para tubería de concreto y 4" para tubería de PVC, formando ángulo de 45 grados en el sentido de la corriente del colector principal (Lemus, 2016).

s. Topografía

La topografía es la ciencia que determina las dimensiones y el contorno (o características tridimensionales) de la superficie de la Tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones. Define también las líneas y niveles que se necesitan para la construcción de edificios, caminos, presas y otras estructuras. Además de estas mediciones de campo, la topografía incluye el

cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de los diagramas y planos necesarios (Wiley, 2013).

## M. Diseño de tanque estructural

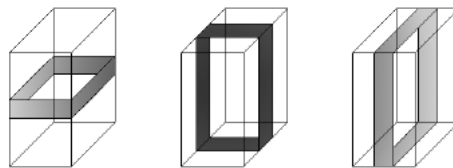
Para la realización del análisis de las paredes de un tanque rectangular se debe tomar en cuenta el comportamiento de las losas. Este comportamiento puede ser unidireccional o bidireccional; el cual, se determina mediante las características de la geometría y condiciones en los apoyos (empotrado o simplemente apoyado) al estar sometidas a cargas estáticas por la presión de agua y presión de suelo.

### 1. Diseño por el método de secciones

Para el cálculo de las fuerzas internas se realizan cortes transversales para conseguir secciones de diseño en las zonas críticas; zonas donde las cargas sean más altas o pueda existir mayor deflexión. Los cortes pueden ser de manera horizontal o vertical, dependiendo de las condiciones y característica del tanque. (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

Las secciones obtenidas deben ser sometidas a diferentes cargas y combinaciones de estas que se pudieran presentar durante la vida del tanque. Cada elemento del tanque está sometido a fuerzas de tracción y de compresión, las cuales son de las caras perpendiculares del tanque. En el caso de un tanque enterrado, el dimensionamiento es determinado por la capacidad de almacenamiento del tanque, pero estas pueden variar por la fuerza flotación, por lo que es importante conocer el nivel freático del suelo; de acuerdo con ello, se decide aumentar las secciones para evitar que el tanque flote.

figura 33. Ejemplificación de cortes



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

Para diseñar mediante dicho método, primero se hace un predimensionamiento del tanque y, por ende, de los elementos. Se verifica que las secciones cumplan con los espesores mínimos de acuerdo con las normas para corroborar que se resistan las fuerzas internas y que cumplan con los diversos

requisitos de seguridad. Luego se seleccionan las secciones de diseño en base a la geometría del tanque, tomando en cuenta el comportamiento de las losas. Se utiliza la losa con mayor rigidez y donde pueda existir mayor probabilidad de presentar fisuras.

Por consiguiente, se realiza el análisis estático de las secciones considerando todas las combinaciones de carga aplicables al tanque. En este caso la carga viva del tanque es producida por las presiones laterales de la tierra y las hidrostáticas. Debido a lo anterior, se analiza el tanque con la presencia o ausencia de las cargas mencionadas.

Se procede a obtener los momentos, cortes y fuerzas axiales, seleccionando los máximos en cada elemento. Además, se deben de tomar en cuenta aspectos de la norma ACI 350 – Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos. Se deben diseñar los tanques para que la fuerza cortante que se produce sea resistida por la sección de concreto. Y verificar que las secciones sean aptas para resistir fuerzas internas y el cálculo de los refuerzos que conformarán el tanque.

## 2. Diseño por el método de PCA

Para el análisis de tanques rectangulares existen diferentes métodos que se basan en el comportamiento de la losa (unidireccional o bidireccional). En el caso del análisis para una losa unidireccional el análisis corresponde a un proceso más sencillo que en una losa bidireccional, pues está última necesita cálculos de matemática avanzada. Dentro de los métodos para las losas bidireccionales se encuentran las tablas de Portland Cement Association -PCA-. Estas tablas fueron desarrolladas por la misma asociación y se publicaron en el manual “Rectangular Concrete Tanks” de Javeed Munshi.

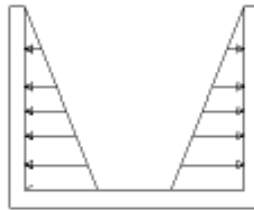
Las tablas proporcionan valores de deflexión, cortante y momentos en las diferentes direcciones para las condiciones de borde y de carga. Los valores de cada tabla son producto de análisis de elementos finitos de placas bidimensionales que están sujetas a cargas. Sin embargo, las tablas son utilizadas para el caso donde las paredes del tanque sean continuas, muros tengan mismas dimensiones y espesores de los elementos sean iguales. Si en dado caso, no se cumplen las condiciones anteriores se deben redistribuir los momentos teniendo en cuenta las rigideces.

Además, en el diseño se toman en cuenta las cargas que se generan en los muros adyacentes provocan tracciones y compresiones axiales. Para la selección de la tabla a utilizar es necesario definir las condiciones de apoyo y las relaciones del lado del muro. De igual manera para definir la tabla es necesario indicar que tipo de carga será, puede ser rectangular (carga distribuida) o carga triangular (carga distribuida variable).

Por consiguiente, con los coeficientes de la tabla seleccionada se puede calcular: deflexión, cortante y momentos. Además, para el diseño hay que tomar en cuenta la norma ACI 350. El diseño se realiza mediante las condiciones de carga que sean necesarias, las condiciones varían de acuerdo con el tipo de tanque.

- Condición carga hidrostática: cuando el tanque está lleno y no se tiene colaboración del suelo para resistir la carga del suelo, habitualmente es una condición utilizada para verificar que el tanque no posea fugas antes de rellenar el terreno.

Figura 34. Condición de cargas



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

- Condición presión lateral de suelo: condición en que el tanque esta vacío y solo se tiene la carga por la presión lateral del suelo. Se produce durante el funcionamiento del tanque.

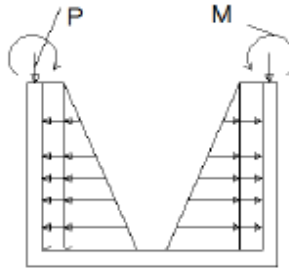
Figura 35. Condición presión lateral del suelo.



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

- Condición tanque lleno y tapado: en este caso el suelo no contribuye para resistir los esfuerzos generados y es necesario analizar la condición si la tapa genera momentos hacia los muros. Además, es necesario analizar la condición de únicamente presión hidrostáticas para evitar fugas.

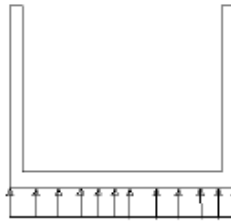
Figura 36. Condición tanque lleno y tapado.



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

- Condición de flotación: en caso de que el nivel freático se encuentre muy cerca de la losa de abajo del tanque, es necesario analizar si el propio peso del tanque puede resistir la flotación.

Figura 37. Condición de flotación

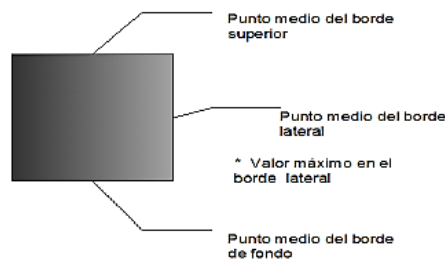


Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

En las tablas de PCA están dados los esfuerzos de la siguiente manera:

- Los coeficientes de fuerzas cortantes se dan en el centro de la base, en el centro de la tapa y en centro de los lados del tanque. Se indica el cortante máximo en los lados, las fuerzas cortantes de diseño se obtienen mediante ecuaciones. (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

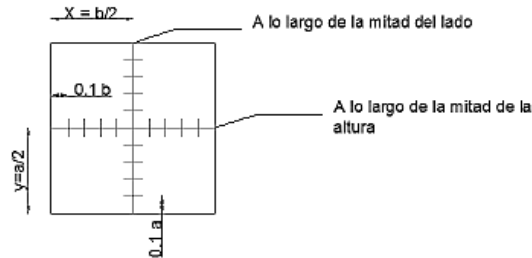
Figura 38. Ubicación de los coeficientes de cortante.



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

- Los coeficientes de deflexión se presentan en dos tablas que corresponden a las dos líneas con máximas deflexiones, estas son en la mitad de la altura y en la mitad del lado de la placa.

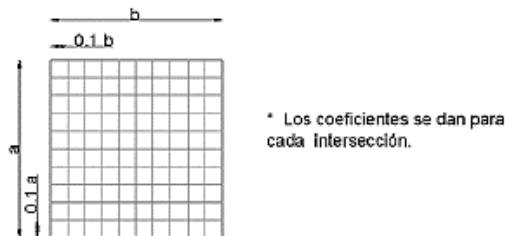
Figura 39. Ubicación de las deflexiones



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

- Los momentos son representados en tres diferentes tablas, que corresponden: horizontales, verticales y torsores. Esto es mediante una grilla de 10 x 10 divisiones, de este modo se obtiene variación de los momentos.

Figura 40. Ubicación de los coeficientes de los momentos de las tablas.



Fuente: (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013)

Al obtener los esfuerzos de diseño, se procede con la verificación. En el caso del cortante se verifica en los puntos indicados en la tabla; la resistencia de los elementos es afectada por fuerzas axiales generadas por muros colindantes. Los momentos de diseño se obtienen horizontal, verticalmente y en la cara interior y exterior de los muros, y en base a ellos se calcula el esfuerzo a flexión. Se verifica las deflexiones utilizando coeficientes que sean menores a los permitidos. Y utilizando fuerzas axiales que generan los muros colindantes se calcula el refuerzo a tracción necesario. (Arévalo Pulla & Barahona Barahona, 2013). Para obtener todos los resultados previamente explicados, se deben de llevar a cabo los siguientes cálculos:

a. Condiciones de cargas

La situación menos favorable para el tanque, la cual sería al momento que esté totalmente lleno, pero de igual manera al ser un tanque enterrado se analiza el empuje del suelo. De acuerdo con ello, la condición de carga única a evaluar son las fugas. Se calcula la presión estática, mediante una distribución estática, la cual está dada por:

$$q = \gamma * H \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

- $q$  es la presión estática del agua
- $\gamma$  es el peso específico del agua
- $H$  es la altura total del tanque

Y luego las presiones dinámicas, las cuales son las presiones laterales. Pero previo a eso, se debe calcular las fuerzas dinámicas del componente impulsivo y del componente convectivo; estas están dadas por:

$$W_i = W_L \left[ \frac{\tanh \left( 0.866 * \frac{L}{H_L} \right)}{0.866 * \frac{L}{H_L}} \right] \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

- $W_i$  es el peso dinámico del componente impulsivo
- $W_L$  es el peso del agua
- $L$  es el largo del tanque
- $H_L$  es la altura del liquido

$$W_c = W_L \left[ 0.264 * \frac{L}{H_L} * \tanh \left( 3.16 * \frac{L}{H_L} \right) \right] \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

- $W_c$  es el peso dinámico del componente convectivo
- $W_L$  es el peso del agua
- $L$  es el largo del tanque
- $H_L$  es la altura del liquido

b. Análisis sísmico

El análisis se realiza mediante la norma de Seguridad Estructural para la República de Guatemala -NSE 2-. Este análisis toma en consideración la ubicación del tanque para los factores de índice de sismicidad, el tipo de obra, el ajuste por clase de sitio, coeficientes de sitio, ajuste por intensidad sísmica especial, factores en base al tipo de sistema estructural y factores de periodo fundamental de vibración. Con el fin de obtener los períodos cortos y largos, y las ondas espectrales a las que iba a estar sometido el tanque diseñado

c. Modelo dinámico

Para realizar el modelo dinámico se determinan los coeficientes de respuesta sísmica. Para ello era necesario la respuesta a la aceleración del diseño espectral para periodos cortos y la respuesta para el periodo de un segundo. Estas están dadas por:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * S_{cr} * F_a \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

- $S_{DS}$  es la respuesta a la aceleración del diseño espectral para periodos cortos.
- $S_{cr}$  es ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerando el basamento de roca del sitio de interés.
- $F_a$  es el coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{1r} * F_v \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

- $S_{D1}$  es la respuesta a la aceleración del diseño espectral para periodos de un segundo
- $S_{1r}$  es ordenada espectral de periodo de un segundo del sismo extremo considerando el basamento de roca del sitio de interés.
- $F_v$  es el coeficiente de sitio para periodos de vibración largos

Luego se hallan las propiedades dinámicas mediante el ACI 350.3-06 (Diseño sísmico de estructuras de concreto contenedoras de líquido), en este caso se utilizaron ecuaciones para el caso de una pared de espesor uniforme para calcular la masa total por unidad de ancho del tanque.

$$m = m_w + m_i \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde:

- $m$  es masa total por unidad de ancho del tanque
- $m_w$  es la masa por unidad de ancho
- $m_i$  es masa impulsiva de líquido contenido

$$m_w = H_w * \frac{t_w}{12} * \frac{\gamma_c}{g} \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

- $H_w$  es la altura desde la base de la pared hasta el centro de gravedad
- $t_w$  es el espesor promedio de la pared
- $\gamma_c$  es la densidad del concreto
- $g$  es la gravedad

$$m_i = \frac{W_i}{W_L} * \frac{L}{2} * H_L * \frac{\gamma_L}{g} \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

- $W_i$  es el peso dinámico del componente impulsivo
- $W_L$  es el peso del agua
- $L$  es el largo del tanque
- $H_L$  es la altura del líquido
- $\gamma_c$  es la densidad del concreto
- $g$  es la gravedad

Luego se determina el periodo fundamental de oscilación del tanque, para poder aplicar los factores de amplificación para: los movimientos horizontales del componente de convección y los movimientos horizontales del componente de impulsión.

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

- $T_i$  es el periodo fundamental de oscilación del tanque
- $m$  es masa total por unidad de ancho del tanque
- $k$  es la rigidez de las paredes del tanque

Por consiguiente, se determinan los coeficientes de amplificación necesarios para obtener las presiones laterales. En el caso del componente de impulsión, se halla mediante las siguientes condiciones:

$$\text{Para } T_I \leq T_S \text{ es } C_i = S_{DS}$$

$$\text{Para } T_I > T_S \text{ es } C_i = S_{D1}/T_I \leq S_{DS}$$

Donde:

$$T_S = S_{D1}/S_{DS} \quad \text{Ecuación 63}$$

Y para el cálculo del coeficiente de amplificación para el componente convectivo.

$$\text{Para } T_c \leq 1.6/T_c \text{ es } C_c = 1.5S_{D1}/T_c \leq 1.5S_{DS}$$

$$\text{Para } T_c > \frac{1.6}{T_c} \text{ es } C_c = 0.6 * (0.4S_{DS}/T_c^2) \leq 2.4S_{DS}/T_c^2$$

#### d. Fuerzas dinámicas laterales

Según el ACI 350.3-01, los muros de estructuras contenedoras están diseñadas para soportadas fuerzas dinámicas sumadas a las presiones hidrostáticas; las cuales son: fuerza de inercia lateral de la cubierta ( $P_r$ ), fuerza de inercia lateral del muro ( $P_w$ ), presión impulsiva hidrodinámica ( $P_i$ ), presión convectiva hidrodinámica ( $P_c$ ), y los efectos de la aceleración vertical. Dichas presiones se calculan de la siguiente manera:

$$P_w = ZSIC_i * \varepsilon W_w / R_{wi} \quad \text{Ecuación 66}$$

$$P_r = ZSIC_i * \varepsilon W_r / R_{wi} \quad \text{Ecuación 67}$$

$$P_i = ZSIC_i * \varepsilon W_i / R_{wi} \quad \text{Ecuación 65}$$

$$P_c = ZSIC_c * \varepsilon W_c / R_{wc} \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

- $Z$  es factor de zona sísmica
- $S$  es el coeficiente de perfil de sitio
- $I$  es el factor de importancia
- $C_i$  es el factor de amplificación de espectro periodo-pendiente para los movimientos horizontales de la componente de impulsión
- $C_c$  es el factor de amplificación de espectro periodo-pendiente para los movimientos horizontales de la componente de convección.
- $\varepsilon$  es el coeficiente de masa efectiva
- $W_w$  es la masa del muro del tanque
- $W_r$  es la masa del muro del tanque
- $W_i$  es la componente impulsiva de la masa del líquido
- $W_c$  es la componente convectiva de la masa del líquido
- $R_{wi}$  es el factor de modificación de respuesta para componente impulsivo
- $R_{wc}$  es el factor de modificación de respuesta para componente convectivo

Algunos de los factores anteriores se determinan mediante las siguientes tablas, obtenidas del ACI350.3:

Cuadro 23. Factor de zona sísmica  $Z$

Tabla4 (a) – Factor de zona sísmica $Z$	
Zona sísmica	Factor $Z$
1	0.075
2A	0.15
2B	0.20
3	0.30
4	0.40

\*El factor de zona sísmica  $Z$  representa el pico máximo de la aceleración efectiva (EPA), correspondiente al movimiento del suelo teniendo un 90% de probabilidad de no excedencia en 50 años.  
Fuente: (American Concrete Institute, 2003)

Cuadro 24. Coeficiente de perfil de suelos

Tabla 4(b) – coeficiente de perfil de suelo S		
Tipo	Descripción del perfil	Coeficiente
A	Perfil con (a) material rocoso caracterizado por una velocidad de onda de corte mayor que 2500 pies/seg (762 m/s), o por otra forma conveniente de clasificación; o (b) medio-densa a densa o semi-rígido con profundidades menores a 200 pies (60960 mm)	1.0
B	Un perfil de suelo con predominancia de condiciones de suelo medio-densa a densa o semi-rígida a rígida, donde la profundidad del estrato excede 200 pies (60960 mm)	1.2
C	Un perfil de suelo con más de 20 pies (60960 mm) de arcilla blanda a medio-rígida pero no más de 40 pies (12192 mm) de arcilla blanda.	1.5
D	Un perfil de suelo con más de 40 pies (12192 mm) de arcilla blanda caracterizado por una velocidad de onda de corte menor que 500 pies/seg (152.4 m/s)	2.0

Nota: el factor del perfil será establecido de datos geotécnicos correctamente verificados. En lugares donde no se sepan las características del suelo con suficiente detalle para determinar el perfil del suelo, tipo C será usado. El perfil D del suelo no necesita ser asumido a menos que el profesional encargado determine que el perfil D puede estar presente en el sitio, o en la eventualidad que el perfil D se establezca con datos geotécnicos.  
Fuente: (American Concrete Institute, 2003)

Cuadro 25. Factor de importancia.

Tabla 4(c) – Factor de importancia I	
Uso del estanque	Factor I
Estanques que contienen material peligroso*	1.5
Estanques cuyo contenido es usable para distintos propósitos después de un terremoto, o estanques que son parte de sistemas de salvataje	1.25
Otros	1.0

\*Para estanques que contenga material peligroso, el juicio ingenieril puede necesitar  $I > 1.5$  para considerar un terremoto mayor al terremoto de diseño.

Fuente: (American Concrete Institute, 2003)

Cuadro 26. Factor de modificación de respuesta.

Tabla 4 (d) – Factor de modificación de la respuesta $R_w$			
Tipo de estructura	$R_{wi}$ superficial o en pendiente	Enterrado*	$R_{wc}$
(a) anclados, base flexible	4.5	4.5++	1.0
(b) empotrados o simple apoyado	2.75	4	1.0
(c) no anclados, llenos o vacíos**	2.0	2.75	1.0
(d) estanques elevados	0.4	-	1.0

\*El estanque enterrado es en el cual el nivel piezométrico máximo con agua en descanso está a nivel de terreno o nivel subterráneo. Para estanques parcialmente enterrados, el valor de  $R_{wi}$  se puede obtener de interpolación lineal de los valores para estanques en superficie y estanques enterrados. ++ $R_{wi}=4.5$  es el máximo valor que puede adoptar  $R_{wi}$  para cualquier tipo de estanques de concreto. \*\*Estanques no anclados, vacíos no deben ser construidos en zona sísmica 2B o mayor.

Fuente: (American Concrete Institute, 2003)

e. Presiones dinámicas unitaria

Las presiones unitarias se hallan mediante el manual de ACI 350.06, éstas se hallan de acuerdo con los componentes de convección e impulsión. Según a las siguientes ecuaciones:

$$P_{cy} = \frac{0.5P_c \left[ 4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left( \frac{\gamma}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} \quad \text{Ecuación 68}$$

$$P_{iy} = \frac{0.5P_i \left[ 4H_L - 6h_c - (6H_L - 12h_c) \left( \frac{\gamma}{H_L} \right) \right]}{H_L^2} \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde:

- $P_C$  es la fuerza total lateral convectiva
- $P_i$  es la fuerza total lateral impulsiva
- $H_L$  es la profundidad de diseño del tanque
- $h_c$  es altura sobre la base del muro al centro de gravedad
- $\gamma$  es el nivel de líquido.

Y se obtiene el coeficiente de masa efectiva, para verificar que las dimensiones cumplan, en donde este debe ser menor a uno para tanques rectangulares.

$$\varepsilon = \left[ 0.0151 \left( \frac{L}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left( \frac{L}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1 \quad \text{Ecuación 70}$$

Y también la fuerza de inercia unitaria que será utilizada para hallar la presión dinámica total

$$p_{wy} = P_{wy}/B \quad \text{Ecuación 71}$$

Donde:

- $p_{wy}$  es la fuerza de inercia unitaria
- $P_{wy}$  es la fuerza de inercia lateral
- $B$  es el largo interno de un estanque rectangular

#### f. Distribución dinámica horizontal

Se determina la presión hidrodinámica con el efecto de la aceleración para luego hallar la presión hidrodinámica total que servirá para hallar la carga dinámica para la combinación de cargas

$$p_{vy} = \ddot{u}_v * q_{hy} \quad \text{Ecuación 72}$$

Donde:

- $p_{vy}$  es presión hidrodinámica unitaria por efectos de la aceleración vertical.
- $\ddot{u}_v$  es la aceleración efectiva espectral del espectro de respuesta inelástico vertical.
- $q_{hy}$  es la presión hidrostática a nivel de la altura del líquido.

g. Presión dinámica del suelo

Para la determinación de la presión dinámica del suelo, es necesario obtener la presión activa de tierra de Coulomb y a está agregarle las fuerzas ocasionadas por el sismo. (Das, 2012).

$$P_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2(1 - k_v) * k \quad \text{Ecuación 73}$$

Donde:

- $P_a$  es la presión dinámica del suelo
- $\gamma$  es el peso del suelo
- $H$  es la altura del tanque enterrado
- $k_v$  es el coeficiente del componente vertical de la aceleración del sismo.
- $k$  es el coeficiente de presión activa del suelo

h. Combinación de cargas

Existen dos diferentes combinaciones de cargas para evaluar el tanque y se selecciona el resultado mayor. Las combinaciones son las siguientes:

$$1.7q_1 \quad \text{Ecuación 74}$$

$$1.2F + 1E \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde:

- $q_1$  la carga estática del agua, distribución triangular.
- $F$  la carga del agua
- $E$  es la presión hidrodinámica total

i. Diseño por flexión de las paredes

Se calculan los momentos flectores que se generan en las paredes del tanque, en dirección vertical y horizontal. Por lo que se crearon distintos coeficientes de acuerdo con el caso PCA

seleccionado, mediante las relaciones de dimensiones largo/alto y ancho/alto. En este caso, el tanque posee la misma medida de largo y ancho por lo que solo es una relación.

Sin embargo, como no se puede interpolar los valores obtenidos, se decidió elegir valores mayores para ser más conservador el cálculo. Y así, se seleccionó las tablas para los coeficientes que se utilizarán. Los coeficientes  $M_x$  y  $M_z$  se utilizan para el cálculo de momentos verticales en el muro largo y muro corto. Y los coeficientes de  $M_y$  se utilizan para el cálculo de momentos horizontales de muro largo y muro corto. En el caso de los momentos en  $y$ , que permiten diseño de acero horizontal se grafican alrededor del muro.

De acuerdo con el manual del ACI 350 se debe de amplificar los momentos de estructuras contenedoras de líquidos mediante un factor de 1.7 que se refiere al empuje del agua y por un factor de durabilidad de 1.3. Con el aumento de los momentos, se determina el momento máximo vertical  $M_x$  y el momento máximo horizontal  $M_y$  (positivos y negativos). En base a los valores obtenidos se diseña para el acero necesario.

Se calcula el refuerzo necesario y luego mediante la tabla de corrección del método PCA se obtiene un nuevo valor para la cuantía de acero. Se obtiene, mediante el valor de la tabla de PCA (*ver Cuadro 27*), la cuantía de acero requerida y se compara con la mínima; según a estas dos se selecciona la mayor y se procede a calcular el área del acero para poder determinar qué tipo de refuerzo se colocará.

Cuadro 27. Valores de esfuerzo de flexión para cálculo de cuantía de acero.

**Table A-1 Flexural Strength  $M_u/\phi f'_c b d^2$  or  $M_n/f'_c b d^2$  of Rectangular Sections with Tension Reinforcement only**

$\omega$	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
0.0	0	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0080	.0090
0.01	.0099	.0109	.0119	.0129	.0139	.0149	.0159	.0168	.0178	.0188
0.02	.0197	.0207	.0217	.0226	.0236	.0246	.0256	.0266	.0275	.0285
0.03	.0295	.0304	.0314	.0324	.0333	.0343	.0352	.0362	.0372	.0381
0.04	.0391	.0400	.0410	.0420	.0429	.0438	.0448	.0457	.0467	.0476
0.05	.0485	.0495	.0504	.0513	.0523	.0532	.0541	.0551	.0560	.0569
0.06	.0579	.0588	.0597	.0607	.0616	.0625	.0634	.0643	.0653	.0662
0.07	.0671	.0680	.0689	.0699	.0708	.0717	.0726	.0735	.0744	.0753
0.08	.0762	.0771	.0780	.0789	.0798	.0807	.0816	.0825	.0834	.0843
0.09	.0852	.0861	.0870	.0879	.0888	.0897	.0906	.0915	.0923	.0932
0.10	.0941	.0950	.0959	.0967	.0976	.0985	.0994	.1002	.1011	.1020
0.11	.1029	.1037	.1046	.1055	.1063	.1072	.1081	.1089	.1098	.1106
0.12	.1115	.1124	.1133	.1141	.1149	.1158	.1166	.1175	.1183	.1192
0.13	.1200	.1209	.1217	.1226	.1234	.1243	.1251	.1259	.1268	.1276
0.14	.1284	.1293	.1301	.1309	.1318	.1326	.1334	.1342	.1351	.1359
0.15	.1367	.1375	.1384	.1392	.1400	.1408	.1416	.1425	.1433	.1441
0.16	.1449	.1457	.1465	.1473	.1481	.1489	.1497	.1506	.1514	.1522
0.17	.1529	.1537	.1545	.1553	.1561	.1569	.1577	.1585	.1593	.1601
0.18	.1609	.1617	.1624	.1632	.1640	.1648	.1656	.1664	.1671	.1679
0.19	.1687	.1695	.1703	.1710	.1718	.1726	.1733	.1741	.1749	.1756
0.20	.1764	.1772	.1779	.1787	.1794	.1802	.1810	.1817	.1825	.1832
0.21	.1840	.1847	.1855	.1862	.1870	.1877	.1885	.1892	.1900	.1907
0.22	.1914	.1922	.1929	.1937	.1944	.1951	.1959	.1966	.1973	.1981
0.23	.1988	.1985	.2002	.2010	.2017	.2024	.2031	.2039	.2046	.2053
0.24	.2060	.2067	.2075	.2082	.2089	.2096	.2103	.2110	.2117	.2124
0.25	.2131	.2138	.2145	.2152	.2159	.2166	.2173	.2180	.2187	.2194
0.26	.2201	.2208	.2215	.2222	.2229	.2236	.2243	.2249	.2256	.2263
0.27	.2270	.2277	.2284	.2290	.2297	.2304	.2311	.2317	.2324	.2331
0.28	.2337	.2344	.2351	.2357	.2364	.2371	.2377	.2384	.2391	.2397
0.29	.2404	.2410	.2417	.2423	.2430	.2437	.2443	.2450	.2456	.2463
0.30	.2469	.2475	.2482	.2488	.2495	.2501	.2508	.2514	.2520	.2527
0.31	.2533	.2539	.2546	.2552	.2558	.2565	.2571	.2577	.2583	.2590
0.32	.2596	.2602	.2608	.2614	.2621	.2627	.2633	.2639	.2645	.2651
0.33	.2657	.2664	.2670	.2676	.2682	.2688	.2694	.2670	.2706	.2712
0.34	.2718	.2724	.2730	.2736	.2742	.2748	.2754	.2760	.2766	.2771
0.35	.2777	.2783	.2789	.2795	.2801	.2807	.2812	.2818	.2824	.2830
0.36	.2835	.2841	.2847	.2853	.2858	.2864	.2870	.2875	.2881	.2887
0.37	.2892	.2898	.2904	.2909	.2915	.2920	.2926	.2931	.2937	.2943
0.38	.2948	.2954	.2959	.2965	.2970	.2975	.2981	.2986	.2992	.2997
0.39	.3003	.3003	.3013	.3019	.3024	.3029	.3035	.3040	.3045	.3051

Fuente: (Munshi, 2006)



## IV. METODOLOGÍA

### A. Agua potable

#### 1. Fase preliminar

La fase consistió en una investigación bibliográfica con el objetivo de comprender los conceptos y el proceso que se llevaría a cabo para el desarrollo de los cálculos necesarios. De igual manera, se delimitaron las fuentes de abastecimiento de agua potable de La Antigua Guatemala por medio del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base”.

Posteriormente, en el caso del diseño para La Antigua Guatemala, se contó con la ayuda del Centro de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para la obtención de capas Ráster para el desarrollo de una matriz de análisis de riesgo y determinar la ubicación del nuevo sistema de abastecimiento de agua potable. Además, se solicitó al Instituto Nacional de Estadística, datos de población de La Antigua Guatemala. Los mismos fueron entregados vía correo electrónico, los cuales consistían en proyecciones hasta el año 2020.

En el caso de la aldea San Pedro Las Huertas se contactó al departamento de Aguas de Antigua Guatemala para determinar el alcance de la investigación. Sobre la información a presentar y áreas a tratar. Se realizaron tres diferentes tipos de fichas técnicas, una para tanques, otra para pozos y una para llena cántaros. Esto con el fin de obtener la información necesaria de los componentes del sistema. Es importante mencionar que el formato de las fichas técnicas utilizadas fue obtenido del megaproyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base”.

Y, por último, para la Aldea San Juan El Obispos, se definieron dos partes para esta fase de la metodología. La primera parte de la investigación preliminar consistía en recabar información acerca de la comunidad que fuera a ser útil en el desarrollo del proyecto. En esta parte de la investigación se recabó información como la población de la aldea, su forma de vida, las características físicas del lugar, las condiciones de los sistemas de distribución, el acceso a agua potable y otras. Durante esta primera parte se realizaron proyecciones de población basados en datos proveídos por el Instituto Nacional de Estadística.

La segunda parte de la investigación preliminar consistió en una visita de campo con representantes del Departamentos e Aguas de Antigua Guatemala. En la visita se dio un recorrido

general por las aldeas en las que se estaría realizando el proyecto y se aprovechó para contactar a los fontaneros y personas encargadas del área.

## 2. Fase de campo

### a. La Antigua Guatemala

Se realizó visita a los tanques que suministran agua potable actualmente a La Antigua Guatemala con el fin de conocer su ubicación y realizar un aforo de cada uno de ellos. La visita se realizó en acompañamiento de personas de la Municipalidad de La Antigua Guatemala.

Se pudieron visitar todos los tanques existentes y se pudo obtener las coordenadas de posición geográfica, con el fin de verificar los datos obtenidos del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base”. Sin embargo, durante la visita no se pudieron realizar los aforos de los tanques de abastecimiento de agua potable; debido a que estos se encontraban totalmente llenos; en el caso de tanques como El Cristo no se encontraba el técnico a cargo y, por ende, no se tenían disponibles las llaves para abrir el tanque.

### b. Aldea San Pedro Las Huertas.

Se visitaron los pozos, nacimientos, llena cántaros y tanques del sistema de abastecimiento de agua potable de San Pedro las Huertas, así como la obtención de datos de estos elementos. Estas visitas técnicas se realizaron en el mes de junio. Los datos obtenidos fueron mediante las visitas técnicas, la información de parte del Departamento de aguas y la experiencia de los trabajadores municipales. Los datos obtenidos serán los siguientes:

- Nombre de la captación o tanque
- Ubicación del elemento
- Geoposicionamiento del elemento
- Dimensiones y volumen de los tanques de agua
- Volumen de los tanques de cloro
- Material y diámetro de las tuberías de entrada y salida
- Destino (lugar al que se dirige el agua desde la tubería de salida)
- Origen (lugar de donde proviene el agua por la tubería de entrada)

- Fotos del lugar
- Profundidad de la tubería de inducción de pozos
- Potencia de las bombas de los pozos y rebombeos
- Fontanero o técnico que proporcionó información del elemento
- Horas de servicio diario de bombas
- Otras observaciones

Se obtuvo la información sobre caudales de pozos, profundidades de pozos, niveles estáticos y dinámicos por el Departamento de Aguas de Antigua Guatemala y del Megaproyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base”. De igual forma, información como las profundidades de pozos y potencias de bombas fueron provistas por los fontaneros encargados del lugar. Los caudales fueron descritos con una ecuación y comparados con los obtenidos. Las georreferencias fueron obtenidas del GPS proporcionado por CONRED.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fueron proporcionados por el Departamento de Salud Pública de Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Se realizó la topografía necesaria para el diseño de la línea de conducción del nuevo pozo. La topografía fue tomada con la estación total GOWIN TKSS-202, proporcionada por la Universidad del Valle de Guatemala. Se tomaron 18 puntos desde el pozo de la plaza de San Pedro las Huertas hasta el nuevo pozo. Los puntos fueron iniciando del pozo de la plaza, yendo en el contorno de la calle hasta llegar hasta el pozo nuevo.

c. Aldea San Juan El Obispo

Durante esta fase del proyecto se visitó en repetidas ocasiones San Juan el Obispo con personal del Departamento de Aguas de Antigua Guatemala. El fin de las visitas fue obtener información de los sistemas de conducción y abastecimiento de la aldea que consisten en pozos y tanques. La información recaudada de los elementos del sistema fue:

- Nombre por el que se le conoce al elemento
- Ubicación geográfica del elemento
- Población
- Caudal de los pozos
- Presión de los pozos

- Horas de servicio diario de los pozos
- Materiales de las tuberías
- Diámetros de las tuberías
- Nivel estático y dinámico de los pozos
- Observaciones generales del elemento
- Fotografías del elemento
- Dimensiones de los tanques cisterna
- Capacidad de los tanques cisterna
- Cloración de las fuentes de agua
- Origen del agua que llegaba a los tanques cisterna

La información recaudada provino de diferentes fuentes. El Departamento de Aguas de Antigua Guatemala proveyó de algunos datos importantes para la investigación. Mucha de la información recaudada de los elementos del sistema de conducción provino del subtema “Agua potable en Antigua Guatemala” perteneciente al proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – fase 1: línea base” realizado por el estudiante Raffaello Marinelli. En algunos casos no fue posible encontrar datos acerca de los pozos, por lo que en esos casos se hizo una estimación razonable o se trabajó sin el dato.

### 3. Fase de análisis

En esta fase, el inciso *a)* y *b)* únicamente se realizó para La Antigua Guatemala. Luego los incisos del *c)* al *g)* se realizaron para tres aldeas: La Antigua Guatemala, San Pedro Las Huertas, y San Juan El Obispo. Por último, el inciso *h)*, correspondiente al diseño de red de distribución se realizó únicamente para la aldea San Juan El Obispo.

#### a. Elaboración de matriz de análisis de riesgo

Para la elaboración de la matriz de análisis de riesgo se contó con ayuda del Ingeniero Diego Incer, quien es el coordinador de laboratorio SIG y percepción remota del Centro de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. En la elaboración de la matriz se utilizaron los siguientes elementos: ráster de pendientes, ráster de precipitación, ráster de deslizamiento y el shapefile de uso de suelo. Además, se utilizó programa de sistema de ubicación geográfica -QGIS-. A continuación, se detallará por medio de pasos lo que se realizó para poder obtener la matriz de análisis:

## 1) Reclasificación de elementos

En la primera parte se reclasificó la información de cada capa utilizada (pendiente, precipitación, deslizamiento y uso de suelo) en cuatro clases; a las cuales se les asignó una descripción de acuerdo con lo que el valor de la clase representaba para los resultados de la investigación.

La reclasificación consistió básicamente en asignarle un valor a cada tipo de capa, por lo que al momento de sumarlas fuera sencillo de determinar el resultado. Por lo que, a la capa de pendiente se le asignaron valores unitarios; a la capa de precipitación centenas; a la capa de deslizamiento miles y a la capa de uso de suelo cien miles. (Ver Cuadros 28. 29. 30 y 31)

Cuadro 28. Reclasificación de valores para pendiente.

Pendiente		
Clasificación	Rangos	Descripción
1	0%-5%	Muy buena pendiente
2	6%-10%	Buena pendiente
3	11%-15%	Mala pendiente
4	16%-adelante	Muy mala pendiente

Elaboración: (Zenia Elizabeth de León Kestler y Laura María Mérida Cano)

Cuadro 29. Reclasificación de valores para precipitación

Precipitación		
Clasificación	Rangos	Descripción
100	1065	Mala precipitación
200	1212	Buena precipitación
300	1359	Muy buena precipitación
400	1507	Muy mala precipitación

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler y Laura María Mérida Cano)

Cuadro 30. Reclasificación de valores para deslizamiento.

Deslizamientos		
Clasificación	Rangos	Descripción
1000	Baja	No hay deslizamiento
2000	Media	Bajo deslizamiento
3000	Alta	Medio deslizamiento
4000	Muy alta	Alto deslizamiento

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler y Laura María Mérida Cano)

Cuadro 31. Reclasificación de valores para uso de suelo.

Uso de suelo		
Clasificación	Rangos	Descripción
100000	Pastizal	Muy buen uso de suelo
200000	Bosques	Buen uso de suelo
300000	Vegetación arbustiva baja	Mal uso de suelo
400000	Agricultura, café, cultivos permanentes, urbanización	Muy mal uso de suelo

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler y Laura María Mérida Cano)

## 2) Unificación de capas

Luego de la finalización de reclasificación de valores de las capas a utilizar. Se utilizó la calculadora de rásters, en donde se sumó cada capa a evaluar (pendiente, precipitación, deslizamiento y uso de suelo). Y luego se guardó el archivo en .tif. Sin embargo, al finalizar el proceso los pixeles de la matriz eran demasiados grandes, por lo que la información se generalizaba de manera en que ya no era útil para la investigación. Se determinó que la capa que ocasionaba dichos problemas era la de precipitación.

Por lo anterior, se pasó la información del ráster a puntos, los cuales estaban a una distancia de un kilómetro. Cabe mencionar que los puntos son el centroide de un píxel, por lo que para obtener mejores resultados se interpoló, para que quedaran a una distancia de cinco metros. Al finalizar la interpolación se pasaron los puntos a una capa ráster. Luego para que toda la información de las otras capas coincidiera con los mismos puntos de la modificada, se creó una máscara. Luego se volvió a realizar la suma de ráster y todas fueron multiplicadas por la máscara para que los datos a obtener fueran correctos.

Debido a la cantidad de pixeles se decidió dejar el ráster final en forma de rectángulo, de tal manera que cubriera todo el departamento de Sacatepéquez; pues al tratar de cortar el ráster con la forma de dicho departamento, los pixeles provocaban que la forma se distorsionara y por ende no se cubriera cada parte del departamento.

## 3) Evaluación de valores de la matriz

Al tener la matriz finalizada, se extrajo los valores de la sumatoria de las capas para evaluar las combinaciones obtenidas y determinar la ubicación ideal para el nuevo tanque de almacenamiento de agua potable.

Sin embargo, la matriz extraída cubría todo el departamento de Sacatepéquez, de tal manera se poseían más datos de los necesarios; ya que el tanque a proponer estaría ubicado en algún punto del Cerro de la Cruz de La Antigua Guatemala. Por lo que, de acuerdo con la visita realizada se conocía algunos terrenos en donde el tanque podría estar ubicado; de acuerdo con lo anterior, se evaluaron los puntos de dichos terrenos mediante la ayuda de Google Earth y se escogió el que poseía mejores características.

b. Análisis de ráster individual

Para realizar una comparación de resultados, y verificar si el tamaño de los píxeles de la matriz no afecta los resultados obtenidos; se analizó de forma individual cada matriz. Para ello se utilizaron los siguientes elementos: modelo digital de elevación de Guatemala -DEM-, ráster de pendientes, ráster de precipitación, ráster de deslizamientos, shapefile de uso de suelo y shapefile de departamentos de Guatemala.

De acuerdo con cada elemento utilizado en la matriz (pendiente, precipitación, deslizamiento y uso de suelo), se ubicó el tanque y se determinó que valor existía para cada uno según a la reclasificación realizada. Luego se realizó la suma y se contrastó con la suma obtenida de la matriz.

c. Determinación volumen del tanque

El tanque se dimensionó de acuerdo con parámetros iniciales establecidos mediante la norma del Instituto de Fomento Municipal de Guatemala -INFOM-. Por lo que primero se determinó una proyección de la población de las tres aldeas (La Antigua Guatemala, San Pedro Las Huertas, y San Juan El Obispo) para 24 años (año 2042) en base a la población del censo realizado en el 2002.

A partir de la población proyectada se definió la dotación que se le asignaría a cada habitante por día, para luego encontrar el caudal de diseño y por consiguiente el caudal máximo diario, caudal máximo horario y el caudal de bombeo. Debido a que todas las fuentes de agua que abastecerán el tanque corresponden a pozos, se utilizó el caudal de bombeo para determinar el volumen del tanque.

En este caso se utilizó un volumen de compensación del 25%, ya que no se contaban con los datos de consumo de la población. El volumen del tanque se definió, mediante la siguiente ecuación:

$$V = Q_b * t * \%V$$

Ecuación 76

Donde:

- $V$  es el volumen del tanque
- $Q_b$  es el caudal de bombeo
- $t$  es el tiempo de almacenamiento
- $\%V$  es el porcentaje del volumen de compensación

d. Dimensionamiento del tanque estructuralmente

El tanque está compuesto estructuralmente por elementos de concreto armado, los cuales son: paredes, losa de tapa y losa de fondo. Por lo que, como primer paso se determinó el dimensionamiento de las paredes del tanque; pues de acuerdo con el código de artículo 14.6 del ACI 350 el espesor de las paredes no será menos de 6 in (15 cm), ni menos de 1/30 la distancia mínima entre los miembros que dan apoyo lateral. Y las paredes de concreto armado con una altura del líquido igual o mayor a 3.00 m, tendrán un espesor mínimo de 30 cm.

Luego se determinó el comportamiento de la losa, de acuerdo con el artículo 10.6.2 del ACI 350-06 en donde se considera losa unidireccional cuando la relación de *lado largo/lado corto*  $> 2$  y losa bidireccional cuando *lado largo/lado corto*  $\leq 2$ . Luego, en el caso de la losa tapa para determinar el dimensionamiento de la losa de tapa, se hace referencia al comportamiento estructural de la losa; por lo que si es unidireccional el espesor será igual a  $e = l/30$  y para losas bidireccionales  $e = \frac{l}{40}$  o  $e = \text{perimetro}/180$ . Y para la losa de fondo, según en el apéndice H del ACI 350 el espesor mínimo para las losas de cimentación sea de 6in (15cm).

Luego se determinó las condiciones de borde en las paredes y losa de tapa del tanque; en donde los cuatro muros son continuos entre sí y la parte inferior es empotrada. Por otro lado, para el caso del borde superior se realiza una relación de rigideces entre las paredes y la losa superior, en base al método Portland Cement Association -PCA- dicha relación se puede determinar de la siguiente manera:

$K_{pared}/K_{losas} > 8$  es una losa empotrada de paredes

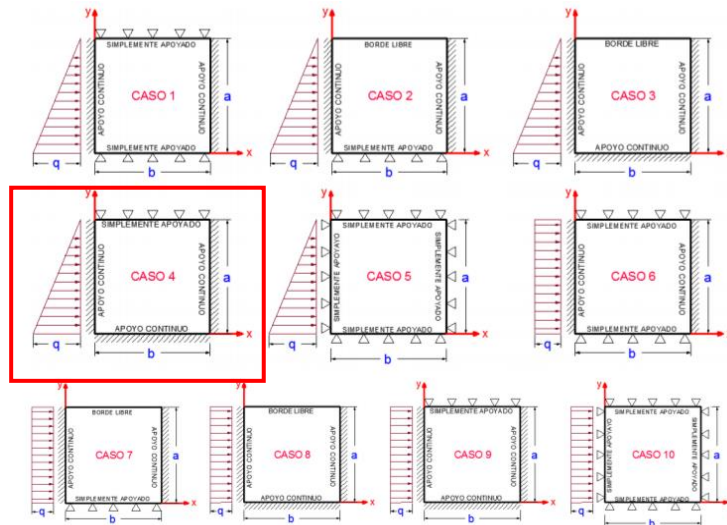
$K_{pared}/K_{losas} < 8$  es una losa simplemente apoyada de las paredes

En este caso la rigidez, se calcula mediante  $K = 4EI/L$ , en donde:

- $E$  es el modulo de elasticidad del concreto
- $I$  es la inercia
- $L$  es la longitud del elemento

Luego de acuerdo con el resultado obtenido se determinó que análisis utilizar según a los casos del método Portland Cement Association -PCA-.

Figura 41. Casos de análisis según método PCA.



Fuente: (Canchari, 2017)

#### e. Análisis estructural del tanque

Debido a que la losa es bidireccional se usó el método de las tablas de Portland Cement Association -PCA-. Estas tablas fueron desarrolladas por la misma asociación y se publicaron en el manual “Rectangular Concrete Tanks” de Javeed Munshi. Además, dentro de la siguiente metodología también se utilizó el código de diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquido ACI 350.3-01.

Para el análisis, se realizaron mediante dos condiciones. La primera con referencia cuando el tanque está totalmente lleno y sin empujes de suelo, y la segunda cuando el tanque está vacío y posee empujes del suelo. Para ambas condiciones se realizó un proceso similar, en donde existen cambios en las cargas, pues en el caso de la segunda condición no existen fuerzas impulsivas y convectivas por la ausencia del líquido.

De acuerdo con lo anterior, para la primera condición se determinó la presión estática del agua y la dinámica mediante las fuerzas impulsivas y convectivas. Para luego poder agregarle la aceleración del suelo por medio del análisis sísmico, tomando en cuenta los factores de zona, suelo e importancia de la obra. Se utilizaron las ecuaciones de la 54 a la 75 y los cuadros del 23 al 26. Al tener estos dos valores, se realizó las combinaciones de carga y se eligió la mayor de ambas.

En el caso, de la condición 2, como se mencionó anteriormente no existía los empujes del agua por lo que no existían cargas dinámicas de esta; sin embargo, existe una carga dinámica por el suelo, lo cual se da cuando se le agrega el sismo. Por lo que, mediante el análisis sísmico realizado, se encontró la componente vertical del mismo. Y seguidamente, se determinó la presión dinámica. Se realizaron las combinaciones de carga y se eligió la mayor de ambas (dinámica y estática).

Al tener la combinación de carga se inició con el diseño por flexión, en donde de acuerdo con el caso seleccionado anteriormente se calcularon los momentos flectores mediante la tabla de PCA correspondiente. Estos momentos fueron amplificados por factor sanitario (1.7) y el factor de empuje de agua (1.3), en base al ACI 350.

Se obtuvieron los momentos máximos y mínimos para cada uno de los lados. Con dichos momentos, se comenzó con la obtención del refuerzo necesario para las caras internas y externas del tanque. Además, según ACI 350, se establece que la cuantía de acero mínimo de refuerzo es de 0.0030 (Art. 14.3.2). Luego se verificó el control de fisuras del tanque, en base a un espaciamiento máximo del acero de refuerzo. En estos cálculos se empleó un valor de  $Z$  de 17, 000 kg/cm que es utilizado para condiciones severas con rajaduras de 0.020cm. Utilizando la ecuación:

$$S = \frac{z^3}{2dc^2fs^3} \quad \text{Ecuación 77}$$

Donde:

- $Z$  es en función de exposición al ambiente. Según el ACI 350 puede ser menor a 20 580 kg/cm para rajaduras de 0.025cm y menor a 17 000 kg/cm para rajaduras de 0.020cm
- $S$  es la separación de varillas (cm)
- $fs$  es el esfuerzo en el acero en condiciones de servicio
- $dc$  es el recubrimiento del concreto

f. Sistema de cloración

Para la determinación del sistema de cloración, primero se realizó un contraste entre los tipos existentes: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cloro gaseoso. Donde al final, se decidió utilizar el hipoclorito de sodio. Luego en base a la guía técnica de la Organización Mundial de la Salud con colaboración de la Universidad San Carlos de Guatemala, se seleccionó la tabla correspondiente al cloro seleccionado. Para la selección se tomó en cuenta el volumen a desinfectar y el uso que tendría el agua.

Cuadro 32. Cantidad de cloro a agregar.

**Tabla no. 1: Si la concentración es de 0.5% (5000 mg/L)**

Volumen de Agua a Desinfectar	Cantidad de Cloro Líquido a agregar en tiempo normal	Cantidad de Cloro Líquido a agregar en emergencia
1 Litro	4 gotas	8 gotas
2 Litros	8 gotas	16 gotas
1 Galón	15 gotas	30 gotas (1 ½ mililitros)
5 Litros	20 gotas (1 mililitro)	40 gotas (2 mililitro)
10 Litros	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (½ tapita)
20 Litros (5 Galones)	4 mililitros (½ tapita)	8 mililitros (1 tapita)
100 Litros (25 Galones)	20 mililitros (2 ½ tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)
200 Litros (50 Galones)	40 mililitros (5 tapitas)	80 mililitros (10 tapitas)
1000 Litros (250 Galones)	200 mililitros (25 tapitas)	400 mililitros (50 tapitas)

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, 2006)

Debido a que la tabla no cubre valores arriba de los 1000 litros de agua, se realizó una regla de tres para determinar la cantidad de cloro líquido a agregar al agua. Lo mismo se realizó para determinar la cantidad de cloro líquido a agregar en emergencias. Por último, se buscó un tipo de dosificador de cloro que mejor se adecue al tanque diseñado; tomando en cuenta las necesidades y recursos que posee La Antigua Guatemala.

g. Diseño de líneas de conducción

De acuerdo con la delimitación de fuentes de agua realizada, se decidió trabajar únicamente con los pozos. Por lo que se inició con la obtención de la topografía de cada aldea (La Antigua Guatemala, San Pedro Las Huertas, y San Juan El Obispo); la cual estaba realizada en base a un formato de redes de triángulos irregulares -TIN-, que proporcionaron de igual manera las imágenes cartográficas del

2006. A partir de ello, se utilizó el programa Civil AutoCAD para obtener los perfiles necesarios para los cálculos correspondientes.

Primero se colocaron ortofotos de La Antigua Guatemala debajo de la topografía obtenida, para poder facilitar la visibilidad de la trayectoria de las líneas de conducción. Luego, se colocaron los puntos de los pozos en Civil AutoCAD para poder determinar el recorrido que tendrían cada uno de los pozos hacia la propuesta del tanque abastecimiento de agua potable.

Según el recorrido final, se obtuvieron los perfiles topográficos de cada uno de ellos. Lo anterior, con el fin de obtener las altitudes a las que se encontraba cada elemento y poder determinar qué tipo de accesorios serían importantes en cada línea. Según la información proporcionada por dichos perfiles se continuó con el cálculo correspondiente de diámetros de tuberías (mínimos y máximos a utilizar en el diseño). Lo anterior mediante los límites de la velocidad del fluido; siendo la velocidad mínima de 0.6m/s y la velocidad máxima de 2m/s, con la siguiente ecuación:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{1.974*Q}{V}} \quad \text{Ecuación 78}$$

Donde:

- $\varnothing$  es el diámetro (in)
- Q es el caudal (L/s)
- V es la velocidad (2 m/s máxima y 0.6 m/s mínima)

El material por utilizar es PVC, con una presión de trabajo de 125 psi. Los diámetros elegidos corresponden a un rango de acuerdo con los límites de velocidad utilizados. Según a dichos diámetros, se calcularon las perdidas respectivas para cada uno, mediante la ecuación de Hazen-Williams, está dada por:

$$h_f = \frac{1743.81*L*Q^{1.852}}{C^{1.852}*\varnothing^{4.871}} \quad \text{Ecuación 79}$$

Donde:

- L es la longitud de la tubería (m)
- Q es el caudal (L/s)

- C es el coeficiente de fricción de Hazen – Williams
- $\emptyset$  es el diámetro (in)

Luego, mediante el diámetro más crítico se determinó la carga dinámica total del sistema (*Ecuación 32*), lo cual corresponde a la suma de: pérdidas por altura del nivel dinámico, pérdida de carga en línea de succión, altura del eje de la bomba de descarga, pérdidas de carga por fricción, pérdidas por velocidad y pérdidas menores al 10% de las pérdidas por fricción. En donde las pérdidas por velocidad están dadas por:

$$h_v = \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 80}$$

Donde:

- V es la velocidad (m/s)
- g es la gravedad ( $m^2/s$ )

Por consiguiente, según el valor de la carga dinámica total se determinó la potencia necesaria de la bomba. Y por último se calculó la sobrepresión mediante el golpe de ariete; donde se calculó la celeridad de la onda y luego la determinación del golpe de ariete. Por último, con el valor obtenido de la sobrepresión se verificó que la tubería seleccionada resistiera la presión causada por el bombeo. Por lo que, la presión del golpe de ariete debe ser menor que la presión de trabajo de la tubería.

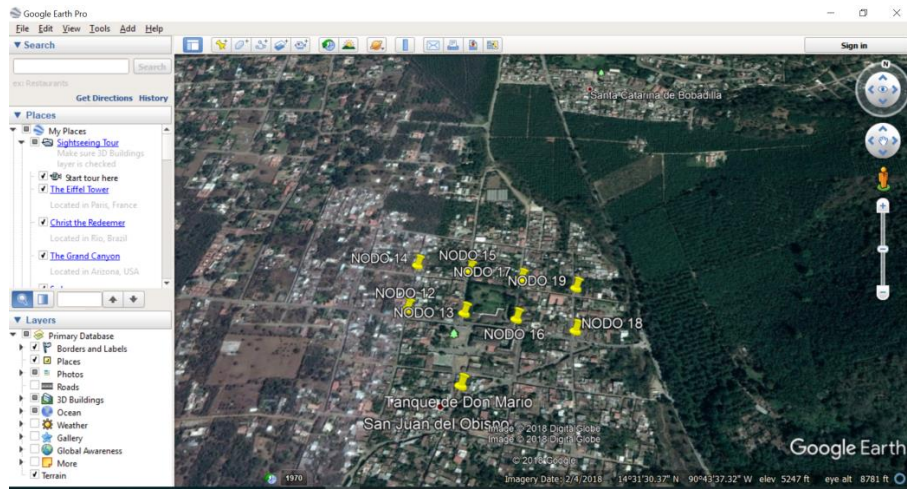
#### h. Sistema de distribución

Para el diseño de la distribución de agua en San Juan el Obispo se utilizó un mapa proporcionado por la Municipalidad de Antigua Guatemala.

##### 1) Ingreso de Datos a QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1.

El proceso para realizar el diseño de distribución fue igual para tanto el sistema de distribución de la Parta Alta como para la Parte Baja. Para ingresar los puntos a QGIS, primero se ingresó los puntos de los nodos de ambos sistemas de distribución de San Juan el Obispo a Google Earth Pro.

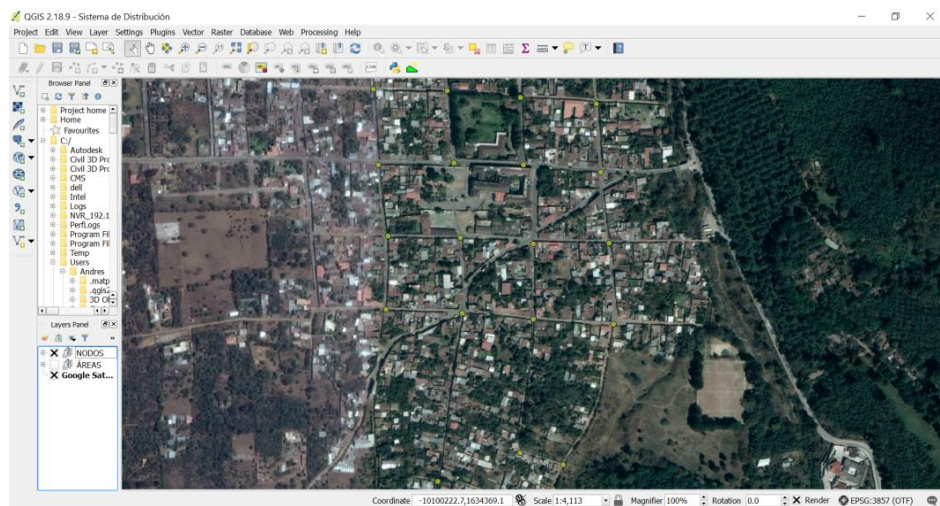
Figura 1. Ingreso de puntos a QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1.



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Los puntos ubicados en Google Earth Pro fueron guardados como un archivo de tipo .kml, los cuales luego fueron ingresados en QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1.

Figura 2. Ingreso de puntos a QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1.



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

## 2) Análisis del sistema en Epanet.

Para realizar un análisis con el programa Epanet se tuvo que crear información de los tanques del sistema de distribución, las tuberías y los nodos.

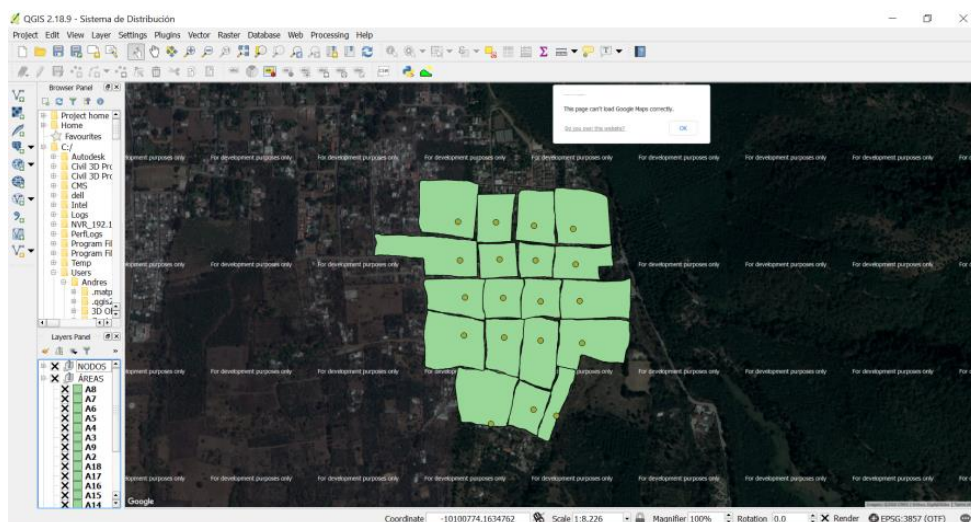
a) Obtención de altitudes

Se utilizó el programa Civil 3D 2018 Metric para obtener las altitudes de los nodos y los tanques. Al programa se cargó la topografía que se realizó según a un formato de redes de triángulos irregulares -TIN-, que proporcionaron imágenes cartográficas del 2006. A partir de esto, se utilizó Civil para obtener una topografía de San Juan el Obispo.

b) Demanda en los nodos

El análisis del sistema de distribución con el programa Epanet requiere que se ingrese una demanda en los nodos equivalente al caudal de consumo de ciertos tramos. Para hacer esta simplificación se crearon áreas de influencia de los nodos y un promedio ponderado de estas para poder determinar el porcentaje de caudal que demandaban. Para este proceso se utilizó QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1.

Figura 3. Área de influencia de nodos



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

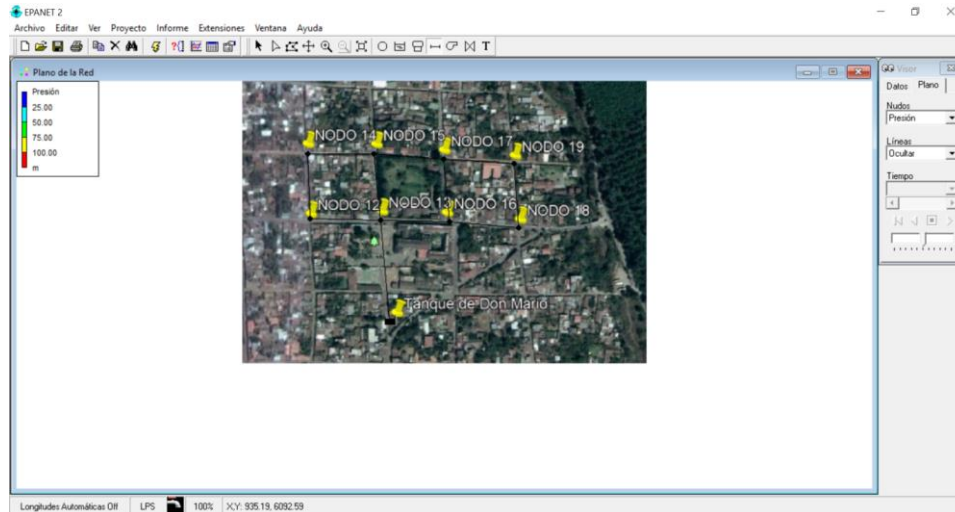
c) Análisis en Microsoft Office Excel 2007

Los datos obtenidos de QGIS 2.18.9 with GRASS 7.2.1. se procesaron en Excel para determinar las demandas en cada nodo utilizando el caudal máximo horario. En este documento de Excel también se documentó información obtenida.

#### d) Análisis en Epanet

Se inició la modelación de los sistemas al dibujarlos en Epanet. Se colocó una imagen de los nodos y con esta se dibujaron tanto los nodos como la tubería y el tanque cisterna.

Figura 4. Guía para modelado en Epanet

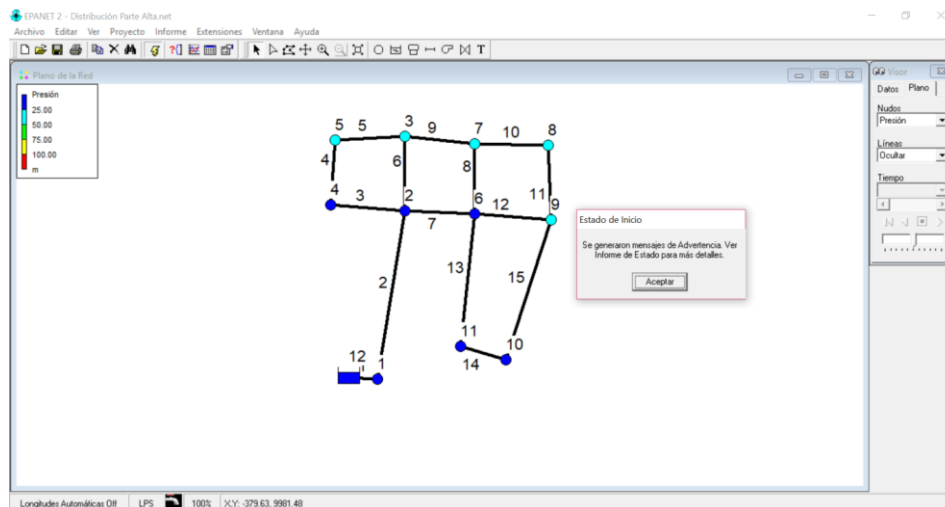


Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Luego de realizar este procedimiento se continuó ingresando las propiedades de los elementos. Se definió la siguiente información en el programa:

- En nodos: demandas y altitudes.
- En tuberías: longitud y rugosidad.
- Tanques: altitud.

Figura 5. Modelación del sistema de distribución Parte Alta.

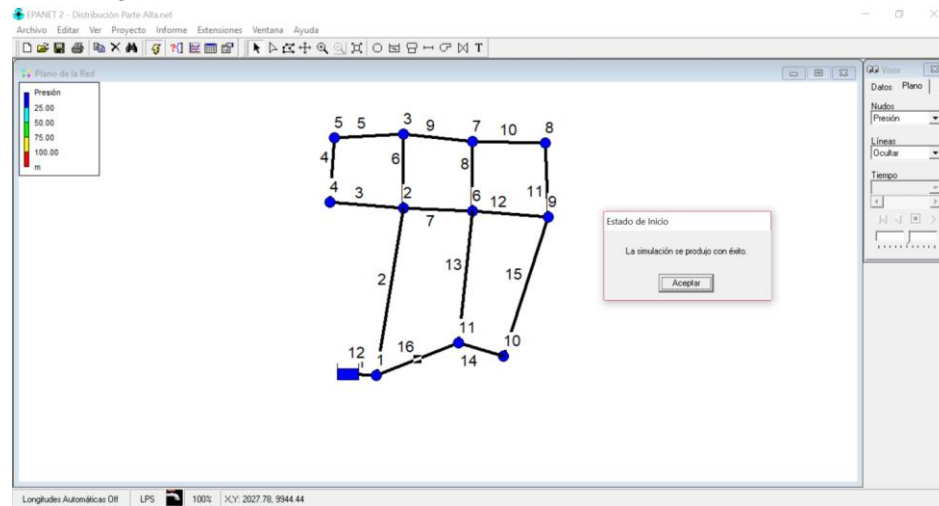


Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

#### e) Resultados y modificaciones

Después que se realizó la modelación en Epanet se calculó el sistema. Ya que en ninguno de los dos sistemas cumplió el sistema, se realizaron modificaciones a las conexiones de los nodos y se realizaron recomendaciones para que el sistema pudiera ser utilizado en el futuro.

Figura 6. Modificaciones de sistema de distribución Parte Alta



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

#### 4. Fase final

##### a. Elaboración de manual de operación y mantenimiento

Según a los resultados obtenidos, se realizó un manual de operación y mantenimiento con indicaciones esenciales para alargar la vida útil del tanque. En dicho manual, se encuentran los procesos necesarios a llevar a cabo. Así como varias recomendaciones para cuidar el equipo de cloración y los diferentes accesorios que este sistema conlleva.

#### B. Agua pluvial.

##### 1. Fase preliminar

Esta fase consistió en la realización de una investigación bibliográfica, con la finalidad de desarrollar conceptos necesarios para desarrollar el diseño del sistema de captación pluvial. Así mismo, se realizó una visita de campo a los terrenos propios de la Municipalidad de Antigua de Guatemala, ubicados en el cerro de la Cruz, para toma de fotografías y evaluación de la distribución del sistema de captación de agua de lluvia.

De igual forma, se solicitó la precipitación mensual de la zona durante el período comprendido del 1 de enero de 2008 al 31 de diciembre de 2017, proveniente del INSIVUMEH. Se utilizaron los datos de la estación meteorológica Suiza Contenta, por ser la única del área.

Adicionalmente, se contó con la ayuda del Centro de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para la obtención de capas ráster para elaborar una matriz de análisis de riesgo, con la cual se determinó la ubicación del sistema de captación pluvial.

## 2. Fase de análisis

### a. Comparación entre los sistemas de captación de agua de lluvia

Se realizó un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) para los sistemas de captación pluvial de techo cuenca y ladera con geomembrana, con base a la recopilación de información bibliográfica del tema. El análisis se realizó con el objeto de identificar la opción más conveniente para la Municipalidad de Antigua Guatemala, el sistema seleccionado fue techo cuenca.

### b. Elaboración de matriz de análisis de riesgo

Se realizó la misma metodología colocada en el inciso de *Fase de análisis de Agua potable* para poder determinar la mejor ubicación para el sistema de captación y reúso de agua lluvia.

### c. Propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el sistema diseñado

#### 1) Limpieza de calles y avenidas en el casco urbano de La Antigua Guatemala

Para tener un registro de la cantidad de agua empleada en el aseo de las calles, se contactó a la Fundación Valle de Panchoy, que trabaja mediante donaciones de patrocinadores, que comúnmente son los dueños de comercios en el casco urbano. El agua que utilizan proviene de la Finca Azotea, la cual es donada.

La unidad de limpieza trabaja medio día, los lunes, miércoles y viernes. Utilizan una pipa de agua que tiene una capacidad de 3 m<sup>3</sup> y cuenta con una hidrolavadora con una presión de 3,500 psi. Regularmente, utilizan 3 toneles al día (625 L), gracias a la gran presión que proporciona la hidrolavadora. El recorrido de limpieza cambia dependiendo de las solicitudes de los patrocinadores, en promedio consumen 89.94 m<sup>3</sup> de agua al año.

## 2) Riego de café

Se optó por asignar una cantidad de agua recolectada para el riego exclusivo del café, por ser uno de los principales productos agrícolas de Sacatepéquez, se estima que se produce al año 124,946.40 quintales de café en la región, los cuales se producen en 9,415.20 manzanas del territorio departamental (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2016).

Se utilizó la capa de uso de suelo para ver el área más cercana al cerro de la Cruz, donde se cultiva café. De acuerdo con QGIS, el área es de 4.34 manzanas y se ubica en el cerro de San Felipe. Según Anacafé (2018), el café se riega entre 2 a 3 veces por semana y se utilizan 125 gal de agua para regar una manzana. Por lo que, se consideró en el cálculo 5 manzanas de cultivo y se supuso que se regaría 2 veces a la semana, obteniendo un total de 227.12 m<sup>3</sup> al año.

## 3) Incendios

De acuerdo con CONRED (2018), durante la temporada de incendios forestales, se han reportado 364 incendios, entre noviembre 2017 hasta junio de 2018; de los cuales 2 corresponden a Sacatepéquez. Se calculó la probabilidad de ocurrencia con base a estos datos, siendo de 0.55%, por lo que, se consideró un incendio al año.

En general un incendio promedio abarca 3,600 m<sup>2</sup> y se utilizan 2 motobombas para apaciguarlo, las cuales pueden acarrear 1,500 gal cada una (Paniagua, 2017). Al año se consumiría 11.36 m<sup>3</sup> de agua. La demanda mensual es de 27.37 m<sup>3</sup>, se pretende recolectar la mayoría de agua en época de invierno. En el apéndice se pueden encontrar las fichas técnicas de cada propuesta.

### 3. Fase de diseño

#### a. Dimensionamiento

Se utilizó la “Guía de diseño para el sistema de cosecha de agua lluvia” de la Universidad de Honduras (2013), debido a que Guatemala posee condiciones de vida similar. Para el dimensionamiento, se requirió de los datos de precipitación de la estación meteorológica Suiza Contenta, otorgada por el INSIVUMEH. Se consideraron 10 años de precipitaciones mensuales, correspondientes al 1 de enero de 2008 al 31 de diciembre de 2017. Se inició obteniendo las precipitaciones promedio mensuales para los 10 años evaluados. Luego, se seleccionó el coeficiente de escorrentía de 0.80 para el área de captación, correspondiente a lámina galvanizada.

Para determinar tanto el área como el volumen necesario para satisfacer la demanda, se asumió un área de captación para determinar la oferta de agua de lluvia, luego se obtuvo el acumulado y se restó con la demanda acumulada para cada mes. Si en dado caso la diferencia entre ambas poseía un valor negativo, significa que la población no contará con el agua demandada, debido a que el área del techo no es suficiente, de modo que se propone un área mayor hasta que no quede ningún dato negativo. El volumen del tanque de almacenamiento será el mayor de las diferencias.

b. Diseño de tanque estructural. Se utilizó el método de Portland Cement Association -PCA-.

Mencionado en la metodología correspondiente al *inciso A: Agua Potable*.

c. Diseño de canaleta

Se consideró una pendiente del 5% para el techo cuenca, 14 m para la longitud de tramo más largo y una velocidad de 1.2m/s para pendientes longitudinales de canaleta de 4 a 6%. Después, se estimó el área transversal de la canaleta con los supuestos hechos, se asumieron dimensiones de la canaleta, se consideró una sección trapezoidal.

En la parte central de la canaleta se colocarán 4 cajas-sumidero con las mismas dimensiones de la canaleta, cubiertas de un cedazo (mesh) No. 4, que posee una abertura de 4.75mm. Estarán espaciadas 1 m alrededor del punto central de la canaleta. Su finalidad es retener partículas grandes y que trabajen similar a un filtro para el agua que baja por la canaleta.

d. Diseño de tubería

Para obtener el caudal de la tubería se requirió de la intensidad máxima de lluvia en la zona, para lo cual se utilizó el Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, 2014).

En el informe se dieron valores de intensidad de lluvia para ciertas estaciones meteorológicas, sin embargo, no se estudió el caso de Suiza Contenta, por lo que se escogió dos estaciones que estuvieran cerca de La Antigua Guatemala para promediar su intensidad de lluvia, éstas fueron INSIVUMEH y Puerto San José, por estar ambas en la cuenca María Linda. Se elaboraron las curvas de intensidad - duración - frecuencia (IDF) para cada una de las estaciones por medio de la ecuación:

$$i_{Tr} = \frac{A}{(B + t)^n}$$

Ecuación 81

Donde:

- $i_{Tr}$  es la intensidad de lluvia (mm/h)
- $A, B$  y  $n$  son los parámetros de ajuste.
- $t$  es la duración (min)

El informe proporcionó los datos de  $A, B$  y  $n$  para los períodos de duración de 5, 10 y 20 años, datos con los cuales se trazaron las curvas IDF, y se obtuvieron las intensidades de lluvia para ambas estaciones. El promedio de ambas fue de 49.81 mm/h que es aproximadamente, el equivalente a 50 mm/h, valor que recomienda Universidad Nacional Autónoma de Honduras (2013), cuando se desconoce la intensidad de lluvia en la zona.

Después, se calculó el caudal y diámetro de la tubería, asumiendo un flujo no turbulento, tomando como velocidad 0.9 m/s. Se propuso un diámetro de tubería PVC estándar.

#### e. Diseño de la estructura de acero

La geometría del techo cuenca se definió con base a los datos conocidos la pendiente del 5% del techo, las medidas de la canaleta y el tanque, dejando este último en el centro de la estructura para recibir el agua por gravedad. Igualmente, se colocó un sistema de marcos resistentes a momento en los dos ejes principales.

Se utilizó el programa de cálculo estructural ETABS, se tomó como sobre carga 25 kgf/m, viento 80 kgf/m y carga viva de 55 kgf/m. También, se calculó el coeficiente sísmico para los dos ejes principales, utilizando los factores de la norma NSE 2 (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017), correspondientes de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Para comprobar que el sistema resistía las combinaciones de carga, sismo y viento, se chequearon las derivas según a los requerimientos del ASCE 7-10.

f. Diseño de la zapata

Por medio del modelo elaborado en ETABS, se visualizó que combinación de cargas era la crítica, siendo la viva más la muerta. Luego, se obtuvieron las cargas máximas puntuales que les llegaba a los soportes, con la finalidad de diseñarla con los requerimientos del código ACI 318.

4. Fase final

a. Elaboración de manual de operación y mantenimiento

Según a los resultados obtenidos, se realizó un manual de operación y mantenimiento con indicaciones esenciales para alargar la vida útil del sistema.

C. Sistema de alcantarillado

1. Fase preliminar

La fase consistió en una recopilación bibliográfica con el fin de establecer el proceso que se llevaría a cabo para el desarrollo del proyecto. De igual forma, se delimitaron los pozos de visita del sistema de alcantarillado actual de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez y se obtuvieron los caudales de diseño para cada tramo por medio del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base”.

Posteriormente, se solicitó al Instituto Nacional de Estadística, datos de población de La Antigua Guatemala. Estos fueron entregados por medio de correo electrónico, los cuales consistían en proyecciones hasta el año 2020. Además, con la ayuda del Departamento de Aguas de Antigua Guatemala, se obtuvieron los planos del sistema de drenaje actual con el fin de ubicar los pozos de visita y conocer los diámetros de tuberías con los que contaba el sistema. También se estableció el apoyo que el Departamento de Aguas iba a proporcionar para la realización del proyecto.

2. Fase de campo

Se realizaron visitas a los pozos de visita del sistema de alcantarillado actual de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, con el fin de obtener la ubicación de estos y verificar con los datos que se obtuvieron del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible de Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base”.

En las visitas a los pozos, se tomaron las coordenadas de posición geográfica de cada uno y se realizaron mediciones con ayuda de una ficha técnica elaborada con el fin de obtener datos actuales del sistema de alcantarillado. Las visitas realizadas durante los meses de mayo, junio y julio en coordinación y acompañamiento del técnico del Departamento de Aguas de La Antigua Guatemala y personal brindado para el levantamiento de los pozos.

Sin embargo, durante las visitas realizadas no fue posible levantar varios pozos de visita debido a problemas de tránsito o de atoramiento de la tapadera del pozo con el suelo debido a tierra. Al no poderse levantar varios pozos para la toma de cotas invert, se prosiguió a interpolar los mismos basándose en la pendiente entre cada pozo y los diámetros de tubería que conectan los mismos.

### 3. Fase de análisis

#### a. Comparación del sistema de alcantarillado combinado y un sistema de alcantarillado separativo

Para la determinación del sistema de alcantarillado sanitario a diseñar, fue necesario realizar primero una comparación entre el sistema de alcantarillado combinado con el que actualmente cuenta La Antigua Guatemala, Sacatepéquez y un sistema de alcantarillado separativo.

Figura 42. Rejilla tapada



Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

En las visitas de campo se determinó que la mayor parte de las rejillas o tragantes de agua a lo largo de todo el sistema, se encontraban dañadas y tapadas con basura. Por ello, se determinó que el caudal de las aguas de lluvia no entraba por completo al sistema provocando las inundaciones en las calles como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 43. Tragante de agua tapado.



Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

La aportación de caudal por parte del agua de lluvia, en comparación con el caudal que aportan las aguas residuales es bastante pequeño. El agua de lluvia no se encuentra aportando caudal todo el año, sino que solo durante los meses de mayo a octubre. En cambio, el caudal que aportan las aguas residuales va cada vez más en aumento debido al crecimiento poblacional.

Al realizar una comparación entre los dos caudales, se estableció que el caudal producido por las aguas residuales era de mayor importancia ya que un manejo adecuado del mismo puede prevenir problemas que pueda generar tanto a la salud humana como a su infraestructura. Adicionalmente, se aprovecha de mejor manera el recurso del agua y se tratan las aguas negras de forma correcta. Debido a esto se decidió proponer el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario a partir del sistema actual, bloqueando la entrada de aguas pluviales al mismo para que únicamente las aguas residuales sean transportadas.

#### b. Localización de pozos de visita

Para la localización de los pozos de visita del sistema de alcantarillado de La Antigua Guatemala se hizo uso de las coordenadas de posición geográfica obtenidas en el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base”. Conociendo la ubicación de cada pozo de visita se prosiguió a visitar cada uno con apoyo del Departamento de Aguas de Antigua Guatemala. A continuación, se detallarán los pasos realizados para la localización de los pozos de visita:

##### 1) Elaboración de la ficha técnica para pozos de visita

Para la toma de datos en cada pozo, fue necesario elaborar una ficha técnica con la cual se tomarán solo los datos de importancia de cada pozo. Los datos a tomar fueron los siguientes:

- Ubicación del pozo de visita.
- Numeración agregada al mismo para que fueran diferenciados.
- Si se contaba o no con presencia de escalones.
- Contaminación (insectos) dentro del pozo de visita.
- Tipo de tapadera (si era concéntrica o excéntrica).
- Tuberías que llegan al pozo de visita.
  - Cota superior de la tubería.
  - Procedencia del flujo.
- Tubería que sale del pozo de visita.
  - Cota superior de la tubería.
  - Destino del flujo.
- Diámetro de la tapadera del pozo de visita.
- Observaciones.
- Imágenes del pozo de visita.

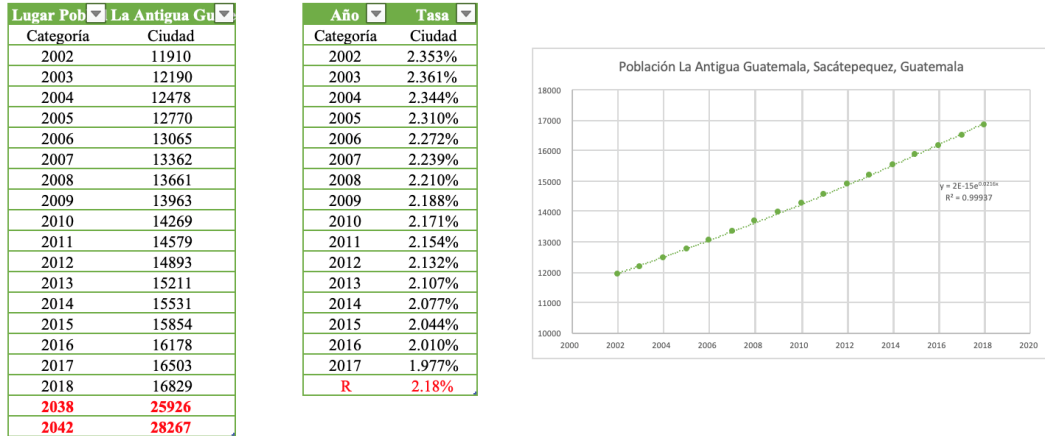
c. Proyección de la población.

Con los datos de población que se obtuvieron en el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base” acerca de la cantidad de personas que vive por domicilio, se hizo un estimado de la población futura por tramo. Se estableció una cantidad de 4.76 personas por domicilio y una cantidad de ocho domicilios por cada tramo de un pozo de visita a otro haciendo un total de 38.08 habitantes.

Con los datos de población de La Antigua Guatemala brindados por el INE, se prosiguió a obtener la tasa de crecimiento de la población de la ciudad tomando como referencia la población desde el año 2002 hasta el año 2018.

Una vez contando con los datos para la población de La Antigua Guatemala, se prosiguió con la realización de la proyección para un periodo de 20 años que es el tiempo de vida útil que representa un sistema de alcantarillado. En este período de tiempo se asegura que el sistema va a trabajar en sus óptimas condiciones. Con esto se encontró una tasa de crecimiento del 2.18% para encontrar la población futura por domicilio, según lo asumido para cada tramo.

Figura 44. Tasa de crecimiento para la población de La Antigua Guatemala.



Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Figura 45 Proyección de la población por domicilio

POBLACIÓN FUTURA	
Población inicial =	38 habitantes
n =	20 años
r =	2.18% %
<b>Población futura =</b>	<b>59 habitantes</b>

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

d. Cálculo del caudal del sistema

Según el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base” se establecieron los caudales que se tomaran en cuenta para el caudal de diseño del sistema. Estos fueron los siguientes:

Cuadro 33. Caudales de diseño.

Caudal domiciliar presente	0.08	L/s
Caudal domiciliar future	0.15	L/s
Caudal comercial (restaurantes)	0.14	L/s
Caudal industrial (Hoteles)	0.09	L/s
Caudal de infiltración	0.0077	L/s
Caudal conexiones ilicitas	0.0077	L/s
Caudal medio presente	0.32	L/s
Caudal medio futuro	0.39	L/s

Fuente: (Gutiérrez, 2017).

Para el caudal domiciliario se estableció la dotación máxima que debe brindarse a un domicilio ya que muchas de las casas de La Antigua Guatemala son probable que se conviertan en hoteles en el futuro.

Cuadro 34. Factores del caudal de diseño.

Factor de caudal medio presente	.005	
Factor de caudal medio futuro	.005	
Factor de Harmond presente	4.51	
Factor de Harmond futuro	4.49	
Caudal de diseño presente	0.86	L/s
Caudal de diseño futuro	1.45	L/s

Fuente: (Gutiérrez, 2017).

Cuadro 35. Caudales de diseño por tramo.

Caudal de Diseño para el tramo presente	1.21	L/s
Caudal de Diseño para el tramo futuro	2.10	L/s

Fuente: (Gutiérrez, 2017).

e. Chequeo de diámetro

Una vez obtenido los caudales de diseño para cada tramo del sistema de alcantarillado se observó en la hoja de cálculo realizada en el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base” que la mayoría de los diámetros del sistema de alcantarillado actual no cumplen para el caudal generado al haber uniformizado la pendiente en todos los tramos.

Se prosiguió a realizar la hoja de cálculo de pozos de visita con sus diámetros de tubería respectivos para determinar si el caudal de diseño para la población proyectada es transportado correctamente. Al no contar con la pendiente entre cada pozo de visita en los planos brindados por el Departamento de Aguas de La Antigua Guatemala, se prosiguió a obtener la pendiente en los tramos del sistema de alcantarillado por medio de la realización de perfiles topográficos mediante curvas de nivel.

Para la determinación de las cotas invert de los pozos de visita se recibió ayuda del personal del Departamento de Agua de La Antigua Guatemala, el cual se encargó de levantar la tapadera de algunos pozos permitiéndose tomar las cotas superiores tanto de entrada como de salida de las tuberías. Teniendo estas alturas se obtuvo estimación de la inclinación del terreno en los tramos del sistema de alcantarillado de La Antigua de Guatemala.

Esta se encuentra realizada en base a un formato de redes de triángulos irregulares TIN, que proporcionaron de igual manera las imágenes cartográficas del 2006 obtenidas del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base”. Con ello, se obtuvo los perfiles topográficos necesarios para la realización de los cálculos necesarios mediante el programa Civil AutoCAD.

Figura 46. Curvas de nivel de La Antigua Guatemala en el programa Civil AutoCad.



Elaboración: David Andrés de León Ocampo

f. Diseño de líneas de conducción

Inicialmente se colocaron las ortofotos de La Antigua Guatemala debajo de las curvas de nivel obtenidas con el fin de poder visualizar de una mejor forma la trayectoria de las líneas de conducción, que idealmente, deberían ir por todas las calles de la ciudad. Luego, se tomaron las ubicaciones de los pozos de visita obtenidos en el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base” y se colocaron como puntos en las ortofotos dentro del programa Civil AutoCAD.

Las líneas de conducción se dividieron en 13 tramos para facilitar el diseño del sistema de alcantarillado. Para cada tramo se obtuvieron los perfiles topográficos con el objetivo de obtener las altitudes a las que se encontraba cada pozo de visita y la distancia que había entre cada uno de ellos. En

base a la información obtenida de los perfiles topográficos se prosiguió con el chequeo correspondiente de diámetros de tuberías (a utilizar en el diseño).

g. Chequeo de diámetros para el diseño

Se prosiguió a completar la matriz que se comenzó en el inciso 5 realizando los chequeos necesarios. Se chequeo que los diámetros de tubería fueran los adecuados para transportar el caudal de diseño para cada tramo tomando en cuenta que estos no excedieran las velocidades mínimas y máximas aceptadas, siendo 0.6 m/s y 3 m/s respectivamente. También se chequeó que el tirante dentro de la tubería se encontrara dentro del rango aceptable de 0.1 y 0.85.

En el chequeo, algunos tramos cumplieron con lo mencionado anteriormente por lo que se dejaron con el diámetro con el que actualmente cuentan. Para los tramos que no chequeo la tubería actual, se propuso una tubería de diferente diámetro que cumpliera tanto para la situación actual como la futura.

4. Fase final

a. Elaboración de manual de operación y mantenimiento

Según los resultados obtenidos, se realizó un manual de operación y mantenimiento con indicaciones para mantener en estado óptimo el sistema de alcantarillado sanitario. En dicho manual, se encuentran los procesos necesarios a llevar a cabo. De igual forma, varias recomendaciones para el cuidado del sistema y el equipo indispensable para la operación de este.

D. Agua residual

1. Fase preliminar

Esta fase corresponde a una investigación teórica relacionada al conocimiento de los conceptos necesarios para el desarrollo de los objetivos del proyecto. Además, se realizaron visitas de reconocimiento a la aldea San Pedro Las Huertas y a la aldea San Juan El Obispo, para conocer que calles se debía de recorrer para lograr realizar el inventario de los pozos de visita. Por último, se realizó otro reconocimiento del área donde se colocaría una planta de tratamiento de aguas residuales que satisfaga la demanda de la población de la aldea.

## 2. Fase de campo

Se realizaron varias visitas de campo a la aldea de San Pedro las Huertas y la aldea San Juan El Obispo. Las cuales comprendieron el periodo desde julio hasta septiembre en un total de tres visitas en las cuales se midieron un total de cincuenta y nueve pozos de visita en la aldea.

El proceso de toma de datos consistió en levantar la tapadera de cada pozo si era posible y tomar medidas de las cotas invert de entrada y salida, posteriormente se realizó una medición del diámetro interno del pozo, además de tomar nota de la existencia de escaleras de acceso al pozo de visita. Luego de tomar estas medidas se procedió a cerrar el pozo, colocando la tapadera en su lugar y medir el diámetro externo. Adicionalmente de estas mediciones se tomó las coordenadas geográficas con el GPS de un celular, las cuales se apuntaban en la bitácora, como último punto se procedió a tomar una fotografía de la tapadera del pozo.

En algunos pozos se tuvo dificultad para levantar la tapadera, por lo que se corría riesgo de dañarla. Debido a esto en algunos pozos se decidió no insistir en el levantamiento de la tapadera por lo cual solo se tomó su ubicación geográfica, diámetro externo y la fotografía respectiva.

## 3. Fase de diseño

### a. Rejillas

Para el diseño del canal y rejillas del tratamiento preliminar de la planta de tratamiento se utilizaron los caudales determinados por la estudiante Ana Isabel Ruano para distribución en la aldea de San Pedro Las Huertas y se determinaron para la aldea San Juan El Obispo.

Como primer punto se determinó el área transversal del flujo con la ecuación de caudal convencional donde el área es igual a la división del caudal y la velocidad. Luego en base al área encontrada se determina el tirante de agua que se llevara en el canal de la rejilla en el cual se propuso una base de para encontrar la altura efectiva del agua. Posteriormente se determinó la pendiente del canal utilizando la ecuación de pendiente de Manning.

$$S = \left( \frac{V*n}{Rh} \right)^2 \quad \text{Ecuación 82}$$

Donde:

- $V$  es la velocidad.
- $n$  es la constante de Manning.
- $Rh$  es el radio hidráulico.

Para la cual se determinó el radio hidráulico del canal. Posteriormente se determinaron las longitudes de barras para una inclinación de  $45^\circ$ . Como siguiente punto se determinó el área de paso y la velocidad a través de la rejilla. El área de paso es la base menos el espesor de todas las barras, multiplicado por el tirante del agua.

Luego se determina la velocidad a través de la rejilla el cual es el caudal máximo dividido el área de paso. Con este dato se puede determinar la pérdida de carga con la fórmula de Metcalf Eddy. Como último paso se determina la velocidad mínima de paso que se calculó con el caudal mínimo al despejar la velocidad de la fórmula de pendiente y sustituir la velocidad con el caudal mínimo partido el área. Si esta velocidad se encuentra entre valores de 0.4 m/s y 0.75 m/s, cumple, de lo contrario se debe proceder a un rediseño.

#### b. Desarenador

Para el diseño se determinó la velocidad de sedimentación de las partículas de arena, la cual es determinada con las tres ecuaciones de la teoría de la sedimentación, Para lo cual se determinan factores como el diámetro de la partícula de arena, la viscosidad dinámica del agua residual y la densidad de la arena. Al obtener la velocidad con estas fórmulas y se chequeó el número de Reynolds para cada una de ellas. Debido a que cada fórmula es específica de un número de Reynolds, se escoge la velocidad con la cual se obtenga el número de Reynolds asociado.

Seguidamente se obtuvo la velocidad crítica de sedimentación o velocidad horizontal de la partícula la cual es determinada por un factor correspondiente a la partícula y el diámetro de esta, al obtener esta velocidad se puede determinar el área del canal al tener el caudal.

Luego se calculó la longitud del canal la cual es calculada por la igualdad entre la razón de la longitud y altura con la división entre la velocidad horizontal y la velocidad de sedimentación. Asimismo, se determinó si las dimensiones del canal cumplen con la relación de inclinación de la

abertura del canal, la cual debe ser menor o igual a un tercio de la longitud para disminuir al máximo la pérdida de carga debido al cambio de sección. Por último, se diseñó el dispositivo de control de caudal, que en este caso es un vertedero sutro, diseñando sus dimensiones mediante la fórmula:

$$Q = 1.84 * L * h^{3/2} \qquad \text{Ecuación 83}$$

Con la cual se despeja “L” para determinar el ancho del vertedero, luego se determinan las alturas máximas y mínimas, así como los anchos máximos y mínimos del vertedero con base a los caudales correspondientes.

c. Reactor

Para el diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) se determinó el tiempo de retención hidráulico basado en recomendaciones dependiendo de la temperatura más fría. Luego de determinar el TRH se procede a obtener el volumen del reactor el cual es determinado al multiplicar el tiempo de retención hidráulico con el caudal medio.

Se a determinó la altura, la cual es calculada por la velocidad superficial, la cual para el caudal medio debe estar entre 0.5 a 0.7 m/h. luego se debe de dimensionar los lados del reactor que se obtiene al dividir el volumen del reactor con la altura, lo cual dará un área a la cual se calcula la raíz cuadrada para un reactor cuadrado.

Posteriormente se determinó las velocidades obtenidas por los caudales medio y máximo diario, los cuales deben ser menores de 0.5-0.7 m/h para el caudal medio y de 1.5-2 m/h para el caudal máximo horario. Posteriormente se determinó si las cargas aplicadas al sistema están dentro de los parámetros por lo cual la carga orgánica volumétrica debe ser menor a 15 kg/m<sup>3</sup> día y la carga hidráulica volumétrica debe ser menor a 5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> día. Seguidamente, se terminó la cantidad de difusores que deben ser seleccionados por el tipo de lodo que se generara en el reactor y la carga orgánica. Se obtiene un área de influencia por cada difusor la cual divide el área del reactor para determinar la cantidad de distribuidores necesarios.

Por último, se procedió al diseño del separador gas, sólido, líquido. Se determinó el área libre necesaria para el reactor el cual es calculada como el máximo entre el caudal medio dividido la

velocidad del afluente y el caudal máximo diario dividido la misma velocidad. Posteriormente se determinó el ancho de la abertura de la campana la cual es el área libre dividido el lado del reactor. Seguidamente se determinó el largo de traslape el cual debe ser de 10 a 20 centímetros y la altura de la campana, la cual debe de ser de 1.5 a 2 metros.

Posteriormente se obtuvo la componente horizontal de la campana, la cual depende del ángulo de inclinación de la campana, luego al tener el ancho y la componente horizontal se calculó la separación entre la pared y la parte rectangular de la campana. Posteriormente se determinó la velocidad máxima y media en la campana la cual es el caudal medio y máximo diario dividido el área superficial, los cuales deben de cumplir con los parámetros de diseño. Para el caudal medio la velocidad debe de estar entre 0.6 a 0.8 m/hr y para el caudal máximo la velocidad debe ser menor a 1.2 m/hr.

d. Análisis estructural

Se utilizó el método de Portland Cement Association -PCA-. Mencionado en la metodología correspondiente al *inciso A: Agua Potable*.

4. Fase final

a. Manual de operación y mantenimiento

En este manual de operación y mantenimiento, se indica la forma en la que opera la planta de tratamiento de aguas residuales y recomendaciones cuanto se debe de limpiar cada etapa de mantenimiento.



## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### A. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en La Antigua Guatemala

#### 1. Delimitación de fuentes de agua

Cuadro 36. Ubicación de los tanques de almacenamiento La Antigua Guatemala

Tanques de almacenamiento					
Nombre	Ubicación	Coordenadas WGS84		Coordenadas UTM	
		Latitud	Longitud	Norte	Este
Candelaria 2	El Cerro de la Cruz	14.5642	-90.7309	1611343.3651	744488.4482
El Cerro / La Guardianía	El Cerro de la Cruz	14.5669	-90.7304	1611639.5836	744541.1843
El Caballo	El Cerro de la Cruz	14.5672	-90.7305	1611672.6612	744528.2773
El Cristo	El Cerro de la Cruz	14.5661	-90.7316	1611558.8548	744408.3586
Santa Ines	Santa Ines	14.5566	-90.7179	1610517.9326	745893.4138

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 37. Ubicación de los pozos de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

Pozos					
Nombre	Ubicación	Coordenadas WGS84		Coordenadas UTM	
		Latitud	Longitud	Norte	Este
Santa Rosa	Antigua Guatemala	14.5607	-90.7294	1610960.5460	744649.1723
Candelaria 2	Antigua Guatemala	14.5632	-90.7291	1611231.4240	744680.0121
Candelaria 1	Antigua Guatemala	14.5634	-90.7292	1611252.9260	744678.0009
La Chácara	Antigua Guatemala	14.5599	-90.7243	1610870.8310	745210.0770
Parque la Unión	Antigua Guatemala	14.5552	-90.7321	1610342.8120	744370.8259

Fuente: (Marinelli, 2017)

Para cumplir con el objetivo de diseñar el nuevo sistema de agua potable de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Primero se delimitaron todas las fuentes existentes de agua potable del mismo. Actualmente La Antigua Guatemala cuenta con cinco tanques: Candelaria 2, El Cerro/La Guardianía, El Cristo, Santa Inés y El Caballo; en donde este último es el único que no se encuentra funcionando. Además, la aldea cuenta con cinco pozos: Candelaria 1, Candelaria 2, Santa Rosa, El Chacará y El Parque la Unión.

De acuerdo con las fuentes encontradas (*ver Figuras 60 y 61 en Apéndice*) se determinó cuales abastecerían el nuevo tanque de agua potable. Por lo que, mediante la Municipalidad de La Antigua Guatemala, se obtuvo información del funcionamiento del sistema actual de abastecimiento de agua potable; en donde, el Tanque de Candelaria 2 es una estación de rebombeo hacia el tanque El Cerro/ La Guardianía y El Cristo. De manera que todos los tanques están suministrados por el pozo de Candelaria

2. Los demás pozos están conectados a la red de suministro directamente. Concluyendo que el diseño del tanque de agua potable estaría suministrado por todos los pozos antes mencionados.

Según la información recolectada, La Antigua Guatemala cuenta con variedad de tanques de almacenamiento de agua que no contribuyen de manera positiva a la población. Ya que, al final solamente uno de ellos realiza el trabajo de abastecimiento de agua, provocando una deficiencia en la distribución de agua potable. Cabe mencionar que, debido a la cantidad de fuentes de agua potable que existen, no se les ha dado un mantenimiento correcto; provocando que la calidad de agua sea deficiente y no cumpla con las normas correspondientes.

## 2. Determinación para ubicación del tanque

Cuadro 38. Resultados capas individuales.

Resultados individuales				
	Uso de suelo	Deslizamiento	Precipitación	Pendiente
Clasificación raster	Urbanización	0	1086	6%-10%
Reclasificación	400000	1000	200	2

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 39. Comparación de los valores obtenidos de los dos métodos utilizados

Metodo de obtención	Dato	Valores individuales			
		Uso de suelo	Deslizamiento	Precipitación	Pendiente
Valor seleccionado de matriz	401102	400000	1000	100	2
<i>Descripción</i>		<i>Muy mal uso de suelo</i>	<i>No hay deslizamiento</i>	<i>Mala precipitación</i>	<i>Buena pendiente</i>
Valor obtenido de rasters individuales	401202	400000	1000	200	2
<i>Descripción</i>		<i>Muy mal uso de suelo</i>	<i>No hay deslizamiento</i>	<i>Buena precipitación</i>	<i>Buena pendiente</i>

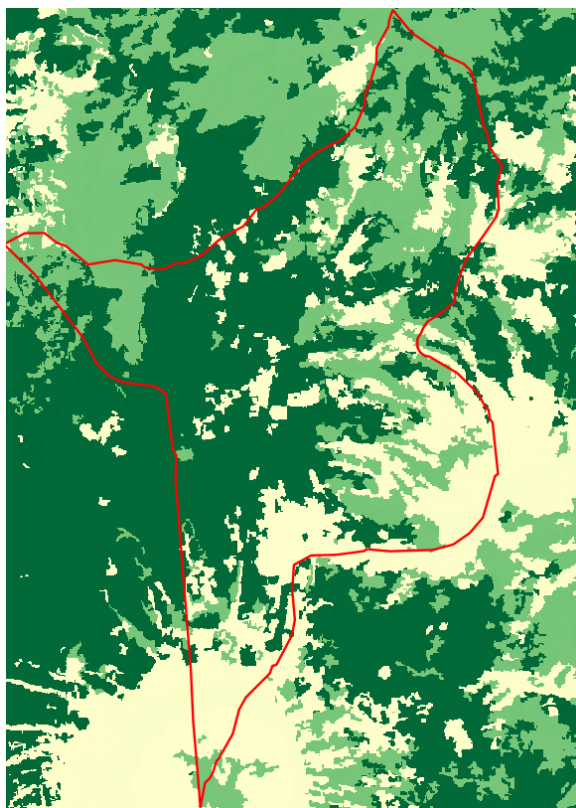
Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Con base en la existencia de tanques, se determinó la ubicación de la propuesta del tanque de agua potable, mediante los resultados obtenidos de la matriz realizada y la evaluación de las capas ráster individualmente. El tanque estará ubicado en el Cerro de La Cruz de La Antigua Guatemala, con coordenadas latitud 14.566752° y longitud -90.731085°. El punto fue evaluado en ambos métodos de análisis de riesgo; en el caso de la matriz la combinación obtenida fue “*muy mal uso de suelo, no hay deslizamiento, mala precipitación, buena pendiente*” y para el caso de la evaluación individual capa se obtuvo “*muy mal uso de suelo, no hay deslizamiento, buena precipitación, buena pendiente*”. La única diferencia entre ambos resultados es la precipitación obtenida. (Ver Cuadro 39).

Sin embargo, la precipitación fue una variable que ocasiono problemas al realizar la matriz debido al tamaño de sus pixeles; por lo que, al realizar la interpolación puede que haya ocasionado dicha variación entre la comparación de resultados. No obstante, las variables de mayor importancia corresponden a pendiente y deslizamiento, en donde pendiente es considerada como “*bueno*” haciendo referencia a un valor de 6% a 10% y deslizamiento “*no hay*”. Por otro lado, la variable de uso de suelo corresponde a información del año 2012; de modo que los datos no están actualizados, y según los datos obtenidos el punto localizado se posee “*mal uso de suelo*” que hace referencia a urbanización.

De acuerdo con lo anterior, se decidió ir a visitar el lugar para corroborar dicha variable y de acuerdo con lo observado en dicha ubicación no se encuentra ninguna urbanización. Además, el lugar seleccionado también se encuentra fuera del cinturón verde, respetando las normas de La Antigua Guatemala (*ver Figura 2*). Concluyendo que el lugar seleccionado no implica ningún futuro riesgo para la construcción del nuevo tanque de almacenamiento de agua potable de acuerdo con los datos obtenidos de los análisis realizados.

Figura 47. Matriz obtenida de las capas evaluadas del departamento de Sacatepéquez.



Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

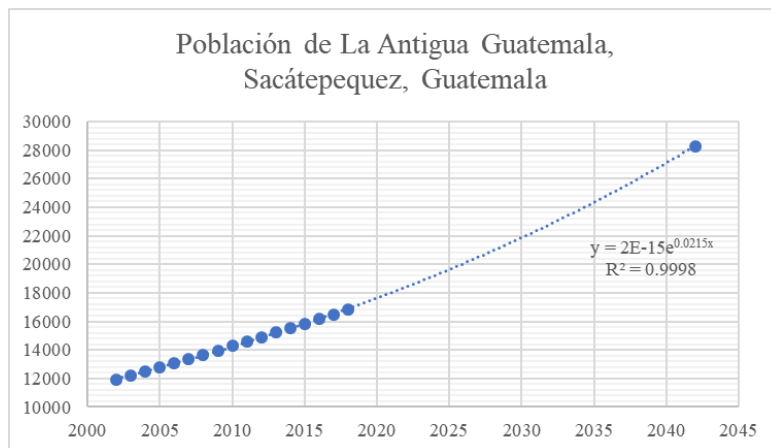
### 3. Parámetros preliminares

Cuadro 40. Proyección de población de La Antigua Guatemala,

Año	Población (habitantes)
2002	11910
2003	12190
2004	12478
2005	12770
2006	13065
2007	13362
2008	13661
2009	13963
2010	14269
2011	14579
2012	14893
2013	15211
2014	15531
2015	15854
2016	16178
2017	16503
2018	16829
2042	28267

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Figura 48. Proyección de la población de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez.



Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 41. Parámetros iniciales para cálculos.

Parámetros iniciales		
Tasa de Crecimiento	2.18%	
Población (2042)	28267	habitantes
Años de diseño	24	años
Dotación	120	lt/hab/día
Caudales de diseño		
Consumo medio diario (Qmd)	39.26	lt/seg
Consumo medio diario (Qmd)	0.04	m <sup>3</sup> /seg
Consumo máximo diario (Qmaxd)	47.11	lt/seg
Consumo máximo diario (Qmaxd)	0.05	m <sup>3</sup> /seg
<i>Factor</i>	<i>1.2</i>	
Cosumo máximo horario (Qmaxh)	78.52	lt/seg
Cosumo máximo horario (Qmaxh)	0.08	m <sup>3</sup> /seg
<i>Factor</i>	<i>2</i>	
Líneas de Conducción (Caudal de bombeo)	78.52	lt/seg
Líneas de Conducción (Caudal de bombeo)	0.08	m <sup>3</sup> /seg
<i>Horas de bombeo</i>	<i>12</i>	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Se inició a diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable, mediante la realización de la proyección de la población del censo del 2002 de La Antigua Guatemala conforme al periodo de diseño seleccionado; el cual corresponde a 24 años por tratarse de una obra civil. Obteniendo una población de 28 267 habitantes, dicha población es referente a vivienda. Sin embargo, la población puede variar por tratarse de proyecciones, ya que se trabajaron con una tasa de crecimiento poblacional correspondiente al país y no una municipal. Ocasionando un sobredimensionamiento a la población real del lugar.

A continuación, para definir los distintos caudales se asignó la dotación de 120 lt/hab/día (*ver Cuadro 41*); la cual, fue definida tomando en cuenta que La Antigua Guatemala posee un nivel elevado de turismo y, además, cuenta con gran variedad de hoteles, restaurantes y lugares de recreación. Se calcularon los diferentes caudales de diseño, obteniendo los siguientes resultados: caudal medio diario de 39.26 lt/seg; caudal máximo diario de 47.11 lt/seg; y caudal máximo horario de 78.52 lt/seg.

En el caso del caudal máximo diario se usó un factor de 1.2, ya que de acuerdo con la norma del Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, se utiliza cuando la población sea mayor a 1000 habitantes. Y para el caudal máximo horario un factor de 2, el cual corresponde para una población mayor de 1000 habitantes. Debido a que el tanque será abastecido por pozos, se determinó el caudal de bombeo. En este caso se asumió que serían 12 horas de bombeo para un motor Diesel; este caudal dio como resultado 78.52 lt/seg (*ver Cuadro 41*).

#### 4. Volumen del tanque de agua potable

Cuadro 42. Volumen del tanque de agua potable diseñado.

Tanque de almacenamiento		
Caudal entrada (Qb)	78.52	lt/seg
% de compensación	0.25	
Días de almacenamiento	1	día
Volumen	<b>1,696.01</b>	m <sup>3</sup>

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Se prosiguió calculando el volumen del tanque mediante el caudal de bombeo; en donde se asumió un volumen de compensación de 25%, ya que no se pudo obtener el consumo diario de la población, por lo que el volumen del tanque corresponde a 1697 m<sup>3</sup> (*ver Cuadro 43*). Definiendo las siguientes medidas del tanque: 5 metros de altura, 18 metros de largo y 18 metros de ancho.

## 5. Dimensionamiento tanque estructuralmente

Cuadro 43. Análisis estructural del tanque.

Análisis estructural		
Dimensiones		
Ancho	18.50	m
Largo	18.50	m
Alto	5.30	m
Espesor de muros	0.30	m
Espesor losa del fondo	0.30	m
Espesor de la tapa	0.20	m
Refuerzo vertical		
Cara interior	varillas No. 5 @ 3.5 in	
Cara exterior	varillas No.4 @ 4 in	
Refuerzo horizontal		
Cara interior	varillas No.5 @ 3.5 in	
Cara exterior	varillas No.4 @ 4in	
Control de grietas - cara interior		
Espaciamiento varillas	8.89	cm
Espaciamiento máx.	9.77	cm
Control de grietas - cara exterior		
Espaciamiento varillas	10.16	cm
Espaciamiento máx.	10.63	cm
Eslabones		
Estribo No. 4 @ 3in		

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Se prosiguió con dimensionamiento del tanque estructuralmente mediante dos condiciones. La primera se basó al momento que el tanque no cuenta con la presión dinámica del suelo, únicamente la del agua y la segunda cuando el tanque esta vacío con presión únicamente del suelo (*ver apéndice: análisis estructural*). Para la primera condición se obtuvo un refuerzo de cara interior (vertical y horizontal) de varillas No. 5 @ 3.5 in con un espaciamiento máximo de 9.77 cm y para el refuerzo de cara exterior (vertical y horizontal) de varillas No. 4 @ 4 in con un espaciamiento máximo de 10.63 cm. Para la segunda condición, tanto en la cara interna como externa (vertical y horizontal) se obtuvo un refuerzo de varillas No. 4 @ 4 in con espaciamiento máximo de 10.63 cm. (*Ver Cuadro 43*)

Se obtuvieron momentos mayores para la primera condición que para la segunda; lo anterior, se debe a que la presión dinámica del agua provoca mayores momentos en la estructura que la presión dinámica del suelo. Inducido por la diferencia de densidades en los dos elementos, donde el agua posee mayor densidad que el suelo, por lo que el fluido sea más susceptible a las aceleraciones provocadas por un sismo (*ver apéndice: análisis sísmico*).

Por lo anterior, se determinó que el refuerzo a utilizar sería el obtenido por la evaluación de la primera condición (*ver Cuadro 43*). En dicha condición se pudo realizar la verificación de fugas, previniendo cualquier error durante la construcción. Además, el resultado es más conservador si en dado caso el suelo donde se encuentra ubicado el tanque se llega a erosionar o si se decide dejar el tanque a un nivel superficial.

## 6. Sistema de cloración

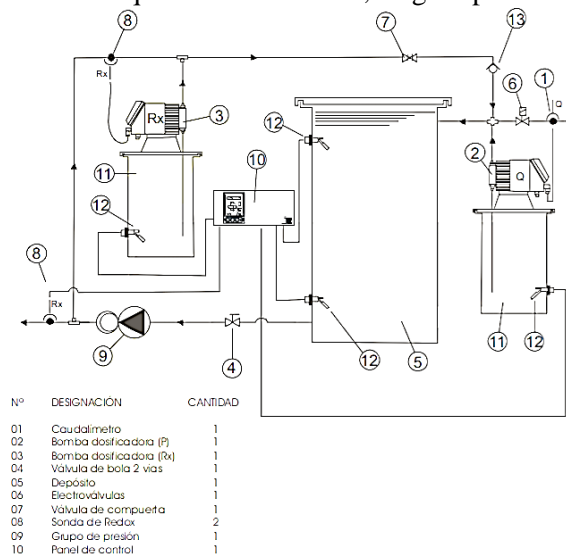
Cuadro 44. Dosificación de hipoclorito de sodio.

Concentración 0.5% (500mg/L)		
Volumen de agua (lt)	Cantidad de cloro t. normal (ml)	Cantidad de cloro emergencia (ml)
1000	200	400
1696014	339203	678406

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Luego se definió el tipo de cloración a utilizar, la cual corresponde al hipoclorito de sodio. Ya que, el hipoclorito de calcio viene dado en tabletas y, por ende, es necesario preparar la solución previamente a ser aplicada al fluido; ocasionando un atraso o inclusive un mal manejo de la cantidad de cloración que es requerida por el tanque. Y el cloro gaseoso, viene en cilindros; los cuales constituyen un alto nivel de peligro para el operador o inclusive una fuga podría ocasionar daños al ecosistema donde se encuentre el tanque. Concluyendo, que hipoclorito de sodio constituye una mejor opción para desinfectar del agua por su fácil manejo y mínimo peligro para el operador.

Figura 49. Tanque de recirculación, elegido para el diseño.



Fuente: (ITE, 2010)

Se concluyó usar una concentración de hipoclorito de sodio de 0.5% (5000mg/L), pues por la baja concentración no cambia el sabor ni olor del agua; haciéndolo agradable a la percepción del ser humano. De acuerdo con el volumen diseñado, la cantidad de cloro a dosificar es de 339 203 ml (*ver Cuadro 44*). En base a ello, se buscó un sistema de cloración ideal para el proceso; se optó por el uso de cloración en un tanque de recirculación (*ver Figura 49*). Dicho mecanismo, proporciona una cloración al principio en la entrada del agua y si es necesario se realiza un ajuste de cloración en la salida. Además, este tipo de sistemas constituye una verificación constante del suministro del cloro.

Actualmente, todas las fuentes de agua potable que posee La Antigua Guatemala se encuentran en mal estado. De acuerdo con la información recolectada, todas poseen deficiencia en la cloración del agua, cableado eléctrico dentro del agua, y estructuras en mal estado que habilitan la entrada de contaminantes. Provocando que el agua que se le distribuye a la población no posea la desinfección adecuada. Cabe mencionar, que La Antigua Guatemala se encuentra cambiando toda la tubería de distribución de asbesto por PVC para mejorar la calidad del agua. Sin embargo, lo anterior sigue siendo ineficaz teniendo aun las fuentes de agua potable en mal estado.

## 7. Líneas de conducción

Cuadro 45. Información de los pozos de La Antigua Guatemala y del tanque propuesto.

Información para conducción			
Punto	Z (m)	Diferencia (m)	Longitud (m)
Pozo Candelaria I	1548.66	115.29	485.60
Pozo Candelaria 2	1548.36	115.59	506.36
Pozo Chacará	1552.94	111.01	1447.27
Pozo Santa Rosa	1544.27	119.68	745.54
Pozo Parque la Unión	1535.74	128.21	1623.22
Tanque de abastecimiento	1663.95		

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Se diseñaron las líneas de conducción de cada uno de los pozos hacia la propuesta del tanque de almacenamiento de agua potable. Cada una de estas constituye una trayectoria independiente de la otra; lo anterior, debido a que cada pozo posee características diferentes por lo que si se desea unir estos puede provocar daños en las tuberías por las presiones. Además, se prevé que al momento de realizar mantenimiento no se tengan que cerrar todas las fuentes de agua y, por ende, afecte a la distribución. Al ser independientes, una línea de conducción no dependerá de la otra (*ver Cuadro 45*).

Para cada línea de conducción se diseñó con tubería de PVC SDR 32.5 con una presión de trabajo de 125 psi. Se eligió trabajar con dicho material ya que, representa un material inerte e inocuo que conserva las propiedades del agua de consumo humano, un material que no se oxida ni se corroe. También, proporciona menor pérdida de carga por la lisura de su superficie y se comporta de mejor manera ante el golpe de ariete por su naja celeridad. Cabe mencionar que es un material fácil de transporte, manipulación e instalación por lo que su costo es menor.

Cuadro 46. Resultados de línea de conducción de pozo Candelaria 1

Conducción de Pozo Candelaria 1 - Tanque nuevo		
Caudal de bombeo	12.87	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125	psi
Diámetro tubería	6	in
Longitud	485.60	m
Cantidad de tubos	81	
Potencia de la bomba	70	HP
Eficiencia de bomba	60.00%	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 47. Resultados de línea de conducción de pozo Candelaria 2

Conducción de Pozo Candelaria 2 - Tanque nuevo		
Caudal de bombeo	13.56	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125	psi
Diámetro tubería	6	in
Longitud	506.36	m
Cantidad de tubos	84	
Sistema de bombeo en serie		
Potencia de la bomba 1	100	HP
Potencia de la bomba 2	40	HP
Eficiencia de bombas	60.00%	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 48. Resultados de línea de conducción de pozo Chacará.

Conducción de Pozo Chacará - Tanque nuevo		
Caudal de bombeo	10.47	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125	psi
Diámetro tubería	5	in
Longitud	1447.27	m
Cantidad de tubos	241	
Sistema de bombeo en serie		
Potencia de la bomba 1	100	HP
Potencia de la bomba 2	30	HP
Eficiencia de bombas	60.00%	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 49. Resultados de línea de conducción de pozo Parque La Unión

Conducción de Pozo Parque La Unión - Tanque nuevo		
Caudal de bombeo	15.27	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125	psi
Diámetro tubería	6	in
Longitud	1623.22	m
Cantidad de tubos	271	
Potencia de la bomba	80	HP
Eficiencia de bomba	60.00%	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 50. Resultados de línea de conducción de Santa Rosa.

Conducción de Pozo Santa Rosa - Tanque nuevo		
Caudal de bombeo	26.34	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125	psi
Diámetro tubería	8	in
Longitud	745.54	m
Cantidad de tubos	124	
Sistema de bombeo en serie		
Potencia de la bomba 1	100	HP
Potencia de la bomba 2	75	HP
Eficiencia de bombas	60.00%	

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Por consiguiente, se calculó cada tipo de bomba que utilizaría en cada línea de conducción. En el caso de la conducción de agua potable del pozo Candelaria 1, se utilizará una bomba de 70 HP con

una eficiencia del 60% recorriendo una distancia de 485.60 m en donde se utilizará 81 tubos de 6 in de diámetro (cada tubo de 6 metros). En el caso de la línea de conducción del pozo Parque la Unión, se utilizará una bomba de 80 HP con una eficiencia del 60% con una trayectoria de 1623.22 m en donde se utilizarán 271 tubos (cada tubo de 6 metros).

Por otro lado, para los siguientes tres pozos se utilizará un sistema en serie de bombas; ya que, la potencia de la bomba requerida era elevada debido a la carga dinámica. Por lo que, se decidió utilizar una bomba para sacar el agua del pozo y otra para llevar el agua de la boca del pozo hacia la propuesta del tanque de agua potable. La potencia de la bomba se basa en la carga dinámica total, caudal y eficiencia de la bomba. Por lo que, la bomba debe de tener la capacidad de dominar las pérdidas totales que tendrá la tubería. En cálculo de las cargas dinámicas totales (*ver Cuadro 46, 47, 48, 49, y 50*) que afecto de manera significativa la potencia de las bombas donde los niveles dinámicos o el caudal eran mayores.

En el caso del pozo de Candelaria 2, se obtuvo la primera bomba de 100 HP para extraer el agua desde un nivel dinámico de 387 m y la segunda de 40 HP para recorrer la distancia de 506.36 m de tubería de 6 in diámetro; ambas bombas tendrán una eficiencia de 60%. Actualmente, el pozo de Candelaria 2 utiliza una bomba de 100 HP por lo que únicamente sería necesario agregar la segunda bomba para la conducción. Para el pozo Chacará, se obtuvo una bomba de 100 HP para la succión del agua desde un nivel dinámico de 500 m y la segunda bomba de 30 HP para recorrer una distancia de 1447.27 m de tubería de 5 in de diámetro.

Y para el pozo Santa Rosa, se ve afectado por el caudal a utilizar, el cual consiste en 26.34 L/s; obteniendo que se utilizará una bomba para extraer el agua del pozo de 100 HP y otra de 75 HP para recorrer una distancia de 745.54 m con una tubería de 8 in de diámetro. En este caso, el caudal que posee el pozo es de 53.37 L/s; por lo que, la suma de los caudales utilizados en cada pozo corresponde al caudal de bombeo de diseño es de 78.52 L/s

8. Accesorios

Cuadro 51. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Candelaria

Pozo Candelaria 1		
Accesorio	x (m)	y(m)
Válvula de cheque	0	1548.66
Válvula de cheque	485.6	1663.95
Válvula de limpieza	220	1562

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 52. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Candelaria 2.

Pozo Candelaria 2		
Accesorio	x (m)	y(m)
Válvula de cheque	0	1548.36
Válvula de cheque	506.36	1663.95
Válvula de limpieza	240	1562

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 53. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Chacará.

Pozo Chacará		
Accesorio	x (m)	y(m)
Válvula de cheque	0	1552.94
Válvula de cheque	1447.27	1663.95
Válvula de limpieza	1070	1550
Válvula de limpieza	1180	1562

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 54. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Parque la Unión.

Pozo Parque la Unión		
Accesorio	x (m)	y(m)
Válvula de cheque	0	1535.74
Válvula de cheque	1623.22	1663.95
Válvula de limpieza	1360	1595

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 55. Ubicación de accesorios seleccionados pozo Santa Rosa.

Pozo Santa Rosa		
Accesorio	x (m)	y(m)
Válvula de cheque	0	1544.27
Válvula de cheque	745.54	1663.95
Válvula de limpieza	480	1560

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Luego, se determinaron los accesorios a utilizar para evitar daños en la tubería. Estos accesorios son esenciales para evitar que la tubería se dañe en poco tiempo y la vida útil de todo el sistema sea lo más prolongada posible. En cada línea de conducción se utilizaron válvulas de cheque para evitar el daño en la tubería; estas válvulas están colocadas al inicio y al final de la trayectoria. Y se colocaron válvulas de limpieza en los puntos más bajos para poder eliminar posibles sedimentos acumulados. El sistema de abastecimiento constituye un progreso en el desarrollo de los habitantes de La Antigua Guatemala, mediante la mejora de la calidad del agua.

## B. Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia en La Antigua Guatemala

### 1. Comparación entre los sistemas de captación de agua de lluvia

Cuadro 56. Comparación entre los dos sistemas de captación pluvial.

<b>Factores</b>	<b>Techo cuenca</b>	<b>Ladera con geomembrana</b>
Factor de escurrimiento	Lámina galvanizada: 0.7 a 0.9	Geomembrana: 0.7
Mantenimiento	Se chequean sus componentes una vez al año.	Chequeo constante de la geomembrana para reparación de agujeros. Debe quitarse en época de verano y colocarse al inicio del invierno.
Personal técnico para su uso	No requiere.	Si requiere, debido a la pendiente de las laderas y su ubicación.
Área de captación	Depende del área del techo.	Requiere de una mayor área de captación, pendiente elevada y alargada
Pureza del agua	Minimiza la contaminación del agua.	Mayores impurezas. Si el caudal de escorrentía aumenta, el flujo puede transportar tierra y tapar el sistema de conducción del agua.
Materiales de la estructura	Se seleccionan con base al costo, eficiencia y que no sea dañino para la salud.	Debe utilizarse geomembrana obligatoriamente.
Flujo superficial	El agua escurre sin problemas sobre el techo.	La presencia de vegetación retarda el flujo superficial de escorrentía y ayuda a que se infiltre
Amenazas	Posible disminución en la cantidad de lluvia para cierto año, debido al cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se acumula mucha agua en la ladera, se puede generar deslizamientos en el terreno.</li> <li>• Disminución de la captación del agua requerida debido a la infiltración del suelo.</li> </ul>
Estudios técnicos	Estudio de suelos	Topografía, estudio de suelos, geología, historia del sitio y flora; para determinar volúmenes de excavación, relleno y compactación.
Costo	Costo de inversión inicial alto	Costo de inversión inicial menor
Vida útil	40 años	25 años

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

El sistema de captación pluvial seleccionado fue techo cuenca debido a que no requiere de mantenimiento constante ni personal técnico para utilizarse, solo necesita una revisión de sus

componentes al comienzo de la temporada de lluvia para remover materiales que puedan alterar la calidad del agua. Igualmente, la captación depende del factor de escurrimiento del material del techo, por lo que se optó por lámina galvanizada por tener uno de los factores más altos, siendo de 0.8. Además, se estima que posee una vida útil de 40 años.

Por otra parte, el sistema de ladera con geomembrana posee una vida útil de 25 años. Su área de captación se ubica en una ladera de modo que, el agua traerá mayores impurezas y la vegetación que se encuentre alrededor de la geomembrana retardará el flujo superficial de escorrentía y ayudará a que se infiltre en el suelo; haciendo menos eficiente esté sistema con relación al techo cuenca. Adicionalmente, la geomembrana presenta un coeficiente de escorrentía de 0.70, el cual puede superarse fácilmente mediante el uso de lámina metálica.

De igual forma, el sistema de ladera con geomembrana requiere de movimiento de tierras y tiene la desventaja de requerir áreas más grandes de captación, lo cual no es conveniente para Antigua Guatemala por ser un área turística y Patrimonio de la Humanidad, ya que opacaría el paisaje. También, el sistema requiere de mayor mantenimiento por el deterioro de la geomembrana y se debe revisar que las partículas del suelo u hojas no obstruyan la entrada del almacenamiento.

El sistema de techo cuenca presenta una mayor inversión inicial que el de ladera con geomembrana, pero debe considerarse que el cerro de la Cruz se encuentra en una zona de deslizamientos. Por esta razón, no es recomendable el diseño del sistema sin estudios de suelo, topografía, geología, flora, historia del sitio y curvas de nivel exactas para determinar los volúmenes de excavación, relleno y compactación. Puesto que, se puede acumular mucha agua en la ladera, generando deslaves y perjudicando la seguridad de los habitantes.

## 2. Elaboración de matriz de análisis de riesgo

Se identificaron las propiedades de la Municipalidad de la Antigua Guatemala, que se encuentran en el cerro de la Cruz, y se colocaron en un mapa temático. La ubicación del techo cuenca se determinó por medio de una matriz de análisis de riesgo y evaluación de las capas ráster individualmente. El sistema estará ubicado en una de las propiedades de la Municipalidad de la Antigua Guatemala que se encuentre en el cerro de la Cruz, con coordenadas latitud 14°34'0.56"N y longitud 90°43'51.88"O.

En el caso de la matriz la combinación obtenida fue “muy mal uso de suelo, no hay deslizamiento, mala precipitación, buena pendiente” y para el caso de la evaluación individual capa se obtuvo “muy mal uso de suelo, no hay deslizamiento, buena precipitación, buena pendiente”. Se puede apreciar que la diferencia entre ambas metodologías es la precipitación.

Cuadro 57. Descripción de los resultados de los dos métodos.

Metodo de obtención	Dato	Valores individuales			
		Uso de suelo	Deslizamiento	Precipitación	Pendiente
Valor seleccionado de matriz	401102	400000	1000	100	2
<i>Descripción</i>		<i>Muy mal uso de suelo</i>	<i>No hay deslizamiento</i>	<i>Mala precipitación</i>	<i>Buena pendiente</i>
Valor obtenido de rasters individuales	401202	400000	1000	200	2
<i>Descripción</i>		<i>Muy mal uso de suelo</i>	<i>No hay deslizamiento</i>	<i>Buena precipitación</i>	<i>Buena pendiente</i>

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

No obstante, la variable que produjo problemas al realizar la matriz fue la precipitación debido al tamaño de los píxeles del ráster, por lo que se tuvo que interpolar a píxeles más pequeños, esto pudo generar la variación entre los resultados obtenidos. Se debe resaltar que, pese a que no se encontró un lugar en el cerro de la Cruz con una “muy buena precipitación”, el techo cuenca se diseña con los valores de precipitaciones de 10 años registradas por el INSIVUMEH y se diseña para el volumen de agua que se quiera captar. Por lo tanto, el no encontrar este factor en la matriz ni de forma individual no perjudica en la implementación del sistema de captación pluvial.

Adicionalmente, la variable de pendiente tuvo un valor entre 6% a 10%, considerado como “bueno” y la de deslizamiento obtuvo “no hay”. Mientras que, la variable de uso de suelo adquirió un valor de “mal uso de suelo” correspondiente a urbanización, pero al revisar la ubicación con Google Earth se pudo apreciar una zona plana de tierra sin vegetación ni construcciones; de modo que en el sitio se puede construir con facilidad. También, hay que tomar en cuenta que los rásters tienden a generalizar la información. Igualmente, la ubicación del techo cuenca no forma parte del cinturón verde, respetando así el reglamento número 32-2010 de Antigua Guatemala. Se concluye que el terreno seleccionado no implica ningún riesgo para la construcción del techo cuenca.

### 3. Propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el sistema diseñado

Seguidamente, se eligieron las propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el sistema. La primera fue limpieza de las calles de La Antigua Guatemala, para lo cual se contactó a la Fundación Valle de Panchoy, quienes proporcionaron la cantidad de agua estimada que utilizan para

esta actividad, siendo de 84.94 m<sup>3</sup> al año. Ellos cuentan con una hidrolavadora con una presión de 3,500 psi, de modo que no requieren de mucha agua para remover la suciedad. Además, el sistema tiene la opción de utilizar agua caliente, lo que permite remover chicles o manchas difíciles de quitar.

Otra propuesta fue el riego de café por ser uno de los principales productos agrícolas de Sacatepéquez, se consideraron 5 manzanas, que se regaría dos veces por semana, utilizando 125 gal de agua para regar cada manzana, según las recomendaciones de Anacafé (2018). Se estimó un total de 227.12 m<sup>3</sup> al año para dicha actividad. La última propuesta es la de apaciguar un incendio, se calculó una probabilidad de ocurrencia de 0.55% al año. Por lo que, se consideró un incendio por año, almacenando 11.36 m<sup>3</sup> para cubrir un incendio promedio. El agua total que se necesita para todas las actividades es de 328.42 m<sup>3</sup> anual.

Cuadro 58. Volumen de agua requerido para cada propuesta

<b>Resumen de las propuestas de reuso del agua captada</b>			
<b>No.</b>	<b>Tipo</b>	<b>V anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V mensual (m<sup>3</sup>)</b>
1	Limpieza de calles	89.94	7.50
2	Riego de café	227.12	18.93
3	Incendio	11.36	0.95
<b>TOTAL</b>		<b>328.42</b>	<b>27.37</b>

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

#### 4. Dimensionamiento

Se evaluó la precipitación mensual en la zona, durante el período comprendido del 1 de enero de 2008 al 31 de diciembre de 2017, mediante los datos de la estación Suiza Contenta proporcionados por el INSIVUMEH. El diseño tanto del tanque y del techo de captación se hizo considerando la demanda mensual de 27.37 m<sup>3</sup> y la disponibilidad de precipitación promedio mensual de los 10 años evaluados.

En promedio el mes con mayor precipitación es junio con 249.97 mm y el menor es enero con 1.44mm. El año con mayor promedio de precipitación fue 2008 con 125.7 mm y el menor 2009 con 78.6mm. Al observar las variaciones de precipitación, se optó por realizar un sobredimensionamiento del tanque para que la población tenga el agua necesaria para cubrir la demanda.

Para establecer el volumen del tanque de almacenamiento se tuvo que asumir un área para determinar la oferta de agua de lluvia, luego se obtuvieron la oferta y la demanda acumuladas. Se

consideró la cantidad de agua que entraría al tanque y que saldría de este, para así identificar el volumen máximo que se acumularía en el mismo. El volumen máximo acumulado es de  $143.51 \text{ m}^3$ , que corresponde al mes de mayo con un área de captación asumida de  $340 \text{ m}^2$ . No obstante, se realizó un sobredimensionamiento del 7% para garantizar que el agua sea la suficiente para abastecer la demanda durante los 6 meses de sequía (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre). El volumen del tanque final es de  $154 \text{ m}^3$ .

Cuadro 59. Dimensionamiento del área de captación y volumen del tanque.

Dimensionamiento		
Área de captación	340	$\text{m}^2$
Dimensiones del techo propuesto	14 m x 12.5 m	Para cada techo de un agua
Volumen del tanque de almacenamiento (con sobredimensionamiento)	154	$\text{m}^3$

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Se optó por un reservorio superficial debido a su menor costo, no requiere de bombeo, es de fácil mantenimiento, limpieza y reparación. Se escogió una geometría cuadrada y de concreto reforzado por ser el más común en la región, además de ser más económico a comparación de un tanque de acero. Las dimensiones fueron propuestas hasta llegar al volumen de sobredimensionamiento, teniendo así un nuevo volumen de  $156 \text{ m}^3$ .

Así mismo, el tanque se diseñó con base a su condición de carga crítica que es cuando el tanque está completamente lleno. Por ser una zona sísmica, se analizaron los efectos hidrodinámicos del agua en interacción con los componentes del tanque (paredes, fondo y tapa), calculando la masa impulsiva y la convectiva, la primera es la que se mueve en conjunto con la estructura y última es la producida por la oscilación del agua. Se calcularon las fuerzas laterales y presiones dinámicas, llegando a tener una presión hidrodinámica total de  $604.72 \text{ kg/m}^2$ .

Consecutivamente se obtuvieron las combinaciones de cargas estáticas y dinámicas últimas, siendo  $5,100 \text{ kg/m}^2$  y  $4,204.72 \text{ kg/m}^2$ , respectivamente. Se puede observar que la carga estática última

es mayor, lo que significa que las fuerzas sísmicas no alterarán el comportamiento de la estructura. Por tanto, el diseño del tanque se realizó para la acción de cargas estáticas.

Posteriormente, se hizo el diseño por flexión, en la Figura 36 se visualiza que el momento flector ( $M_x$ ) en la base del muro tracciona la cara interior en contacto con el agua, y hacia la parte central, la tracción por flexión sucede hacia la cara exterior del muro del tanque con un menor valor del que ocurre en la base. En la Figura 37 se observan los momentos horizontales en el muro largo ( $M_y$ ), los cuales son máximos en los bordes del muro a la mitad de la altura del tanque. El acero vertical y horizontal se diseña con los valores de momentos máximos a  $x=3.95$  m y  $y=1.5$  m, respectivamente.

Se determinó que el tanque tendrá un refuerzo horizontal y vertical, tanto para la cara interior y exterior de varillas No. 4 @ 6.5 in, el espaciamiento máximo del acero de refuerzo para condiciones severas es de 24.21 cm y el propuesto fue de 16.51 cm (6.5 in), de modo que el espaciamiento controla el ancho de las grietas; garantizando así la impermeabilidad de las paredes del reservorio. Adicionalmente, el espaciamiento propuesto cumple con el Art. 14.3.2 del ACI 350 (2006), donde se establece que la varilla mínima es No.4 y el espaciamiento no debe ser mayor a 12 pulgadas (30.48 cm).

Cuadro 60. Dimensiones y refuerzo de acero del tanque de almacenamiento

<b>Dimensiones del tanque de almacenamiento</b>		
Ancho	7.60	m
Largo	7.60	m
Alto	3.00	m
Espesor de los muros	0.30	m
Espesor de la tapa	0.20	m
<b>Refuerzo vertical</b>		
Cara interior del tanque	varillas No. 4 @ 6.5 in	
Cara exterior del tanque	varillas No. 4 @ 6.5 in	
<b>Refuerzo horizontal</b>		
Cara interior del tanque	varillas No. 4 @ 6.5 in	
Cara exterior del tanque	varillas No. 4 @ 6.5 in	
<b>Control de grietas</b>		
Espaciamiento de varillas	16.51	cm
Espaciamiento máximo, $S_{m\acute{a}x}$	24.21	cm
$S_{varillas} < S_{m\acute{a}x}$	Sí controla el ancho de las grietas	

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Por otra parte, se propuso una canaleta tipo trapezoidal debido a que las paredes inclinadas reducen la fricción, haciendo que el agua evacue más rápido. El material seleccionado es de lámina galvanizada por su alta durabilidad. Así mismo, se colocarán 4 cajas-sumidero que tengan las mismas

medidas que la canaleta, cubiertas por un cedazo No. 4 para retener las partículas grandes. El tubo que llevará el agua de las canaletas al tanque será de 2” de diámetro.

Cuadro 61. Dimensiones de canaleta, cajas sumidero y tubería de PVC.

<b>Canaleta</b>		
Tipo	trapezoidal	
b=	0.4	m
y=	0.2	m
z=	0.5	
Material	Lámina galvanizada	
Calibre	22	
<b>4 Cajas-sumidero</b>		
Cedazo	No. 4 (abertura de 4.75mm)	
Dimensiones iguales a la canaleta		
<b>Tubería PVC</b>		
D a usar=	2	in

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Seguidamente, se diseñó la estructura de acero, considerando un techo con dimensiones de 14m x 12.5 m por cada agua, con una pendiente del 5%. La geometría del techo cuenca se basó en el modelo experimental de Nuevo León, México, colocando el tanque de almacenamiento al centro de la estructura para que el agua que llegue a las canaletas ingrese por gravedad al tanque. Se categorizó la estructura como una edificación ordinaria debido a la recurrencia de la gente en le edificación. El sistema estructural del techo cuenca es de marcos a momento, se optó por marcos ordinarios porque es posible utilizar perfilera menos compacta y evitar todo el detallamiento sísmico adicional que conlleva diseñar marcos especiales a momento.

Igualmente, se consideró una estructura parcialmente cerrada, de modo que si la comunidad desea cerrar la estructura causará inestabilidad en caso de vientos extremos y puede producir el colapso. Se debe señalar que la carga de viento en una edificación cerrada genera presión de empuje o de succión dependiendo de la dirección que golpea la edificación la carga del viento, por lo que la forma en que impacta cambia. Adicionalmente, se incorporaron tensores en el techo, ya que transfieren esfuerzos a tracción a las columnas y vigas. Las zapatas de cada columna son aisladas, teniendo un refuerzo de varillas No. 5 @ 4.5 in en ambos sentidos.

Cuadro 62. Elementos de la estructura del techo cuenca.

<b>Secciones</b>	
Vigas	HSS14x4x1/4
Columnas	HSS8x8x1/4
Costaneras	HSS9x7x1/8
Tensores	1/2 in
<b>Zapata</b>	
Refuerzo:	Varillas No. 5 @ 4.5 in en ambas direcciones

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Para comprobar que la estructura es capaz de soportar las cargas laterales, se chequearon las derivas. La deriva máxima admisible es de 0.10 m, pero esta se encuentra en el rango elástico, por lo que se obtuvo la correspondiente en el rango inelástico, siendo de 0.012 m; encontrando una relación demanda capacidad del 0.65, lo que significa que el techo cuenca tiene la rigidez necesaria. Luego, se verificó la estabilidad de la estructura consiguiendo un coeficiente de 0.01562 que es menor a 0.1, por tanto, la estructura es lateralmente estable. Así mismo, la estructura cumple con las deflexiones verticales. Las secciones de acero elegidas para el techo cuenca pueden visualizarse en el *Cuadro 62*.

## 5. Costos

Se estimó un costo de Q670,532.61 (\$83,816.58) para el techo cuenca, el cual incluye materiales, mano de obra y excavación. Se debe resaltar que los costos de mano de obra de elementos de concreto, formaleta y los elementos de concreto (piedrín, arena y cemento); se multiplicaron por 1.24 con la finalidad de incluir imprevistos, utilidad y herramientas. No obstante, los costes de los materiales pueden disminuir si se compra a precio de mayorista.

Así mismo, se evaluó el costo por m<sup>3</sup> al mes siendo de Q51.04 (\$6.38), considerando una durabilidad de 40 años para la estructura. El techo cuenca de Nuevo León, gasta \$2 por m<sup>3</sup> almacenado, sin embargo, la cisterna fue diseñada para una demanda mensual 81 m<sup>3</sup> al mes, por lo que posee mayor capacidad que el diseñado. También, hay que considerar que los precios de mano de obra y materiales son diferentes para México.

Cuadro 63. Presupuesto estimado del techo cuenca.

<b>Presupuesto</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio</b>
Lámina Ternium TR-101 (Q17.85 ft lineal)	28.00	ft lineal	Q 20,496.80
Canaleta galvanizada (Q55 c/u, 8ft de largo)	6.00	unidades	Q 330.00
Tubería de PVC (2" de diámetro, 100 PSI, 6 m de largo)	1.00	unidades	Q 90.10
Varillas de acero No. 4 (Q64.10 c/u, 9 m de largo)	180.00	unidades	Q 11,538.00
Varillas de acero No. 5 (Q36.10 c/u, 9 m de largo)	22.00	unidades	Q 794.20
Cemento para el tanque (3,000 psi) (Q69.25 el saco)	956.00	unidades	Q 82,091.72
Cemento para zapatas (4,000 psi) (Q74.60 el saco)	84.00	unidades	Q 7,770.34
Piedrín (1/2") (Q200 por m <sup>3</sup> )	55.25	m <sup>3</sup>	Q 13,703.18
Arena (Q92 por m <sup>3</sup> )	53.89	m <sup>3</sup>	Q 6,148.32
Agua (Se utilizará la que esté en el lugar)	19.45	m <sup>3</sup>	Q -
Formaleta (Q150 por m <sup>2</sup> )	712.92	m <sup>2</sup>	Q 132,603.12
Mano de obra elementos de concreto (Q1,150 por m <sup>3</sup> )	104.49	m <sup>3</sup>	Q 149,005.59
Estructura de acero (Q25 el kg de acero, incluye perforación, corte, soldadura, desperdicio y mano de obra)	9,755.48	kg	Q 243,887.10
Excavación (Q45 por m <sup>3</sup> )	46.09	m <sup>3</sup>	Q 2,074.14
<b>Monto total en Quetzales con IVA</b>			<b>Q 670,532.61</b>
<b>Monto total en Dólares con IVA</b>			<b>\$83,816.58</b>

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

El sistema de agua potable suministrada por la Municipalidad posee un costo de Q32 por el servicio, Q30 por media paja de agua (30 m<sup>3</sup>) asignada por casa y se hace un recargo de Q1 por m<sup>3</sup> extra consumido; teniendo un total al mes de Q62. Mientras que, el techo cuenca posee un costo de Q51.04 por m<sup>3</sup> al mes sin cloración. Por lo que, el costo del m<sup>3</sup> en La Antigua Guatemala es de Q1, es decir que el costo del m<sup>3</sup> del sistema pluvial es 50 veces mayor. A pesar del precio, se debe considerar que el techo cuenca es ideal para comunidades donde es escasa el agua y no se pueden perforar pozos, de modo que el sistema pluvial si es beneficioso.

Cuadro 64. Costo por m<sup>3</sup> de agua.

<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua</b>		
Costo de la obra	Q 670,532.61	
Durabilidad de la obra	40.00	años
Costo anual	Q 16,763.32	
Costo mensual	Q 1,396.94	
Agua captada al mes	27.37	m <sup>3</sup>
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua al mes</b>	<b>Q 51.039</b>	<b>m<sup>-3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua al año</b>	<b>Q 612.47</b>	<b>m<sup>-3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua al mes</b>	<b>\$ 6.38</b>	<b>m<sup>-3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua al año</b>	<b>\$ 76.56</b>	<b>m<sup>-3</sup></b>

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 65. Comparación del costo mensual entre el sistema pluvial y el potable.

<b>Sistema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo al mes</b>
Agua potable suministrada por la Municipalidad	Servicio de agua potable por Q32 y agua asignada a cada casa por Q30. Si hay exceso se cobrará Q1 por m <sup>3</sup> .	Q 62.00
Techo cuenca	Agua de lluvia sin cloración.	Q 51.04

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Para la estimación de materiales del tanque, se utilizó una relación de agua/cemento de 0.45 con una dosificación en volumen de 1:2:2, es decir una de cemento, dos de arena y dos de pedrín de ½". Mientras que, a las zapatas se le proporcionó una relación agua/cemento de 0.38 con una dosificación de volumen de 1:1:1.5, lo que significa una de cemento, una de arena y una y media de pedrín de ½". La diferencia entre la relación agua/cemento se debe a la resistencia a la compresión del cemento utilizado para el diseño de cada elemento.

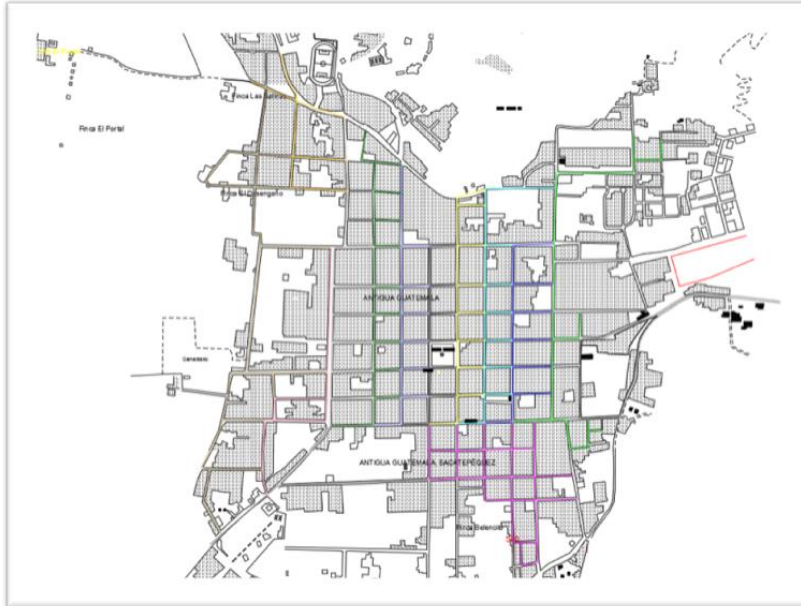
El sistema de cosecha de agua de lluvia tiene como finalidad que los pobladores se beneficien de este servicio. Sin embargo, el agua captada no es apta para el consumo humano, ya que puede presentar partículas de contaminación urbana y acidez. Es indispensable que la Municipalidad tome en cuenta la importancia del mantenimiento del sistema. Se requiere de limpieza de las canaletas como mínimo una vez al año, que el tanque se encuentre cerrado todo el tiempo para evitar el paso de contaminantes o que propicie la reproducción de insectos.

## C. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala

### 1. Delimitación del recorrido del sistema de alcantarillado sanitario

El procedimiento para realizar el diseño del sistema de alcantarillado sanitario consta de varias partes. En la primera parte, el sistema se dividió en trece matrices para la simplificación de este lo cual se puede observar en la siguiente figura:

Figura 50. Tramos del diseño de alcantarillado sanitario.



Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 66. Simbología de los tramos del sistema de alcantarillado

SIMBOLOGÍA	
	TRAMO NO. 1
	TRAMO NO. 2
	TRAMO NO. 3
	TRAMO NO. 4
	TRAMO NO. 5
	TRAMO NO. 6
	TRAMO NO. 7
	TRAMO NO. 8
	TRAMO NO. 9
	TRAMO NO. 10
	TRAMO NO. 11
	TRAMO NO. 12
	TRAMO NO. 13

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

## 2. Pendiente a partir de perfiles topográficos

La segunda parte consistió en colocar los pozos (con su numeración para una identificación más fácil) en las matrices indicando el pozo inicial y el pozo final. Para determinar la colocación de los pozos dentro de la matriz se hizo uso de los perfiles topográficos generados en el programa Civil AutoCAD donde se indica la dirección que tomará el flujo del caudal de diseño propuesto para el sistema.

Al mismo tiempo se fue haciendo uso de los perfiles topográficos para obtener tanto la cota del pozo de visita inicial como la cota del pozo de visita final. De igual forma se obtuvo la distancia que existe entre los mismos para determinar la pendiente mediante la siguiente ecuación:

$$S(\%) = \frac{(C_i - C_f)}{D} * 100 \quad \text{Ecuación 84}$$

Entre los resultados obtenidos se determinó que la pendiente más baja que existe entre un pozo de visita y otro en todo el sistema de alcantarillado es de 0.30% mientras que la pendiente máxima es de 26.90%. Según los perfiles topográficos generados en el programa Civil AutoCAD, se puede rectificar que el flujo actual que lleva el sistema de alcantarillado viene del noroeste hasta el suroeste de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez. También se rectificó que la rama principal, la cual acumula la mayor parte del caudal generado, toma una ruta desde la 1ra Avenida Norte, se desvía hacia la 7ma calle poniente y llega a la Alameda Santa Lucía con dirección a Carretera a Ciudad Vieja. Actualmente el agua es desviada y descargada en el río Wacalate.

Las pendientes fueron obtenidas mediante curvas de nivel brindadas por el proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en La Antigua Guatemala – Fase 2: Línea Base”. También se brindaron ortofotos de la ciudad las cuales se colocaron en las curvas de nivel para facilitar la visualización de las redes del sistema de alcantarillado sanitario. Cabe mencionar que los perfiles topográficos generados en el programa Civil AutoCAD, no representan la topografía de La Antigua Guatemala, sino que una estimación de cómo se encuentra la inclinación del terreno de la ciudad.

### 3. Asignación de caudales y diámetros de tubería por tramo

En la tercera parte se asignaron de los caudales respectivos los cuales fueron obtenidos del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en La Antigua Guatemala – Fase 1: Línea Base” los cuales se muestran en el Cuadro 4. Caudales de diseño por tramo, los cuales son 1.21 lt/s para el caudal actual y 2.1 lt/s para el caudal futuro. Se asignaron estos caudales para cada tramo tomando en cuenta que el caudal se acumula y en cada tramo se considera un mayor caudal a excepción de un tramo inicial.

A continuación, se colocó el diámetro de la tubería actual en pulgadas y en caso no chequeara, se colocó una cuyo diámetro remplazara a la actual y al se verificó que este si chequeara. Con la pendiente en cada tramo y la tubería a usar se prosiguió a la asignación de la velocidad en m/s y el caudal en  $m^3/s$  a sección llena.

Para los caudales asignados para cada tramo, se tomó en cuenta el caudal domiciliar, comercial, industrial, de infiltración y de conexiones ilícitas. No se tomó en cuenta el agua de lluvia ya que únicamente se propuso el diseño del sistema de alcantarillado sanitario. Estos fueron tomados del proyecto “Gestión de agua y saneamiento sostenible en La Antigua Guatemala, Sacatepéquez – Fase 1: Línea Base”. El único caudal modificado fue el domiciliar ya que, mediante las proyecciones a 20 años de los censos poblacionales de La Antigua Guatemala brindados por el INE, se obtuvo una tasa de crecimiento del 2.18%.

### 4. Chequeo por velocidad y tirante

En la cuarta parte, con los datos anteriores asignados, se prosiguió a obtener la relación de caudales dividiendo el caudal de diseño dentro del caudal a sección llena. Conociendo este valor, se determina la relación de velocidades buscando en el cuadro la relación de diámetros, caudales, áreas y velocidades. Esta relación se usa para obtener la velocidad que actualmente está pasando por la tubería y verificar si esta cumple con el rango aceptable. Lo mismo se realizó para la relación de diámetros para determinar si el tirante se encontraba en el rango permitido.

Una vez analizados los resultados descritos anteriormente, se comprobó que la mayoría de las tuberías del sistema de alcantarillado actual no cumplen con el diámetro ya que no es capaz de transportar el caudal generado por las aguas residuales por medio de una velocidad adecuada. El rango

para la velocidad debe mantenerse entre 0.6 m/s y 3 m/s, ya que, si la velocidad con la que las aguas residuales es transportada se encuentra por debajo de este rango, existe la posibilidad que se estanquen sedimentos lo cual puede provocar el taponamiento de las tuberías. Por otra parte, si esta velocidad es mayor que el valor máximo permitido, se puede producir erosión en la tubería provocando el deterioro de esta. Por esta razón se buscó que el chequeo de las velocidades para cada tubería estuviera dentro del rango establecido.

Para el chequeo del tirante, también se estableció un rango aceptable el cual está entre 0.1 y 0.85. En este rango se establece que el agua que pase por la tubería no se encontrara por debajo del 10% ni por encima del 85% de la profundidad del flujo vertical desde el punto más bajo de la sección de la tubería hasta la superficie libre del agua. La mayoría de las tuberías propuestas tienen una profundidad de flujo de aguas residuales mayor al área de la sección, esto es debido a que el caudal de diseño propuesto asume que hay varios hoteles y comercios en cada tramo. Por consiguiente, se asume que el caudal de diseño es crítico en cada tramo al haberse uniformizado el mismo caudal para cada tramo.

Con las tuberías que no chequeaban ya sea por velocidad o por tirante, se propuso un diámetro de tubería diferente capaz de transportar el caudal de aguas residuales en el tramo con una velocidad o tirante dentro de un rango aceptable. Esto es con el fin de hacerle ver al Departamento de Aguas y a la Municipalidad de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, que, aunque ciertos tramos del sistema de alcantarillado actual no cumplan por velocidad o tirante, existe la posibilidad de reemplazar esos tramos con tuberías de diferente diámetro para que transporten el caudal de las aguas residuales de forma correcta.

Después de haber propuesto las nuevas tuberías para los pozos de visita, se presentaron cuatro casos tanto para el chequeo por velocidad. El primero es donde para la situación actual y futura, la velocidad se encontró en el rango aceptable descrito anteriormente. Esto significa que el diámetro de tubería era el adecuado para transportar el caudal de diseño en los tramos donde que cumplían, por lo que no se presentarían problemas o fallas durante el período de vida útil del sistema de alcantarillado. El segundo caso es donde la velocidad solo cumplía para el futuro. Esto es aceptable debido a que indica que el caudal no es lo suficientemente alto en el presente por lo que se pueden producir sedimentos en la tubería. Esto puede evitarse al realizarse mantenimiento preventivo al menos dos veces al año en estos tramos.

El tercer caso es cuando la velocidad solo cumple para el presente, el cual no se dio en la propuesta de diseño. Por último, caso, se presentaba cuando había tramos en los que no cumplía el chequeo por velocidad ni para el presente ni para el futuro. Esto era debido a que la pendiente en el tramo era muy baja, por lo que transportar el caudal de diseño es difícil ya que, al ser muy alto, es probable que se produzca taponamiento por acumulación de sedimentos. Por esta razón es importante que se realice mantenimiento preventivo con mayor frecuencia para impedir que este problema suceda.

De igual forma, se presentaron tres casos para el chequeo del tirante en la tubería. Para el primer caso, donde chequeaba para el presente y el futuro, se logró determinar que caudal que fluye por esos tramos no es menor al 10% de la sección ni mayor al 85%. Para el segundo y tercer caso, donde los tramos no cumplían ya sea para el presente o el futuro, hubo varios que no cumplieron. Para estos tramos el problema se dio al uniformizar el caudal de diseño para todos por igual. Se sabe que en cada avenida y calle de La Antigua Guatemala no se cuenta con la misma cantidad de domicilios, hoteles y restaurantes por lo que en estos tramos, el caudal asignado era bastante mayor al que debería considerarse.

Por esta misma razón es necesario realizar un conteo de la cantidad de dichos lugares que hay por tramo para asignarse un caudal de diseño real para lograr que el chequeo del diámetro se verifique en un rango aceptable. Estos tramos no se tomaron como malos del todo ya que solo hace falta una estimación más exacta del caudal de diseño asignado.

##### 5. Determinación de cotas invert

Por último, en la quinta parte se determinaron las cotas invert de las tuberías de cada pozo de visita. Para los pozos que fueron abiertos, se asignaron las cotas invert tomadas en las visitas de campo; para los que no fueron abiertos se les asignó una cota promedio de 1.22 metros para los tramos iniciales.

En las visitas de campo realizadas para tomar mediciones a los mismos, se tuvo el apoyo del personal del Departamento de Aguas de La Antigua Guatemala. Su apoyo consistió en la movilización hacia los pozos de visita y ayuda de parte del personal para realizar la apertura de las tapaderas y así poder tomar mediciones. En las visitas, se presentaron problemas como lo son impedimentos para abrir las tapaderas de los pozos ya sea por atoramiento de la tierra o por fracturación de esta a la hora de

abrirla. La medición más importante tomada en los pozos de visita fueron las cotas invert las cuales servirían para basarse en el diseño del sistema de alcantarillado sanitario. Al contar con pocas cotas invert reales, se prosiguió a interpolar el resto con el fin de tener datos lo más parecido a la realidad.

En los todos los pozos de visita que se visitaron, se encontró una acumulación de basura y sedimentos en el fondo de este. Esto influye en el sistema ya que no permite que se transporte un flujo adecuado del caudal por el mismo. El que esto suceda significa que los pozos de visita no reciben el mantenimiento preventivo adecuado ya que, si esto se realizara, no existiría una acumulación de sedimentos

Existen fuentes de error como lo son la medición de las cotas invert de los pozos de visita del sistema de alcantarillado actual. Estas fueron realizadas con una cinta métrica con la variación que no se tomó la cota invert, sino que se midió la cota superior de la tubería (teniendo como porcentaje de error  $\pm$  el espesor de la pared de la tubería). Esto fue debido a que no se podía tomar la cota invert ya que había presencia de aguas residuales, sedimentos y basura en esa área. Por ello, se prosiguió a realizar lo descrito en el párrafo anterior.



Otra fuente de error también se presenta con la realización de los perfiles topográficos en el programa Civil AutoCAD ya que la colocación de los pozos de visita dentro de las ortofotos no fue exacta. Para los perfiles se buscó obtener la pendiente entre cada pozo de visita lo cual sirvió para tener una idea de la inclinación que tiene el terreno de La Antigua Guatemala.

El sistema de alcantarillado propuesto se estableció como separativo ya que de esta forma se puede aprovechar de mejor manera el recurso del agua y tratar de forma correcta las aguas residuales. Para esta investigación se tomó en cuenta únicamente el sistema de alcantarillado sanitario con el fin de entender como es el caudal generado por las aguas residuales (tomando en cuenta las aguas negras y las aguas grises). De este modo, se asumió dejar el sistema actual únicamente como sanitario, bloqueándose la entrada de agua de lluvia y proponer que debe diseñarse un drenaje pluvial.

D. Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala

1. Características de los pozos

Cuadro 67. Características de pozo San Pedro El Alto

Pozo San Pedro el Alto				
Ciudad o Aldea	San Pedro El Alto	Departamento	Sacatepéquez	
Población	520	Municipio	Antigua Guatemala	
Área	Urbana	Técnico	Salomon Lopez	
Nombre	San Pedro El Alto	Coordenadas WGS 84		
Caudal (Gl/min)	150	Latitud	14.52847222	
Potencia (HP)	30	Longitud	-90.73161111	
Presión (psi)	120	Coordenadas UTM		
Horas de servicio diario	12	Northing	1607407.322	
M. línea de entrada	HG	Easting	744460.9729	
M. línea de impulsión	PVC	Altitud (m)	1562	
D. línea de entrada (pulg)	3	Destino	Tanque San Juan el Obispo	
D. línea de impulsión (pulg)	4	Nivel estático (m)	80	
Imágenes			Nivel dinámico (m)	150
		Observaciones	<p>Tiene una fuga. Se dirige al tanque San Juan el Obispo y se distribuye por gravedad en San Pedro el Alto. El tablero se encuentra fuera del pozo y el manómetro no funciona. Abastece a un sector de San Pedro las Huertas.</p>	
		Ubicación geográfica		


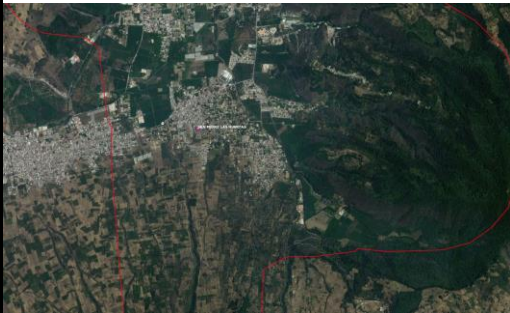

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 68. Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas

Pozo de la plaza San Pedro las Huertas			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Técnico	Salomon Lopez
Nombre	San Pedro Las Huertas	Coordenadas WGS 84	
Caudal (Gl/min)	150	Latitud	14.53033333
Potencia (HP)	60	Longitud	-90.74022222
Presión (psi)	NM	Coordenadas UTM	
Horas de servicio diario	epoca de lluvia 22 hr verano 24 hr	Northing	1607604.097
M. línea de entrada	HG	Easting	743530.5023
M. línea de impulsión	PVC	Altitud (m)	1531
D. línea de entrada (pulg)	4	Destino	Tanque Sn. P. Las Huertas
D. línea de impulsión (pulg)	5	Nivel estático (m)	40
Imágenes		Nivel dinámico (m)	394
		Observaciones	No tiene manometro. La cloración del agua es en el tanque de almacenamiento.
		Ubicación geográfica	
			

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 69. Pozo no excavado San Pedro Las Huertas

Pozo no excavado			
Ciudad o Aldea	San Pedro El Alto	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Técnico	Salomon Lopez
Nombre	San Pedro El Alto	Coordenadas WGS 84	
Caudal (Gl/min)	N/A	Latitud	14.52852778
Potencia (HP)	N/A	Longitud	-90.74375
Presión (psi)	N/A	Coordenadas UTM	
Horas de servicio diario	N/A	Northing	1607400.501
M. línea de entrada	N/A	Easting	743152.1248
M. línea de impulsión	N/A	Altitud (m)	1548
D. línea de entrada (pulg)	N/A	Destino	N/A
D. línea de impulsión (pulg)	N/A	Nivel estático (m)	N/A
Imágenes		Nivel dinámico (m)	N/A
		Observaciones	Pozo excavado sin equipar ni conectado a la red de agua potable.
		Ubicación geográfica	
			

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 70. Coordenadas geográficas de los pozos

ID	Nombre	Ubicación	Latitud			Longitud			WGS 84		UTM	
			Grados	Min	Seg	Grados.	Min.	Seg.	Latitud	Longitud	Northing	Easting
1	Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas	San Pedro Las Huertas	14	31	49.2	90	44	24.8	14.53	90.74	1607088.33	766169.62
2	Pozo San Pedro El Alto	San Pedro El Alto	14	31	42.5	90	43	53.8	14.53	-90.73	1607881.07	744794.72
3	Pozo no excavado San Pedro Las Huertas	San Pedro Las Huertas	14	31	42.7	90	44	37.5	14.53	-90.74	1607401.39	743241.97

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 71. Características físicas de los pozos

ID	Nombre	Altitud GPS (m)	Caudal (Gl/min)	Potencia (hp)	Presión (psi)	Horas servicio diario	Profundidad (m)
1	Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas	1531	150	60	NM	23	90
2	Pozo San Pedro El Alto	1562	150	30	120	12	72
3	Pozo no excavado San Pedro Las Huertas	1548	NA	NA	NA	NA	167.64

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 72. Características físicas de los pozos

ID	Nombre	Material entrada	Material impulsión	D. entrada (pulg)	D. impulsión (pulg)	Destino
1	Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas	HG	PVC	6	4	Tanque San Pedro Las Huertas
2	Pozo San Pedro El Alto	HG	PVC	4	4	Tanque San Pedro El Alto
3	Pozo no excavado San Pedro Las Huertas	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 73. Características físicas de los pozos

ID	Nombre	Técnico	NE m	ND m	Observaciones
1	Pozo de la plaza San Pedro Las Huertas	Salomon López	40	394	No tiene manómetro, en época verano bombea 24 horas y en época de lluvia 22 horas.
2	Pozo San Pedro El Alto	Salomon López	80	150	Tiene fuga, tablero fuera y el manómetro no funciona.
3	Pozo no excavado San Pedro Las Huertas	Salomon López	NA	NA	Pozo excavado sin utilizar.



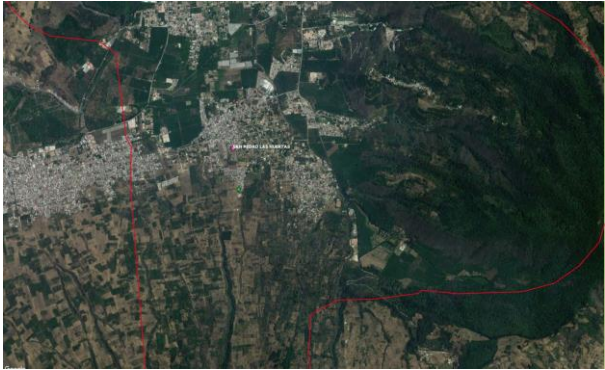
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 74. Caudales de pozos

ID	Nombre	Altitud (m)	Caudal Prop. (l/s)	Caudal (Gl/min)	Caudal (l/s)	Potencia (hp)	D. Impul. (pulg)	Longitud (m)	D. salida (pulg)	hfi (m)	hfc (m)	hL (m)	ND (m)	ADT (m)
1	Pozo de la Plaza de San Pedro Las Huertas	1531	9.46	122.71	7.74	60	6	905	4	0.23	11.01	1.69	394	406.93
2	Pozo San Pedro El Alto	1562	9.46	157.44	9.93	30	4	504	4	1.32	6.13	1.12	150	158.58
Caudal total de pozos				17.67										




Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 75. Características de tanque San Pedro Las Huertas

Tanque San Pedro Las Huertas				
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez	
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala	
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos	
Nombre	San Pedro Las Huertas	Coordenadas WGS 84		
Largo (m)	11.1	Latitud	14.52252778	
Ancho (m)	4.5	Longitud	-90.73761111	
Profundidad (m)	3	Coordenadas UTM		
Volumen (m <sup>3</sup> )	149.85	Northing	1606742.9874	
V. T. Cloro (m <sup>3</sup> )	NA	Easting	743820.5845	
Imágenes	Altitud (m)		1605	
 		Origen	Pozo San Pedro Las Huertas	
		Destino	San Pedro Las Huertas	
		Observaciones	<p>Posee una bomba centrífuga de rebombeo de 2 HP para la parte alta de la colonia, abastece 39 familias. Son 2 tanques. En época de lluvia se rebalsa y en época de verano nunca se llena. La cloración es por goteo.</p>	
		Ubicación geográfica		

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 76. Características de tanque San Cristóbal El Bajo

Tanque San Cristóbal El Bajo			
Ciudad o Aldea	San Cristóbal El Bajo	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Finca El Pilar
Nombre	Finca El Pilar	Coordenadas WGS 84	
Largo (m)	5	Latitud	14.54908333
Ancho (m)	2.1	Longitud	-90.70223056
Profundidad (m)	2.5	Coordenadas UTM	
Volumen (m <sup>3</sup> )	26.3	Northing	1609720.2391
V. T. Cloro (m <sup>3</sup> )	1	Easting	747605.7789
Imágenes		Altitud (m)	1648
		Origen	9 Nacimientos cercanos
		Destino	llenacantaras de San Pedro Las Huertas
		Observaciones	Funciona también como galería de infiltración por la porosidad de sus muros posteriores. Posee muros gruesos de 40 cm. No esta conectado ni tiene relación con el agua que distribuye la municipalidad de La Antigua.
		Ubicación geográfica	
			

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 77. Coordenadas geográficas de los pozos

ID	Nombre	Ubicación	Latitud			Longitud			WGS 84		UTM	
			Grados	Min	Seg	Grados.	Min.	Seg.	Latitud	Longitud	Northing	Easting
1	San Pedro Las Huertas	Col. Los Cerritos San Pedro Las Huertas	14	31	21.1	90	44	15.4	14.52	-90.74	1606742.99	743820.58
2	Tanque San Cristóbal El Bajo	Parte alta San Cristóbal El Bajo	14	32	54.9	90	42	14.3	14.55	-90.70	1609663.01	747418.57

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 78. Características físicas de los tanques de almacenamiento.

ID	Nombre	Altitud (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Prof. (m)	Volumen m <sup>3</sup>	V. Tanque Cloro m <sup>3</sup>
1	San Pedro Las Huertas	1605	11.00	4.50	3.00	148.5	1.69
2	Tanque San Cristóbal El Bajo	1630	3.70	3.40	2.20	27.68	2.38

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)


Cuadro 79. Continuación de las características físicas de los tanques de almacenamiento.

ID	Nombre	Origen	Destino	Observaciones
1	San Pedro Las Huertas	Pozo San Pedro Las Huertas	San Pedro Las Huertas	Cloración por goteo, no se llena en tiempo de verano y en tiempo de lluvia se rebalsa
2	Tanque San Cristóbal El Bajo	Nacimiento Finca El Pilar	Hondonada y algunas partes de San Pedro Las Huertas	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

## 2. Características del rebombeo

Cuadro 80. Características de rebombeo San Pedro Las Huertas

Rebombeo 1			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	160	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Técnico	Alfonso Pichiya
Nombre del re bombeo	Los Cerritos	Coordenadas WGS 84	
Nombre del tanque	San Pedro Las Huertas	Latitud	14.52252778
Caudal (Gl/min)	NM	Longitud	-90.73761111
Potencia (HP)	2	Coordenadas UTM	
Horas de servicio diario	guarda nivel	Northing	1606742.9874
M. línea de impulsión	PVC	Easting	743820.5845
D. línea de impulsión (pulg)	NM	Ubicación geográfica	
Dimensiones del tanque			
Largo (m)	11.1		
Ancho (m)	4.5		
Profundidad (m)	3		
Volumen (m <sup>3</sup> )	149.85		
Altitud (m)	1605		
Origen	Pozo San Pedro Las Huertas		
Destino	Colonia el Mirador		

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 81. Características físicas del rebombero

ID	Nombre	Nombre de Tanque	Latitud			Longitud			WGS 84		UTM	
			Grados	Min	Seg	Grados	Min.	Seg.	Latitud	Longitud	Northing	Easting
1	Rebombero de tanque de San Pedro Las Huertas	Tanque de San Pedro Las Huertas	14	31	21.1	90	44	15.4	14.52	90.74	1606743.0	743820.6

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 82. Coordenadas geográficas del rebombero

ID	Nombre	Altitud (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Prof. (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (Gl/min)	Potencia (hp)	Horas servicio diario
1	Rebombero de tanque de San Pedro Las Huertas	1605	11.1	8.7	NA	NA	NA	2	GN

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)


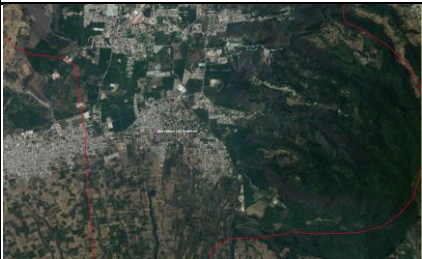
Cuadro 83. Continuación de las características de rebombero

ID	Nombre	Material salida	Origen	Destino	D. salida (pulg)	Técnico	Observaciones
1	Rebombero de tanque de San Pedro Las Huertas	PVC	Pozo San Pedro Las Huertas	Red de la colonia los cerritos	NA	Salomon López	Rebombero para la parte alta de colonia elmirados

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)



### 3. Características de los llenacántaros

Cuadro 84: Características de llenacántaros 1

Llena cántaro 1			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51687667
		Longitud	-90.7334125
		Coordenadas UTM	
		Northing	1607501.8523
		Easting	743762.1461
		Altitud (m)	1542
		Origen	Nacimiento el Pilar
Ubicación geográfica		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	



Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 85: Características de llenacántaro 2

Llena cántaro 2			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.5315
		Longitud	-90.73863889
		Coordenadas UTM	
		Northing	1607734.9109
		Easting	743699.9328
		Altitud (m)	1540
		Origen	Nacimiento el Pilar
Ubicación geográfica		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 86: Características de llenacántaro 3

Llena cántaro 3			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51691528
		Longitud	-90.73342194
		Coordenadas UTM	
		Northing	1606126.2880
		Easting	744278.4278
		Altitud (m)	1529
		Origen	Nacimiento el Pilar
Ubicación geográfica		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


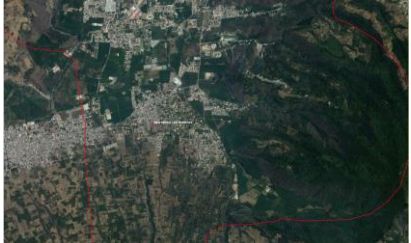
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 87: Características de llenacántaro 4

Llena cántaro 4			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
	Latitud	14.51687611	
	Longitud	-90.73348917	
		Coordenadas UTM	
		Northing	1606121.8816
		Easting	744271.2226
		Altitud (m)	1539
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
Ubicación geográfica		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 88: Características de llenacántaro 5

Llena cántaro 5			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
	Latitud	14.53336111	
	Longitud	-90.73352778	
		Coordenadas UTM	
		Northing	1607946.3605
		Easting	744248.9484
		Altitud (m)	1538
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
Ubicación geográfica		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


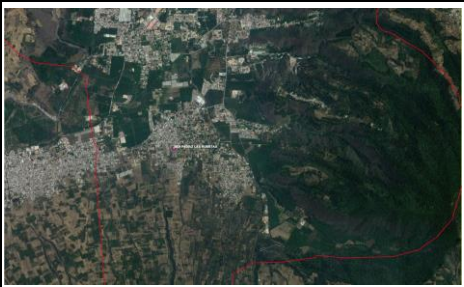
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 89: Características de llenacántaro 6

Llena cántaro 6			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.5168875
		Longitud	-90.73347
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1606123.1626
		Easting	744273.2767
		Altitud (m)	1534
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	
			


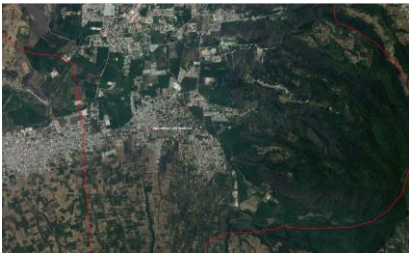
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 90: Características de llenacántaro 7

Llena cántaro 7			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51692
		Longitud	-90.73341417
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1606126.8194
		Easting	744279.2612
		Altitud (m)	1530
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	
			



Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes) 187

Cuadro 91: Características de llenacántaro 8

Llena cántaro 8			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.5169275
		Longitud	-90.73339611
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1606127.6688
		Easting	744281.1998
		Altitud (m)	1533
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


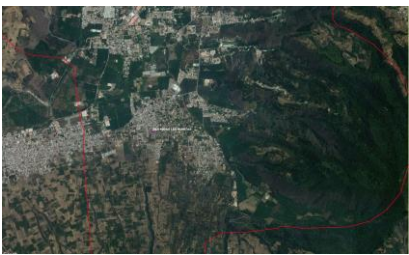
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 92: Características de llenacántaro 9

Llena cántaro 9			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51693194
		Longitud	-90.73338806
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1606128.1693
		Easting	744282.0635
		Altitud (m)	1533
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


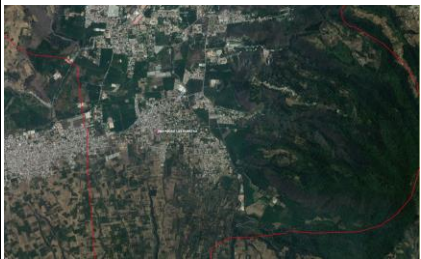
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 93: Características de llenacántaro 10

Llena cántaro 10			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.53333389
		Longitud	-90.73336528
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1607943.5216
		Easting	744266.4984
		Altitud (m)	1555
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


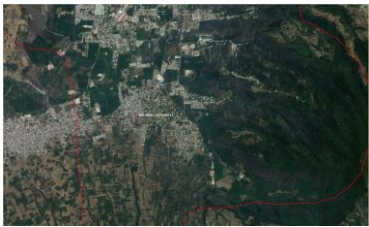
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 94: Características de llenacántaro 11

Llena cántaro 11			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51691722
		Longitud	-90.73344417
Ubicación geográfica		Coordenadas UTM	
		Northing	1606126.4799
		Easting	744276.0295
		Altitud (m)	1528
		Origen	Nacimiento el Pilar
		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


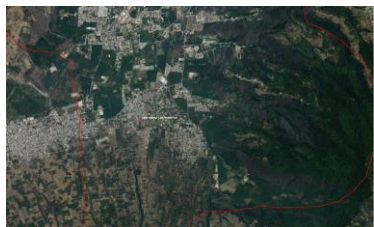
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 95: Características de llenacántaro 12

Llena cántaro 12			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.51691556
		Longitud	-90.73343833
		Coordenadas UTM	
		Northing	1606126.3016
		Easting	744276.6603
		Altitud (m)	1528
		Origen	Nacimiento el Pilar
Destino		San Pedro Las Huertas	
Ubicación geográfica		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	


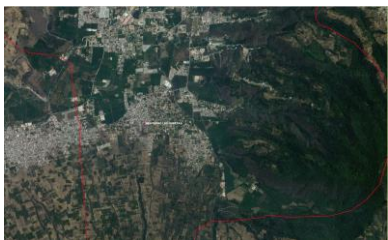
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 96: Características de llenacántaro 13

Llena cántaro 13			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.52938889
		Longitud	-90.73808333
		Coordenadas UTM	
		Northing	1607501.8523
		Easting	743762.1461
		Altitud (m)	1550
		Origen	Nacimiento el Pilar
Destino		San Pedro Las Huertas	
Ubicación geográfica		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 97: Características de llenacántaro 14

Llena cántaro 14			
Ciudad o Aldea	San Pedro Las Huertas	Departamento	Sacatepéquez
Población	5416	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Rural	Ubicación	Col. Los Cerritos
Imágenes		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	14.5315
		Longitud	-90.73863889
		Coordenadas UTM	
		Northing	1607734.9109
		Easting	743699.9328
		Altitud (m)	1537
		Origen	Nacimiento el Pilar
Ubicación geográfica		Destino	San Pedro Las Huertas
		Observaciones	
		No están conectados a la red de agua potable. Es controlado por el comité del agua.	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 98: Coordenadas geográficas de los Llenacántaros

ID	Nombre	Ubicación	Latitud			Longitud			WGS 84		UTM		Concatenado
			Grados	Min	Seg	Grados2	Min3	Seg4	latitud	longitud	Northing	Eastng	
1	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	7.6	90	44	28.5	14.51687667	-90.7334125	1607501.8523	743762.1461	743762.146146816,1607501.85228186
2	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	7.8	90	44	29.1	14.5315	-90.73863889	160734.9109	743699.9328	743699.932756692,160734.91087127
3	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	45.8	90	44	17.1	14.51691528	-90.7342194	1606126.2880	744278.4278	744278.4278,1606126.288
4	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	54.7	90	44	56.1	14.51687611	-90.73434891	1606121.8816	744271.2226	744271.222618899,1606121.88164972
5	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	57.4	90	44	19.1	14.53336111	-90.7352778	1607946.3605	744248.9484	744248.948434646,1607946.3605106
6	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	47.7	90	44	29.4	14.5168875	-90.73347	1606123.1626	744273.2767	744273.276732897,1606123.16264698
7	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	54.7	90	44	17.5	14.51692	-90.73441417	1606126.8194	744279.2612	744279.26119748,1606126.8193945
8	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	56.3	90	44	13.6	14.5169275	-90.73339611	1606127.6888	744281.1998	744281.199777047,1606127.68879127
9	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	57.3	90	44	11.8	14.51693194	-90.73338806	1606128.1693	744282.0635	744282.063475712,1606128.16930907
10	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	32	12.0	90	44	6.9	14.53333389	-90.73336528	1607943.5216	744266.4984	744266.4983399307,1607943.52163205
11	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	54.1	90	44	23.9	14.51691722	-90.73444417	1606126.4799	744276.0295	744276.02953929,1606126.47986424
12	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	53.8	90	44	22.7	14.51691556	-90.73438333	1606126.3016	744276.6603	744276.6603340486,1606126.30164188
13	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	45.4	90	44	17.1	14.52938889	-90.73808333	1607501.8523	743762.1461	743762.146146816,1607501.85228186
14	Llenacántaro	San Pedro Las Huertas	14	31	56.8	90	44	22.7	14.5315	-90.73863889	160734.9109	743699.9328	743699.932756692,160734.91087127

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 99: Características de los Llenacántaros

ID	Nombre	Altitud GPS (m)	Origen	Destino	Observaciones
1	Llenacántaro	1542	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
2	Llenacántaro	1540	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
3	Llenacántaro	1529	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
4	Llenacántaro	1539	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
5	Llenacántaro	1538	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
6	Llenacántaro	1534	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
7	Llenacántaro	1530	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
8	Llenacántaro	1533	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
9	Llenacántaro	1533	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
10	Llenacántaro	1555	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
11	Llenacántaro	1528	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
12	Llenacántaro	1528	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
13	Llenacántaro	1550	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.
14	Llenacántaro	1537	Nacimiento Finca El Pilar	San Pedro Las Huertas	No está conectado a la red de agua potable de la Municipalidad, pertenece al comité de agua.

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

En San Pedro Las Huertas existen tres pozos, dos se encuentran en funcionamiento y uno está excavado, pero no está equipado por lo que no está en funcionamiento. El pozo ubicado en la plaza no cuenta con un manómetro y dentro de la caja del equipo de bombeo hay basura y está descuidado. El pozo de San Pedro el Alto distribuye solamente a un sector de San Pedro Las Huertas. Al igual que el pozo de la plaza no cuenta con un manómetro, a diferencia del otro pozo este cuenta con una fuga, causando que la caja donde está el equipo de bombeo tenga agua dentro de ella.

Dentro de San Pedro Las Huertas se encuentran 14 llenacántaros, los cuales proporcionan un flujo de agua extra a la población de la que provee la municipalidad. Estos llenacántaros pertenecen y son controlados por el comité de agua. La municipalidad no tiene control sobre esta fuente de agua. El agua es transportada por gravedad desde el nacimiento El Pilar hasta San Pedro las Huertas. En esta finca se encuentra el tanque de almacenamiento y el nacimiento, el agua no lleva ninguna clase de cloración. El estado de los llenacántaros es aceptable, con agua clara y buena presión. Dos pozos son los que suministran a San Pedro Las Huertas, el de la plaza y el de San Pedro el alto.

El tanque que pertenece a la municipalidad tiene un volumen de 149 m<sup>3</sup>. Su cloración es por goteo. En época de verano el tanque se mantiene a una cuarta parte de su capacidad, mientras que en época de lluvia se rebalsa. Este tanque tiene un rebombeo que suministra aproximadamente 39 familias en la parte alta, en la colonia El Mirador. El tanque se encuentra en buen estado, no cuenta con alguna fuga visible, se sugiere mejorar el sistema de cloración.

El estado de los equipos y elementos de la red de distribución de agua potable se encuentran en mal estado. Se necesita cambio de manómetros, limpieza y mantenimiento, el sistema de cloración de los tanques es deficiente, causando que el agua no llegue igual de limpia para toda la población.

4. Demanda y abastecimiento actual de agua potable

Cuadro 100: Proyección de población de San Pedro Las Huertas

Lugar Poblado	San Pedro Las Huertas
año	proyección
2002	3833
2003	3923
2004	4016
2005	4110
2006	4205
2007	4301
2008	4397
2009	4494
2010	4592
2011	4692
2012	4793
2013	4895
2014	4998
2015	5102
2016	5206
2017	5311
2018	5416
<b>2038</b>	<b>8344</b>
<b>2042</b>	<b>9097</b>

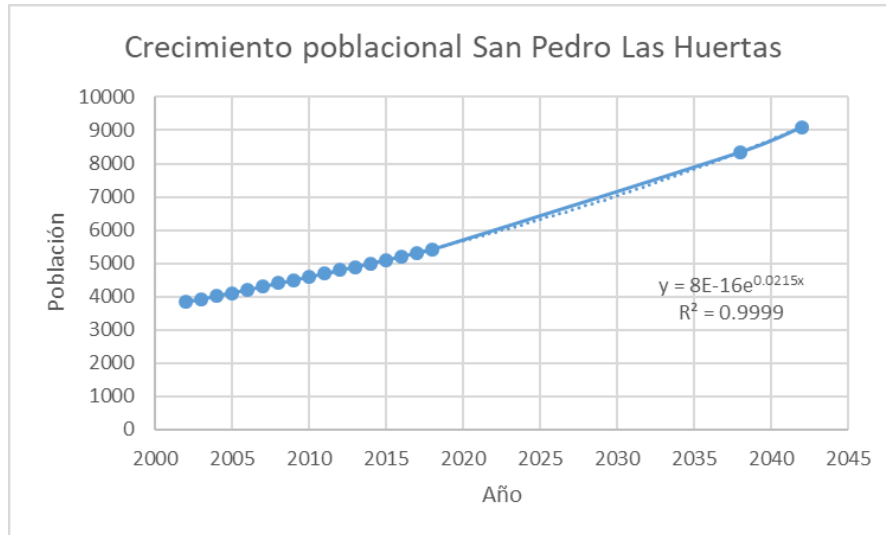
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 101: Tasas de crecimiento obtenidas del Banco Mundial

Año	Tasa
2002	2.353%
2003	2.361%
2004	2.344%
2005	2.310%
2006	2.272%
2007	2.239%
2008	2.210%
2009	2.188%
2010	2.171%
2011	2.154%
2012	2.132%
2013	2.107%
2014	2.077%
2015	2.044%
2016	2.010%
2017	1.977%
<b>R</b>	<b>2.18%</b>

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Figura 51: Crecimiento poblacional San Pedro Las Huertas



Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 102: Parámetros de diseño para la obtención del caudal de diseño

Parámetros de Diseño		
Tasa de Crecimiento	2.18%	
Años de diseño	24	Años
Población	9097	Habitantes
Población con Corrección	10006	Habitantes
Dotación	100	Lt/Hab/Dia
Factor Máximo Diario (FMD)	1.2	
Factor de hora máximo (FHM)	2	
Factor por temperatura	1.1	
Factor por pérdida	1.4	
Caudal medio diario neto (Qmd)	11.58	L/s
Caudal medio diario total (Qmd)	17.84	
<b>Consumo máximo diario (Qmax,D)</b>	<b>21.40</b>	<b>L/s</b>
Factor Máximo Hora (FCMH)	2.00	
Consumo máximo hora (CMH)	35.67	L/s
Población (Pf)	10006	Habitantes
Caudal de bombeo (Qb)	35.6712	L/s
Tiempo de bombeo	12 horas	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 103: Caudales de entrada y demanda

Caudal	litro/s
Pozos	9.73
Entrada	9.73
Demanda 2018	12.74
Demanda 2042	21.40

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 104: Diseño de tanque para caudal de diseño (demanda)

<b>Tanque de Almacenamiento para caudal de diseño</b>		
Caudal de entrada (Qe)	21.40	l/s
Porcentaje tomado de la norma	0.25	
Días de almacenamiento	1.00	días
<b>Volumen =</b>	<b>462.30</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 105: Volumen actual y de demanda

<b>Volúmenes</b>		
Actual	148.50	m <sup>3</sup>
Demanda	462.30	m <sup>3</sup>

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Tras conocer y visitar los elementos se procedió a calcular el caudal de los pozos. Esto se realizó con información obtenida del “Proyecto Gestión y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala, Agua Potable en Antigua Guatemala Fase I”.

Para determinar si el caudal existente es suficiente para la población actual se obtuvo un caudal de diseño. Para este caudal de diseño se estimó una población mediante el método de crecimiento geométrico utilizando tasas de crecimiento del banco mundial. Se utilizaron las tasas de crecimiento del banco mundial debido a que al calcularse con la información proporcionada por el INE salían muy grandes y fuera de lo esperado. Se obtuvo la población hasta un período de 24 años a partir del 2018. La relación de años vs población es directamente proporcional teniendo una correlación lineal de 0.9999.

El período de diseño del caudal es de 24 años a partir del 2018, esto debido a que se pretende que el sistema sea capaz de abastecer a la continua población creciente a lo largo de los años. La población obtenida para el 2,042 fue de 9,097 personas, se le aplicó un factor de 10% debido a la incertidumbre del crecimiento de la población, por lo que la nueva población es de 10,006 habitantes.

Al tener la población se procedió a elegir una dotación obtenida del INFOM. Este valor es tomado del rango de servicio de conexión intradomiciliar con opción a varios grifos. El rango oscila entre 90 – 170 L/hab/día, eligiendo 100 L/hab/día por ser un poblado con poca actividad turística. A esta dotación se le aplicaron factores de corrección por pérdida de 40% por ser conexiones municipales y que existe la posibilidad de conexiones ilícitas y corrección por temperatura del 10% debido a que las temperaturas en Antigua Guatemala rondan entre los 22 a 25 °C aumentando el consumo del agua.

Al tener el caudal con sus factores de corrección se procedió a calcular el caudal medio diario y el caudal máximo diario. El caudal de diseño a utilizar es el máximo diario, siendo de 21.40 L/s. El caudal de entrada es de 9.73 L/s, siendo un 45% menor al de diseño. Analizando los resultados obtenidos se puede observar que el caudal de entrada es mucho menor que el de demanda, demostrando que el sistema actual no se da abasto para la población actual y mucho menos para la futura.

Además, se chequeó si el volumen del tanque existente sería capaz de soportar el nuevo caudal. El tanque actual tiene una capacidad de 149 m<sup>3</sup> y el necesario para la demanda es de 462 m<sup>3</sup>. Para utilizar el caudal de diseño se tendría que aumentar el tanque en un 32%. El actual tanque de almacenamiento tiene una capacidad limitada para la constante población creciente.

## 5. Calidad del agua

Cuadro 106. Análisis fisicoquímico de agua potable de San Pedro las Huertas

Análisis fisicoquímico						
Lugar de muestreo	Análisis	Dimensional	Límite de detección	Resultados	LMA	LMP
Pozo Mecánico de San Pedro Las Huertas	Calcio	mg/L	0.6	11.29	75	150
	Hierro	mg/L	0.07	< 0.070	0.3	-----
	Magnesio	mg/L	0.04	0.04	50	100
	Manganeso	mg/L	0.02	< 0.020	0.1	0.4
	Dureza	mg/L	3.15	70.9	100	500
Pozo nuevo de San Pedro Las Huertas	Calcio	mg/L	0.6	34	75	150
	Hierro	mg/L	0.07	0.5	0.3	-----
	Cloro residual libre	mg/L	0.04	0.01	0.5	1
	Manganeso	mg/L	0.02	0.08	0.1	0.4
	Dureza	mg/L	3.15	100	100	500

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Se analizó el agua de los pozos de San Pedro Las Huertas para determinar su calidad. Se realizó el análisis fisicoquímico. El cual demostró una alta cantidad de dureza en ambos pozos. Sin embargo, el pozo con mayor dureza es el nuevo, teniendo la misma cantidad establecida como límite máximo

aceptable. El resto de las características físicas del pozo se encuentran por debajo del límite máximo aceptable y el límite máximo permisible, demostrando una calidad del agua aceptable.

Cuadro 107. Análisis bacteriológico de agua potable de San Pedro las Huertas

<b>Análisis bacteriológico</b>			
<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Cloro residual PPM</b>	<b>R.A.T. coliformes totales UFC/ml</b>	<b>N.M.P coliformes totales NMP/100ml</b>
Pozo de San Pedro Las Huertas	0.5	No detectable	No detectable
Pozo nuevo San Pedro Las Huertas	No detectable	No detectable	4

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

También se analizaron las características bacteriológicas de los pozos. En el pozo nuevo de San Pedro Las Huertas se observa la presencia de 4 coliformes fecales a cada 100 ml en el ensayo del número más probable. Esta presencia de coliformes fecales no es aceptable según la COGUANOR NTG 29001, la cual establece que solo se permite la presencia de un coliforme por cada 100 ml. El resto de las características bacteriológicas del agua se encuentran dentro de un rango aceptable.

## 6. Diseño de línea de conducción e impulsión

Cuadro 108. Línea de conducción de pozo nuevo a tanque de almacenamiento

<b>Línea de conducción de pozo nuevo</b>		
Caudal	20.00	L/s
Material	PVC SDR 32.5	
Presión de trabajo	125.00	psi
Diámetro de tubería	4.00	in
Longitud	1,657.39	m
Cantidad de tubos	85.00	un
Potencia de equipo de bombeo	80	HP
Eficiencia de la bomba	60%	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 109: Accesorios de línea de conducción

<b>Accesorios de línea de conducción</b>		
<b>Accesorio</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>
Válvula de cheque	0.00	1,552.59
Válvula de cheque	1,657.39	1,605.00
Válvula de limpieza	640.00	1,527.00

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Para llevar el agua del nuevo pozo al tanque de almacenamiento se calculó la potencia de la bomba a utilizar y la línea de conducción. La potencia de la bomba obtenida fue de 80 caballos de fuerza con una eficiencia del 60%. La línea de conducción tiene una longitud de 1,657.39 m, yendo a lo largo de las calles de San Pedro Las Huertas. El material escogido para la misma es de PVC SDR 32.5 con un diámetro de cuatro pulgadas y una presión de trabajo de 125 psi.

Se escogió el PVC para la línea de conducción debido a que es un material fácil de manejar, económico y de sencilla instalación. La tubería escogida tiene una presión de trabajo de 88 m.c.a, siendo mayor que la presión ocasionada por el golpe de ariete, confirmando la correcta selección de la tubería.

El correcto funcionamiento de una línea de conducción se ve reflejado por los accesorios que esta tiene. La presente línea de conducción cuenta con dos válvulas de cheque, una al principio de la línea y otra antes de llegar al tanque de almacenamiento, esto con el fin de controlar la presión en la tubería y no permitir el retorno del agua en la tubería. Además, se colocó una válvula de limpieza en el punto más bajo del recorrido de la tubería para evitar la sedimentación en la misma.

## 7. Diseño de tanque de almacenamiento

Cuadro 110: Diseño del volumen de agua para el tanque de almacenamiento

<b>Tanque de Almacenamiento con nuevo pozo conectado</b>		
Caudal de entrada (Qe) =	27.74	l/s
Porcentaje tomado de la norma =	0.25	
Días de almacenamiento=	1.00	días
<b>Volumen =</b>	<b>599.20</b>	<b>m3</b>

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 111: Análisis estructural del tanque

<b>Análisis estructural</b>		
<b>Dimensiones</b>		
Ancho	15.00	m
Largo	15.00	m
Alto	3.50	m
Espesor de muros	0.25	m
Espesor de losa del fondo	0.20	m
Espesor de la tapa	0.20	m
<b>Confinamiento</b>		
Refuerzo	Estribo No. 2 @ 0.35m	
<b>Refuerzo vertical</b>		
Cara interior	Varilla No.4 @ 0.15 m	
Cara exterior	Varilla No.4 @ 0.15 m	
<b>Refuerzo horizontal</b>		
Cara interior	Varilla No.4 @ 0.15 m	
Cara exterior	Varilla No.4 @ 0.15 m	
<b>Refuerzo de losa y tapadera</b>		
Lado corto	Varilla No.4 @ 0.30 m	
Lado largo	Varilla No.4 @ 0.30 m	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Se prosiguió con el diseño estructural del tanque. Para ello se consideraron tres casos, uno con el tanque lleno con una carga distribuida del agua, la otra la presión hidrostática y la última, el caso de sismo aplicado. Se diseñó para el caso que tuvo un momento de flexión en la pared más grande, siendo el caso de la presión hidrostática. La presión hidrostática es el caso más crítico debido a que mayor profundidad del tanque mayor es la del fluido sobre el muro. Como se observa en el Cuadro no. 48, el refuerzo horizontal y vertical es de varillas no.4 a cada 0.15 metros, con un refuerzo corte de estribos no.2 a cada 0.35 metros. Posteriormente se diseñó gravitacionalmente la losa y la tapadera del tanque. Este diseño se elaboró con lo establecido en el ACI 318-14. Obteniendo un refuerzo de varillas no. 4 a cada 0.30 metros.

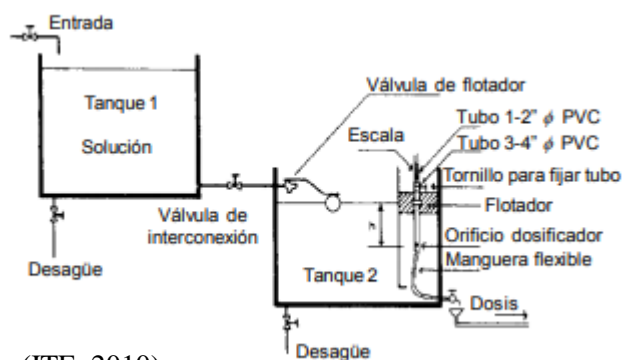
#### 8. Cloración de tanque de almacenamiento

Cuadro 112: Cloración de tanque de almacenamiento

<b>Cloración con una concentración de 0.5 ppm</b>		
<b>Volumen de agua (L)</b>	<b>Cantidad de cloro tiempo normal (ml)</b>	<b>Cantidad de cloro emergencia (ml)</b>
1,000	200	400
599,203	119,841	239,681

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Figura 52: Sistema de orificio de carga constante, elegido



Fuente: (ITE, 2010)

Al tener el tanque se determinó la cloración a utilizar. Se escogió el hipoclorito de sodio, esto debido a que es el más comercial y tiene mejores propiedades para una buena mezcla con el agua. Además, su tiempo para que limpie el agua es de aproximadamente 15 minutos, siendo el menor de los tiempos en comparación con los otros estados del cloro. También es el que requiere menos mantenimiento y es más fácil de almacenamiento.

Se utilizó una concentración de 0.5 ppm de hipoclorito de sodio. Esto se determinó debido a que los rangos de cloro libre recomendables para agua potable son de 0.5 a 1 ppm. De acuerdo con el volumen diseñado la cantidad de cloro necesaria con esta concentración es de 119,841 ml, como se puede observar en el Cuadro no. 48. Conociendo la cantidad de cloro a aplicar se procedió a determinar el sistema de cloración a utilizar. El sistema de cloración elegido es el de orificio de carga constante. Se eligió este sistema debido a la facilidad de aplicación, bajo costo, bajo mantenimiento del sistema y que es un sistema conocido.

## E. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala

### 1. Pozos de visita

Cuadro 113. Pozos de visita.

Aldea:	San Pedro Las Huertas
Objeto de búsqueda :	Pozos de visita
Objetos encontrados:	59

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

El objetivo principal del presente proyecto consiste en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea de San Pedro Las Huertas en la Antigua Guatemala. La municipalidad solicitó como requisito un inventario de los pozos de visita existentes en la aldea de San Pedro Las Huertas, por lo cual se realizaron fichas técnicas de cada pozo de visita y se georreferenciaron en el programa Quantum GIS y así generar un mapa temático donde se visualiza la ubicación de todos los pozos de la aldea. En total se realizaron 59 fichas técnicas, todas georreferenciadas debidamente en QGIS.

## 2. Diseño de rejillas

Cuadro 114. Resultado del diseño de rejillas.

Rejillas	
Base:	21 cm
Altura:	40 cm
Inclinación:	45 °
Separación de varillas:	2 plg
Cantidad de varillas:	3

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Para el diseño de la rejilla de la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario establecer la velocidad de paso que se quiere obtener en el canal la cual debe estar entre 0.4-0.6 m/s por lo cual se propuso el peor escenario, el cual era la velocidad de 0.6 m/s que fue utilizada para este diseño. Es necesario contar con un caudal máximo de diseño y un mínimo el cual se propuso utilizar el 70% del caudal máximo diario como máximo, el cual fue de  $0.025\text{m}^3/\text{s}$  y un 20% del caudal máximo como caudal mínimo, el cual fue de  $0.005\text{m}^3/\text{s}$ . Se propuso utilizar una separación de varillas de 2 pulgadas ya que es una separación comúnmente utilizada y una varilla de  $\frac{1}{2}$  pulgadas debido a que es una varilla comercial dentro de los límites aceptables para uso de rejillas de tratamiento preliminar.

Se calculó un área transversal de flujo con el caudal máximo, la cual fue de  $0.042\text{ m}^2$  por lo cual se propuso una base de canal de 21 cm, con una altura necesaria de 20cm. A esta altura se le adiciona 20 cm más debido a parámetros de seguridad entorno a crecidas. La pendiente obtenida del canal para mantener la velocidad deseada fue de 0.0022 o 0.22% la cual es una pendiente muy baja debido a las velocidades que se deben de manejar con las aguas residuales.

La longitud de las barras de las rejillas dio como resultado 28 cm la cual depende de la altura del canal la cual es de 40 cm y el ángulo de las varillas, lo cual se propuso un ángulo de 45 grados para una buena accesibilidad de limpieza. El largo del canal según el manual de diseño de la Organización Panamericana de la Salud OPS debe ser por lo menos 3.5 veces la base del canal, por lo cual se obtuvo un valor de 73 cm, pero por simplicidad se propone utilizar un canal de 1 m de longitud.

Al tener las dimensiones del canal se determinaron la cantidad de barras de este, el cual consistió en una fácil resta de dimensiones entre el área libre y el área de las varillas para determinar que se debían utilizar tres barras de media pulgada. Luego se determinó una velocidad que pasa a través de la reja de 0.73 m/s la cual fue utilizada para determinar la pérdida de carga la cual fue de 0.012 m posteriormente se determinó el tirante mínimo que pasaría por el canal utilizando el caudal mínimo, la cual fue de 0.403m/s lo cual está entre el rango de velocidades aceptables de rejilla la cuales deben oscilar entre 0.4 y 0.75 m/s.

### 3. Desarenador

Cuadro 115. Resultados del desarenador.

Desarenador	
Altura:	25 cm
Base:	51 cm
Longitud:	4 m
Largo de abertura:	58 cm
Ángulo de abertura:	12.5°

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Giron)

Como segundo punto en el diseño de la planta se dimensionó el desarenador por lo cual se utilizó los mismos caudales máximo y mínimo que en la rejilla. Se determinó la velocidad de sedimentación con las tres ecuaciones de la teoría de sedimentación, las cuales dieron 0.036, 0.0928 y 0.027 m/s. Para determinar qué velocidad utilizar se determinó el número de Reynolds de cada una de las velocidades, la velocidad seleccionada fue de 0.027 m/s que corresponde a un flujo en transición. Para dimensionar el área se determinó la velocidad horizontal la cual fue de 19.67 cm/s por lo cual el área requerida del canal es de 0.13 m<sup>2</sup>.

Posteriormente se calculó el largo del canal: Según Jaramillo la relación largo/alto debe ser igual a la relación velocidad horizontal/ velocidad de sedimentación, por lo cual en el cálculo dio 2.62 m,

pero una recomendación es que el canal sea 50% más de lo que se calcula matemáticamente, por lo cual se propuso un largo de 4 m. Sabiendo la altura y el área se determinó la base que es de 51 cm y se determina el largo de la abertura del canal que debe cumplir con ser menor a  $L/3$ , este valor obtenido es de 58 cm lo cual es menor a 1.33 m por lo cual este largo se toma como satisfactorio.

#### 4. Vertedero sutro

Cuadro 116. Resultados del vertedero sutro.

Vertedero Sutro	
Altura media:	14 cm
Altura mínima:	5 cm
Ancho medio:	14.5 cm
Ancho mínimo:	24.3 cm

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Posteriormente se determinaron las dimensiones de un vertedero sutro como controlador de caudal para el desarenador se determinó un largo de 11 centímetros a través de la ecuación 9 y se determinó las alturas media y mínima de este instrumento, las cuales fueron 14 cm y 5 cm respectivamente, asimismo el ancho medio y mínimo fueron de 14.53 cm y 24.31cm, como se puede ver en los resultados descritos en el área del desarenador.

No existe un cálculo específico para el cálculo del área del retenedor de arenas, en el manual de la OPS menciona pendientes para un retenedor de arenas las cuales varían entre 2 a 6%, dejando a discreción del diseñador o constructor elegir la pendiente. En este proyecto se sugiere utilizar una pendiente del 3% para la construcción del recolector de arenas.

## 5. Reactor anaerobio de flujo ascendente

Cuadro 117. Resultados del reactor anaerobio.

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	
Volumen:	210 m <sup>3</sup>
TRH:	7 horas
Altura:	5 m
Ancho:	7.7 m
Largo:	7.7 m
Difusores:	32
Separador Gas - Sólido - Líquido	
Cantidad de campanas:	2
Abertura:	1.8 m
Altura:	1.5 m
Traslape:	20 cm
Separación a la pared:	1.03 m
Eficiencia teórica	
DBO:	73.50%
DQO:	65.50%

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Para el diseño del tanque rafa se utilizó una demanda bioquímica de oxígeno de 180 mg/L que es un valor medio de los valores estándar para aguas residuales según Jaramillo. De misma forma se determinó una demanda química de oxígeno de 375 mg/L. Asimismo se utilizaron los valores de caudal máximo y medio que en las otras fases de tratamiento. Debido a que se supuso una temperatura de 20 grados centígrados se decidió utilizar un tiempo de retención hidráulico de 7 hr. Con el fin de determinar una estructura eficiente se varió la carga hidráulica volumétrica y la carga orgánica volumétrica para determinar el volumen más pequeño de tanque que satisfaga la necesidad. Como resultado se obtuvo un volumen de 210 m<sup>3</sup> con el cual se obtiene una carga orgánica volumétrica de 1.85 kg/m<sup>3</sup>día la cual está bastante holgada ya que el límite es de 15 kg/m<sup>3</sup>día. Al calcular la carga hidráulica volumétrica se obtuvo un valor de 4.93 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>día, el cual es muy cercano al límite que es 5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>día por lo cual se puede observar que el volumen propuesto es el más pequeño que se puede tener para las demandas propuestas.

Posteriormente al comparar las velocidades medias y máximas se obtuvo un valor de 0.7 m/hr para el caudal medio y 1.5 m/hr para el caudal máximo. Según la OPS estos valores son satisfactorios ya que se encuentra entre los valores máximos y mínimos requeridos para cada una, la velocidad media debe estar entre 0.5-0.7 m/h y la máxima entre 1.5-2 m/hr. Para terminar el diseño del reactor, se obtuvo la cantidad de difusores que son necesarios, el cual depende de la carga orgánica volumétrica, para la

cual se debe utilizar un área de influencia de 1.9 m<sup>2</sup> con lo cual da un total de 31 difusores, pero para mantener la homogeneidad se decide colocar 32.

Para el diseño del separador gas - sólido - líquido propuso una velocidad para el caudal medio de 2 m/hr con lo cual se obtuvo un área libre de 27 m<sup>2</sup> y un ancho de abertura de 3.5 m y un traslape de los deflectores de 20 cm lo cual es el traslape máximo lo que permite que exista más área de choque para los flóculos y así desprender el gas y una altura de campana de 1.5 metros. Para determinar la componente horizontal de la campana se propuso utilizar un ángulo de 60 grados por lo cual se obtuvo una dimensión de 1.8 m ya que por construcción se propusieron dos campanas y la separación entre la pared y las campanas también fue de 1.03m.

La eficiencia media del reactor, dada por el tiempo de retención hidráulico fue de 73.54% para la DBO y de un 65% para la DQO. Conforme a esta eficiencia se obtuvo la concentración de descarga para cada una, obteniendo como resultado una concentración de descarga de DBO de 47.62 mg/L lo cual comparándolo con lo estipulado en el acuerdo gubernativo 236-2006 para descargas del 2020 menciona que como máximo se debe tener una concentración de 150 mg/L por lo cual queda con una demanda tres veces menor que el valor máximo el acuerdo gubernativo. Luego el acuerdo gubernativo no define un valor concreto para descarga de aguas residuales domesticas para la demanda química de oxígeno.

## 6. Refuerzo para rejillas y desarenador

Cuadro 118. Refuerzo necesario para rejillas y desarenador.

Refuerzo	
Canal de las rejillas	4 @ 15 cm
Desarenador	
RAFA cara exterior	5 @ 20 cm
RAFA cara interior	6 @ 20 cm

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Para las varillas de refuerzo de los elementos de la rejilla y del desarenador se determinó que deberían de utilizar la cuentilla mínima de acero al tener el mismo espesor de muro que el del reactor y tener una cantidad de líquido en su interior considerablemente menor por lo cual se debía utilizar 3

cm<sup>2</sup>/m a lo que se decidió por varillas No. 3 a 15 cm que proporcionan 4.33 cm<sup>2</sup>/m que proporciona un 40% más de lo necesario para estos muros.

Para el reactor se calculó un momento negativo máximo y un momento positivo máximo en la dirección vertical y horizontal. Para la sección vertical se obtuvo un momento negativo máximo de - 7287.07 kg\*m el cual demanda una cuantía de acero de 0.0146 lo que representa un área necesaria de acero de 14.60 cm<sup>2</sup>/m para lo cual se proporciona varillas No. 6 a 20 centímetros que proporcionan 14.25 cm<sup>2</sup>/m lo que es 2.4% menor que lo necesario por cálculo, lo que se considera aceptable. Para momento positivo máximo, se obtuvo un valor de 3201.9 kg\*m lo cual exigía una cuantía de acero de 0.0076 que representa 7.61 cm<sup>2</sup>/m por lo que se propone utilizar varillas No. 5 a 25 cm que representa un área de 7.92 cm<sup>2</sup>/m lo que es un 4% más de lo necesario, también es considerado aceptable.

Para la dirección horizontal se obtuvieron un momento negativo máximo de -4085.18 kg\*m y un momento máximo positivo de 993.69 kg\*m por lo que sus cuentillas de acero requeridas son menores que las del diseño vertical. Por cuestiones de simplificación del armado se propone utilizar las mismas varillas que en el refuerzo vertical en el refuerzo horizontal.

#### F. Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

Para diseñar un sistema de abastecimiento y distribución de agua potable para la aldea San Juan del Obispo, Sacatepéquez que abastezca toda la comunidad se realizó una investigación preliminar en la que se buscaba familiarizarse con la aldea San Juan El Obispo, conocer al Departamento de Aguas de Antigua Guatemala y estudiar los sistemas actuales de distribución y almacenamiento de San Juan El Obispo.

## 1. Proyección de la población

Cuadro 119. Cálculo de tasa de crecimiento de Guatemala

Año	Población
2002	3512
2003	3595
2004	3679
2005	3766
2006	3853
2007	3940
2008	4028
2009	4117
2010	4208
2011	4299
2012	4392
2013	4485
2014	4580
2015	4675
2016	4770
2017	4866
R =	2.198%

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

La tasa de crecimiento calculada para San Juan el Obispo es de 2.198% anualmente. Esta tasa de crecimiento se obtuvo a partir del Censo 2002 del Instituto Nacional de Estadística y de las tasas mundiales de crecimiento obtenidas del Banco Mundial.

Cuadro 120. Proyección de población de San Juan el Obispo para el año 2042.

Población	Categoría	Área	R	2018	2038	2042
San Juan el Obispo	Aldea	Urbana	2.198%	4962	7666	8362

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

La proyección de la población actual para el año 2018, calculada a través de las tasas de crecimiento del Banco Mundial, es de 4962 personas. Esta población está calculada con la tasa de crecimiento de San Juan el Obispo calculada en el *Cuadro 120*. La población futura para el año 2042 es de 8362 personas. El período de diseño de los sistemas de distribución y abastecimiento utilizan la población del año 2042 y no del 2038 aunque el período de diseño es de 20 años. La razón para esto es que, a parte del período de diseño, se consideran dos años de trámites y dos años de construcción de los sistemas.

## 2. Parámetros de diseño

Cuadro 121. Parámetros de diseño para sistemas de distribución y abastecimiento

Tasa de crecimiento	2.198%	
Población (2042)	8362	habitantes
Población a usar	5853	habitantes
Período de diseño	24	años
Dotación	100	L/hab/día
Horas de bombeo	12	horas

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

La dotación asignada a cada habitante de San Juan el Obispo es de 100 L/hab/día. Esta población se apega a la realidad de San Juan el Obispo y está dentro del rango del INFOM para conexiones intradomiciliarias. El horario de bombeo de los sistemas de abastecimiento es de 12 horas.

Al empezar a analizar los sistemas de abastecimiento de agua potable no se encontró en un estudio que indicara a cuánta población abastecía cada tanque. Los dos tanques tenían un tamaño muy similar y los caudales de los pozos que los abastecían también lo era, pero no se podía tener certeza que cada tanque abastecía a una mitad de la población. Tras analizar esta situación y realizar que por falta de tiempo y planificación no era factible realizar un levantamiento para obtener los datos necesarios, se determinó que la mejor solución para el problema era diseñar los sistemas de distribución para un 70% de la población cada uno. Al diseñar cada sistema con un 70% de la población, se obtiene un “colchón” que no solo permite tener una seguridad del diseño, al prever en qué áreas se dará un mayor crecimiento poblacional. La población que se utilizó para el dimensionamiento de los tanques se le llamo “Población a usar” y se muestra en el *Cuadro 121*.

Cuadro 122. Caudales de diseño para San Juan el Obispo

Dimensional	L/s	m <sup>3</sup> /s
Consumo medio diario (Qmd)	6.77	0.01
Consumo máximo diario (QMd)	8.13	0.01
Consumo máximo horario (QMh)	13.55	0.02
Caudal de bombeo (Qb)	13.55	0.03

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

### 3. Información general de tanques y pozos

Cuadro 123. Información general de tanques cisterna de San Juan el Obispo.

Información General de Tanques Cisterna									
Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Altitud (m)	Volumen (m³)	Coordenadas WGS 84		Coordenadas UTM	
						Latitud	Longitud	Northing	Easting
Tanque Cisterna de Don Mario	10	5	2.65	1622	133	14.506	90.728	1606750.05	744841.92
Tanque Cisterna de Doña Celia	9.9	4.9	2.65	1661	129	14.517	90.729	1606429.33	744746.26

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 124. Información general de pozos de agua de San Juan el Obispo

Información General de Pozos de Agua									
Nombre	Aldea	Potencia (HF)	Presión (psi)	Altitud (m)	Horas de Servicio	Coordenadas WGS 84		Coordenadas UTM	
						Latitud	Longitud	Northing	Easting
S. Juan del Obispo 1 La Cuchilla	San Juan del Obispo	40	ND	1606	13	14.52	90.73	1606878.07	745038.1
S. Juan del Obispo 2 Cementerio	San Juan del Obispo	25	ND	1601	20	14.52	90.73	1606899.96	744457

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

San Juan el Obispo cuenta con dos tanques de agua que alimentan el sistema de distribución de agua potable y estos a su vez son alimentados por dos pozos de agua. El primer sistema de conducción, nombrado en este proyecto como *Sistema de conducción Cuchilla-Mario* está conformado por el tanque *S. Juan del Obispo 1 La Cuchilla* y el pozo de agua *Tanque de Don Mario*. El otro sistema de conducción llamado *Sistema de conducción Cementerio – Celia* está integrado por el tanque *S. Juan del Obispo 2 Cementerio* y el pozo de agua *Tanque de Doña Celia*.

Las condiciones en la que se encontraron los pozos y los tanques fueron malas. Los pozos por su parte tenían muchas llaves oxidadas y en mal estado. El funcionamiento de estos es completamente manual y en el caso del pozo *S. Juan del Obispo 2 Cementerio*, el tiempo de bombeo es “por experiencia” del fontanero encargado. Los tiempos de bombeo deben determinarse por un estudio para abastecer correctamente el tanque de agua. En este mismo pozo, existe un by-pass improvisado que alimenta un tanque cisterna que distribuye a San Pedro el Alto; no se tiene registros del caudal que va hacia el *Tanque de Doña Celia* y hacia el by-pass. Por su parte, en ambos tanques se encontró ramas y hojas encima en la parte superior y fugas en los muros laterales. En ambos tanques las tapaderas se encuentran rotas por lo que permite el ingreso de insectos al tanque.

4. Líneas de conducción

Cuadro 125. Cálculo de diámetro para línea de impulsión

Q=	13.55	l/s
L=	236.59	m
<i>Diámetro máximo de la tubería</i>		
$\phi_{\min}$ =	3.66	pulg
<i>Diámetro máximo de la tubería</i>		
$\phi_{\max}$ =	6.68	pulg
$\phi$ a usar=	4	pulg

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 126. Información general del sistema

Nivel estática=	60.00	m
Nivel dinámico=	200	m
Nivel de la boma=	260	m
Toma=	250.00	m
L=	236.59	m
Q=	13.55	l/s
C=	140.00	
$\phi$ =	4	in
e=eficiencia de la bomba (60% asumido)=	0.60	

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 127. Cálculo de la potencia de la bomba del sistema del pozo

a) $\Delta$ de Ne a Boca del pozo=	60	m
b)hf en línea de succión	0.5	m
c)H= Altura del eje de la bomba a descarga=	75	m
d)hf=Pérdidas por líneas de impulsión=	6.70	m
e)Pérdidas por velocidad=		
	$v=$	1.67 m/s
	$v^2/2g=$	0.14 m
f)Pérdidas menores = 10% de hf	0.67	m
C.D.T =	143.01	m
Potencia necesaria de la bomba=	42.493	hp

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

En el sistema de conducción de agua se calculó la potencia de la bomba necesaria para extraer el agua del pozo e impulsarla hasta el tanque cisterna. En el caso del *Sistema de distribución Parte Baja*, para bombear el agua en la actualidad, se utiliza una bomba de 40 caballos de fuerza. Para la proyección poblacional futura y siguiendo la recomendación de crear un tanque elevado de por lo menos 25 metros de altura, la capacidad de la bomba debería ser 42 caballos de fuerza. La bomba que se utiliza actualmente en el Sistema de distribución Parte Baja no es suficiente para abastecer el tanque diseñado, por lo que se recomienda instalar una bomba con mayor potencia.

Cuadro 128. Cálculo de diámetro de la tubería de impulsión.

Q=	13.55	l/s
L=	760.15	
<i>Diámetro máximo de la tubería</i>		
$\phi_{min}$ =	3.66	in
<i>Diámetro máximo de la tubería</i>		
$\phi_{max}$ =	6.68	in
$\phi$ a usar=	4	in

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

De acuerdo con las velocidades mínimas y máximas recomendadas por el INFOM, la tubería de impulsión de ambos sistemas debería de estar entre 3.66 pulgadas y 6.68 pulgadas. Teniendo en cuenta estos diámetros se consultó a un proveedor y se decidió escoger un diámetro de 4 pulgadas por temas económicos. Actualmente en ningunos de los dos sistemas de bombeo se cuenta con una tubería de impulsión de cuatro pulgadas, por lo que sería necesario cambiar estas tuberías para que el sistema pueda funcionar correctamente hasta el año 2042.

Para el *Sistema de distribución Parte Alta* no fue posible calcular la potencia de la bomba necesaria para el buen funcionamiento del sistema debido a la falta de datos. No se contaba con el nivel estático, el nivel dinámico y la profundidad de la bomba de *S. Juan del Obispo 2 Cementerio*. Actualmente en ese sistema de abastecimiento de agua se tiene una bomba de 25 caballos de fuerza. Aún que la bomba actualmente funciona, es recomendable que se haga una revisión en estudios anteriores o se realice un estudio para determinar los datos faltantes y complementar el diseño.

5. Cálculo de volumen del tanque

Cuadro 129. Información del tanque.

Volumen necesario	234.14	m <sup>3</sup>
Qmd =	6.77	L/S
Altura =	3.5	m
Ancho	8.5	m
Largo =	8.5	m
Volumen real =	231.2	m <sup>3</sup>

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

En este proyecto se propone realizar nuevos tanques para ambos sistemas de distribución de agua. Estos tanques debido a la metodología elegida son del mismo tamaño y con las mismas propiedades, por lo que únicamente se realizó un diseño estructural del mismo. Es importante mencionar que, para el diseño estructural del tanque, se supuso algunas condiciones del tanque como el tipo de suelo y otras. El tanque se diseñó como si este estuviera fuera del suelo, ya que se tiene con certeza como podría hacerse y ya que esta es la condición más crítica. Se recomienda que para diseñar un tanque más económico se haga un estudio de suelo, se estudien los terrenos y se analice cuidadosamente los procesos constructivos.

Cuadro 130. Concentración de cloro en los tanques de almacenamiento.

Concentración 0.5% (500mg/L)		
Volumen de agua (lt)	Cantidad de cloro t. normal (ml)	Cantidad de cloro emergencia (ml)
1000	200	400
231200	46240	92480

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Para complementar el diseño de conducción de agua se realizó una revisión del diseño de distribución de agua potable. En San Juan el Obispo existen dos sistemas de distribución de agua: el Sistema de distribución Parte Alta, conformado por el Sistema de conducción Cementerio – Celia y los nodos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, y 11, y por el Sistema de distribución Parte Baja, conformado por el Sistema de conducción Cuchilla-Mario y los nodos 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19.

Cuadro 131. Nodos del sistema de distribución parte baja

NODO	Coordenadas WGS 84		Altitud	Área de influencia	% de caudal	Cuadal
	Latitud	Longitud	(m)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(L/seg)
1	14°31'10.96"N	90°43'42.80"W	1659.83	23688	12.62	1.71
2	14°31'18.72"N	90°43'41.61"W	1633.51	15299	8.15	1.10
3	14°31'22.22"N	90°43'41.70"W	1620.32	11946	6.36	0.86
4	14°31'18.90"N	90°43'45.28"W	1632.74	24823	13.22	1.79
5	14°31'22.28"N	90°43'45.19"W	1618.10	16280	8.67	1.18
6	14°31'18.44"N	14°31'18.44"N	1630.76	18733	9.98	1.35
7	14°31'21.92"N	90°43'38.21"W	1620.93	11589	6.17	0.84
8	14°31'21.97"N	90°43'34.59"W	1614.75	20909	11.14	1.51
9	14°31'18.22"N	90°43'34.36"W	1621.96	23756	12.65	1.71
10	14°31'11.72"N	90°43'36.78"W	1645.15	8943	4.76	0.65
11	14°31'12.27"N	90°43'38.86"W	1648.70	11765	6.27	0.85
Consumo máximo horario =			13.54965122	L/seg		Σ= 13.54965122

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 132. Nodos del sistema de distribución parte alta

NODO	Coordenadas WGS 84		Altitud	Área de influencia	% de caudal	Cuadal
	Latitud	Longitud	(m)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(L/seg)
12	14°31'25.59"N	90°43'45.66"W	1604.51	24012	18.04	2.44
13	14°31'25.68"N	90°43'42.03"W	1608.41	10125	7.61	1.03
14	14°31'29.07"N	90°43'45.89"W	1593.86	24599	18.48	2.50
15	14°31'29.02"N	90°43'42.34"W	1597.76	13523	10.16	1.38
16	14°31'25.59"N	90°43'38.69"W	1610.23	9020	6.78	0.92
17	14°31'28.70"N	90°43'38.84"W	1598.69	15341	11.53	1.56
18	14°31'25.24"N	90°43'34.97"W	1607.24	13535	10.17	1.38
19	14°31'28.40"N	90°43'35.20"W	1598.8	22930	17.23	2.33
Consumo máximo horario =			13.54965122	L/seg		Σ= 13.54965122

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

## 6. Análisis de los sistemas de distribución en Epanet 2.0 vE

Cuadro 133. Análisis del sistema de distribución parte alta en Epanet

Resultados de Sistema de Distribución Parte Alta - Nodos			
ID Nodo	Demanda (LPS)	Altura (m)	Presión (m)
Nodo 1	0	1663.31	2.31
Nodo 2	1.1	1644.48	10.97
Nodo 3	0.86	1638.54	18.22
Nodo 4	1.79	1639.5	6.76
Nodo 5	1.18	1638.54	20.44
Nodo 6	1.35	1635.18	-4.58
Nodo 7	0.84	1635.17	14.24
Nodo 8	1.51	1633.36	18.61
Nodo 9	1.71	1633.3	11.34
Nodo 10	0.65	1633.21	-11.94
Nodo 11	0.85	1633.31	-15.39
Doña Celia	-11.84	1667	0

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 134. Análisis de sistema de distribución parte alta en Epanet

Resultados de Sistema de Distribución Parte Alta - Tuberías				
ID Tubería	Caudal (LPS)	Velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Estado
Tubería 1	11.84	2.6	75.32	Abierto
Tubería 2	11.84	2.6	75.32	Abierto
Tubería 3	3	1.48	44.08	Abierto
Tubería 4	1.21	0.6	8.61	Abierto
Tubería 5	0.04	0.02	0.02	Abierto
Tubería 6	-3.31	1.63	52.56	Abierto
Tubería 7	4.42	2.18	89.45	Abierto
Tubería 8	0.09	0.04	0.06	Abierto
Tubería 9	-2.48	1.23	31.21	Abierto
Tubería 10	1.73	0.86	16.33	Abierto
Tubería 11	0.22	0.11	0.46	Abierto
Tubería 12	-1.7	0.84	15.74	Abierto
Tubería 13	1.29	0.63	9.57	Abierto
Tubería 14	0.44	0.22	1.43	Abierto
Tubería 15	-0.21	0.1	0.4	Abierto

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 135. Análisis del sistema de distribución parte alta con solución propuesta

Resultados de Sistema de Distribución Parte Alta - Nudos			
ID Nodo	Demanda (LPS)	Altura (m)	Presión (m)
Nodo 1	0	1663.31	2.31
Nodo 2	1.1	1654.52	21.01
Nodo 3	0.86	1651.58	31.26
Nodo 4	1.79	1651.46	18.72
Nodo 5	1.18	1651.26	33.16
Nodo 6	1.35	1651.93	12.17
Nodo 7	0.84	1651.22	30.29
Nodo 8	1.51	1650.67	35.92
Nodo 9	1.71	1650.98	29.02
Nodo 10	0.65	1652.77	7.62
Nodo 11	0.85	1653.97	5.27
Doña Celia	-11.84	1667	0

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 136. Análisis de tuberías del sistema de distribución parte alta solución propuesta.

Resultados de Sistema de Distribución Parte Alta - Tuberías				
ID Tubería	Caudal (LPS)	velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Estado
Tubería 1	11.84	2.6	75.32	Abierto
Tubería 2	7.83	1.72	35.17	Abierto
Tubería 3	2.29	1.13	27.01	Abierto
Tubería 4	0.5	0.25	1.82	Abierto
Tubería 5	-0.67	0.33	3.05	Abierto
Tubería 6	-2.24	1.11	25.96	Abierto
Tubería 7	2.19	1.08	24.85	Abierto
Tubería 8	1.02	0.5	6.38	Abierto
Tubería 9	-0.71	0.35	3.32	Abierto
Tubería 10	0.89	0.44	5.02	Abierto
Tubería 11	-0.62	0.3	2.6	Abierto
Tubería 12	-1.16	0.57	8.03	Abierto
Tubería 13	-1.35	0.67	10.45	Abierto
Tubería 14	1.81	0.89	17.66	Abierto
Tubería 15	1.17	0.58	8.03	Abierto
Tubería 16	4.01	1.98	74.72	Abierto

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

La revisión de los sistemas de distribución se realizó en el programa Epanet 2.0 vE. Como se muestra en el *Cuadro 136*, los nodos 11, 10 y 6 del *Sistema de distribución Parte Alta* no tendrían la presión necesaria para el año de diseño, siendo el Nodo 11 el que menos carga dinámica tenía con -15.39 m.c.a. Para solucionar este problema, se determinó que, si se conectan los nodos 1 con el 11 con una tubería de dos pulgadas, el sistema en su mayoría alcanza la presión mínima de trabajo de 10 m.c.a. Las únicas partes que mostrarían una presión baja, como se muestra en el *Cuadro 137*, son las zonas que están más cerca del tanque.

Cuadro 137. Análisis de sistema de distribución parte baja en Epanet

Resultados de Sistema de Distribución Parte Baja - Nudos			
ID Nudo	Demanda (LPS)	Altura (m)	Presión (m)
Nodo 12	2.44	1596.8	-7.71
Nodo 13	1.03	1603.32	-5.09
Nodo 14	2.5	1595.67	1.81
Nodo 15	1.38	1596.25	-1.51
Nodo 16	0.92	1595.7	-14.53
Nodo 17	1.56	1594.72	-3.97
Nodo 18	1.38	1593.57	-13.67
Nodo 19	2.33	1593.31	-5.38
Don Mario	-13.55	1624.6	0

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 138. Análisis de sistema de distribución parte baja en Epanet

Resultados de Sistema de Distribución Parte Baja - Tuberías				
ID Tubería	Caudal (LPS)	Velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Estado
Tubería 1	13.55	2.97	96.71	Abierto
Tubería 2	3.92	1.79	59.31	Abierto
Tubería 3	1.47	0.67	10.14	Abierto
Tubería 4	-1.03	0.47	5.37	Abierto
Tubería 5	-4.18	1.91	66.7	Abierto
Tubería 6	4.42	2.02	73.99	Abierto
Tubería 7	1.45	0.66	9.85	Abierto
Tubería 8	-1.77	0.81	14.09	Abierto
Tubería 9	1.66	0.76	12.53	Abierto
Tubería 10	-0.67	0.31	2.55	Abierto
Tubería 11	-2.05	0.94	18.37	Abierto

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 139. Análisis de nodos del sistema de distribución parte baja con tanque

Resultados de <i>Sistema de Distribución Parte Baja</i> - Nodos			
ID Nodo	Demanda (LPS)	Altura (m)	Presión (m)
Nodo 12	2.44	1621.8	17.29
Nodo 13	1.03	1628.32	19.91
Nodo 14	2.5	1620.67	26.81
Nodo 15	1.38	1621.25	23.49
Nodo 16	0.92	1620.7	10.47
Nodo 17	1.56	1619.72	21.03
Nodo 18	1.38	1618.57	11.33
Nodo 19	2.33	1618.31	19.62
Don Mario	-13.55	1649.6	0

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 140. Análisis de tuberías del sistema de distribución parte baja con tanque

Resultados de <i>Sistema de Distribución Parte Baja</i> - Tuberías				
ID Tubería	Caudal (LPS)	Velocidad (m/s)	Pérd. Unit. (m/km)	Estado
Tubería 1	13.55	2.97	96.71	Abierto
Tubería 2	3.92	1.79	59.31	Abierto
Tubería 3	1.47	0.67	10.14	Abierto
Tubería 4	-1.03	0.47	5.37	Abierto
Tubería 5	-4.18	1.91	66.7	Abierto
Tubería 6	4.42	2.02	73.99	Abierto
Tubería 7	1.45	0.66	9.85	Abierto
Tubería 8	-1.77	0.81	14.09	Abierto
Tubería 9	1.66	0.76	12.53	Abierto
Tubería 10	-0.67	0.31	2.55	Abierto
Tubería 11	-2.05	0.94	18.37	Abierto

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Al analizar el *Sistema de distribución Parte Baja* se determinó que la altura del tanque cisterna no era la adecuada para abastecer a la población futura. Como se muestra en el *Cuadro 140* ninguno de los nodos tiene la presión necesaria a excepción del nodo 14. El nodo que menos presión tienen es el nodo 6 con -14.53 m.c.a. Ya que la municipalidad no cuenta con predios en una localidad con mayor altura que la del *Tanque de Don Mario* se recomienda que se realice un diseño para un tanque elevado de por lo menos 25 metros de altura. Los resultados del análisis del sistema con la propuesta del tanque elevado, se puede observar que todas las presiones cumplen con la presión mínima de trabajo.

## G. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

### 1. Diseño de rejillas

Se hizo un análisis del diseño de la planta de tratamiento. Debido a que no se contaba con una caracterización de las aguas residuales, el DBO y DQO se obtuvo mediante listados de la composición típica de las aguas residuales. Se elaboró un sistema de rejillas el cual cuenta con 3 barras de  $\varnothing \frac{1}{4}$ ' y un espaciado de 2 in a ejes; la base del caudal es de 20 cm (ver tabla 1). Estas medidas tienen una simetría congruente respecto al caudal de ingreso.

Cuadro 141. Sistema de rejillas

SISTEMA DE REJILLAS		UNIDADES
Área transversal de flujo	0.016	m <sup>2</sup>
Tirante del agua	0.281	m
Pendiente del canal	0.0052	%
Longitud de barras	0.115	m
Longitud del canal	0.700	m
Número de barras	3	-
Espaciamiento entre barras	2	in
Base del canal	0.200	m

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Así mismo, se elaboró un desarenador que cuenta con una altura de 20 cm desde la cota de ingreso del caudal, con una pendiente del 6% de la entrada hasta la zona de lodos y un 2% de la zona de lodos hasta el vertedero sutro. La base del vertedero es de 0.28 m y tiene una longitud de 3.20 m (ver tabla 2). Estas medidas brindan una velocidad de retención hidráulica suficiente para una sedimentación correcta.

### 2. Diseñador de reactores

La temperatura es uno de los factores más importantes en el diseño del reactor RAFA. En este caso se utilizó una temperatura promedio de 20°C. Además, se asumió que este valor como constante en el tiempo. Es uno de los supuestos más relevantes en el diseño, puesto que de ella dependen los valores del tiempo de retención hidráulica. Según el manual de la OPS, se propuso un valor de 7 horas. Si se modifica este factor, se modifica la altura, área, lados, velocidades aplicadas y demás factores que conforman el reactor. Se determinó de esta forma ya que el municipio de Sacatepéquez cuenta con temperaturas máximas de 25°C y mínimas de 13°C.

Por lo general y debido a su energía almacenada, nutriente, bacterias y demás microorganismos el agua residual cuenta con temperaturas más estables. Debido a que estos valores no son constantes, es importante delimitar que para un diseño anaeróbico y que las bacterias puedan cumplir con un papel eficiente, la temperatura se mantendrá alrededor de 20°C. El otro factor relevante en el diseño es la carga orgánica volumétrica. En este caso la utilizada fue de 1.729 kg/m<sup>3</sup>\*día según la Cuadro 3. Esta depende del caudal medio y el tiempo de retención, que nuevamente relaciona la temperatura. Estos dos valores son cruciales para empezar propiamente el diseño.

### 3. Reactor anaerobio de flujo ascendente

Cuadro 142. Reactor anaeróbico de flujo ascendente

RAFA		UNIDADES
Lados del reactor	6	m
Volumen del reactor	170.73	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulico	7	horas
Altura del reactor	4.2	m
Número de difusores	19	
Abertura de campana	2.69	m
Altura de campana	1.6	m
Remoción DQO	73.54	%
Remoción DBO	65.59	%
Concentración del efluente DQO	129.05	mg/L
Concentración del efluente DBO	43.65	mg/L
COV	1.729	kg/m <sup>3</sup> *día

Fuente: Cesar Daniel Pivaral Vivar

Por consiguiente, se determinó la altura del reactor. Si analizamos la altura propuesta de 4.2 m está dentro de los parámetros típicos de alturas de plantas de tratamiento propuestas por Jaramillo Orozco, Polanco y Seghezzo. Los cuales indican que las alturas típicas oscilan entre 4 a 5 m y alrededor de 4 m respectivamente. Esto afirma que los valores de temperatura, DBO y DQO propuestos están entre lo aceptable acorde al diseño. Lo que se busca para diseñar, es que el RAFA, sea un ejercicio puramente hidráulico. Esto se logra teniendo una velocidad ascensional del reactor menor a 1 m/hr, lo cual evita el arrastre de material en el reactor. El propuesto para el diseño es de 0.6 m/h, elegido del manual de la OPS. Para un caudal medio se utilizó el promedio de los límites máximos y mínimos.

Es importante notar que la altura del reactor se obtuvo de la velocidad superficial y el tiempo de retención hidráulico, la cual es de 4.2 m. Esta también se obtuvo valores estándar de los reactores RAFA. En este caso se elige la altura, pero se obtiene de ella la velocidad superficial, mediante la ecuación (7). Se optó por proponer la velocidad y obtener de ella la altura. En este caso se propuso un reactor cuadrado, por razón de costos. El largo del reactor es una simple raíz cuadrada del área, generando lados iguales; 6 m. De querer formar un tanque rectangular, sería necesario variar las distancias para obtener el área de diseño.

Debido a que esta propuesta de diseño debe cumplir con el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, del acuerdo gubernativo No. 236-2006 es imperativo cumplir con el porcentaje de la reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno. Dicho acuerdo, indica en la etapa número tres, una carga de kilogramos por día entre  $3000 \leq EG \leq 5000$ , que debe tener una reducción del 50%.

Esta propuesta de diseño tiene una eficiencia de remoción de DBO y DQO del 73.54 y 65.59 % respectivamente. Esto indica que el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno es aceptable según el acuerdo gubernativo. Debido a que son aguas de uso doméstico, los parámetros de diseño no son limitantes en este punto. Incluso, el diseño de la planta estaría cumpliendo además con la etapa cuatro, la cual toma lugar la fecha máxima de cumplimiento al dos de mayo de dos mil veinticuatro, la cual requiere un 40% de reducción.

En el artículo 19 del acuerdo gubernativo ya mencionado, se delimita la meta de cumplimiento. Esta indica que al finalizar las etapas de reducción se debe cumplir con una demanda bioquímica en tres mil kilogramos por día de DBO, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. Los resultados obtenidos, donde la concentración en el efluente de DBO es de 43 mg/L y 129 mg/L de DQO.

Se realizó un desglose de precios de la PTAR, el cual consta de trabajos preliminares, excavación, caja de entrada con rejillas, desarenador y el reactor RAFA. Este precio incluye los costos indirectos, conformado por un 35%, los cuales se dividen un 15% de utilidad, 10% de pago de impuestos y un 10% de administración. Este valor total indicado cambia dependiendo de qué tan eficiente sea la empresa.

Cuadro 143. Precios de la planta de tratamiento de aguas residuales

Materiales	Cantidad	Subtotal	
TRABAJOS PRELIMINARES	1	Q	28,755.00
EXCAVACION	1	Q	39,720.38
CAJA DE ENTRADA CON REJILLAS	1	Q	7,425.00
DESARENADOR	1	Q	25,650.00
REACTOR	1	Q	1,687,571.82
		TOTAL	<b>Q 1,789,122.20</b>

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Se realizó el conteo de pozos en la aldea San Juan del Obispo donde se obtuvo un total de 27. En ellos se indicó la latitud, longitud, tipo de tapadera incluyendo el diámetro de esta, disposición de escaleras, costas invert y la referencia. Del total, no se logró abrir la tapadera de 7 de ellos, por lo que se indicó únicamente la referencia geográfica.

Cuadro 144. Reactor anaeróbico de flujo ascendente

No. De pozo	Latitud	Longitud	Tapadera	Diámetro	Escaleras	Cota invert		Referencia
						Entrada	Salida	
1	14°31'32"N	90°43'40"O	Concreto	85	NO	1.70	2.00	1ra calle poniente
2	14°31'30"N	90°43'39"O	Concreto	85	SI	1.73	1.86	2da. Av. Norte
3	14°31'28"N	90°43'39"O	Concreto	85	NO	1.82	1.9	2da. Av. Norte
4	14°31'26"N	90°43'43"O	Concreto	85	SI	1.75	1.85	3ra. Calle y 3ra Av.
5	14°31'25"N	90°43'38"O	Concreto	85	NO	2.1	2.3	3ra. calle y 2da Av.
6	14°31'22"N	90°43'38"O	Concreto	85	-	-	-	4ta. Calle y 2da. Av.
7	14°31'22"N	90°43'39"O	Concreto	85	-	-	-	4ta. Calle y 2da. Av.
8	14°31'22"N	90°43'40"O	Concreto	85	NO	1.7	1.85	4ta. C. entre 2da. Y 3ra Av.
9	14°31'20"N	90°43'41"O	Concreto	85	SI	1.45	1.38	3ra. Av. Y Salida
10	14°31'19"N	90°43'42"O	Concreto	85	-	-	-	5ta. C y 3ra Av.
11	14°31'16"N	90°43'46"O	Concreto	85	NO	1.30, 1.20, 1.20	1.45	4ta Av. Y salida
12	14°31'19"N	90°43'44"O	Concreto	85	SI	1.57	1.70	5ta. C. entre 3ra y 4ta. Av.
13	14°31'16"N	90°43'45"O	Concreto	85	-	-	-	4ta Av. Y salida
14	14°31'18"N	90°43'43"O	Concreto	85	-	-	-	Salida y 5ta. Calle
15	14°31'19"N	90°43'43"O	Concreto	85	0	0	0	5ta. C. entre 3ra y 4ta. Av.
16	14°31'19"N	90°43'48"O	Concreto	85	NO	2.1	2.14	5calle y 5ta. Av.
17	14°31'20"N	90°43'45"O	Concreto	85	NO	2	2.3	4ta Av. entre 4ta y 5ta calles
18	14°31'24"N	90°43'45"O	Concreto	85	NO	2.9	3.2	final de la 3ra calle
19	14°31'25"N	90°43'49"O	Concreto	85	NO	2.50, 1.75, 1.75	2.6	5ta Av. y 3ra calle
20	14°31'27"N	90°43'49"O	Concreto	85	NO	1.90, 1.50	3	5ta Av. entre 2da y 3ra calle
21	14°31'31"N	90°43'50"O	Concreto	85	NO	2.30, 1.10	3.35	5ta Av. entre 1ra y 2da calle
22	14°31'32"N	90°43'50"O	Concreto	85	-	-	-	5ta Av. y 1ra calle
23	14°31'32"N	90°43'53"O	Concreto	85	NO	1.4	1.65	1ra calle 6ta Av.
24	14°31'25"N	90°43'54"O	Concreto	85	NO	1.7	1.8	3ra calle 6ta Av.
25	14°31'29.06"N	90°43'45.87"O	Concreto	85	NO	0DT13	1.95	2da C y 4ta Av.
26	14°31'32.56"N	90°43'46.10"O	Concreto	85	NO	2.1	2.34	4ta Av. y 1ra calle
27	14°31'29.17"N	90°43'49.36"O	Concreto	85	NO	1.25, 1.40	2.2	4ta calle y 5ta Av.

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)



## VI. CONCLUSIONES

### A. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en La Antigua Guatemala

Se diseñó el sistema de abastecimiento de agua potable para La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. Por lo que, se identificó que La Antigua Guatemala cuenta con cinco tanques de agua potable: Candelaria 2, El Cerro/La Guardianía, El Cristo, Santa Inés y El Caballo; en donde este último es el único que no se encuentra funcionando. Y cuenta con cinco pozos: Candelaria 1, Candelaria 2, Santa Rosa, El Chacará y El Parque la Unión.

Se realizó un análisis de riesgo en el Cerro de la Cruz, en donde se determinó que la ubicación ideal para el tanque de almacenamiento de agua potable diseñado posee las coordenadas latitud  $14.566752^{\circ}$  N y longitud  $-90.731085^{\circ}$  O.

Finalmente, se diseñó el sistema de almacenamiento de agua potable con un volumen que se adecua a las necesidades y a los recursos de La Antigua Guatemala. Tomando en cuenta que este será abastecido únicamente por los pozos ubicados dentro de la aldea y con la proporción de cloración adecuada para suministrar el agua potable de buena calidad. Además, el tanque diseñado posee el refuerzo necesario para soportar las presiones del fluido y del suelo.

### B. Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia en La Antigua Guatemala

Se compararon los sistemas de captación de agua de lluvia, se determinó que el sistema más favorable es el techo cuenca, por contar con un factor de escurrimiento de 0.8 y no requerir de mantenimiento constante ni personal técnico para utilizarse. Igualmente, se ubicaron las propiedades de la Municipalidad de La Antigua Guatemala, que se encuentran en el cerro de la Cruz, la Guardianía el Hato y el Hato en un mapa temático.

Así mismo, se evaluó la precipitación de la zona alrededor del casco urbano de La Antigua Guatemala, mediante la elaboración de un mapa temático; se determinó que el lugar adecuado para la implementación del sistema de captación de agua de lluvia se encuentra en las coordenadas latitud  $14^{\circ}34'0.56''$  N y longitud  $90^{\circ}43'51.88''$  O.

Las propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el sistema diseñado son: aseo de las calles y avenidas de La Antigua Guatemala, riego de 5 manzanas de café y extinguir un incendio al año. Finalmente, se diseñó el sistema de captación de agua de lluvia, el cual consiste en un techo de láminas galvanizadas, dividido en dos aguas inclinadas hacia adentro con pendiente de 5% y confluentes hacia una canaleta colectora central que desagua sobre un tanque de concreto reforzado.

### C. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala

Al comparar un sistema de alcantarillado combinado con uno separativo se determinó que, sí es importante que La Antigua Guatemala, Sacatepéquez cuente con un sistema separativo. La principal razón es que cuando son períodos de lluvia, esta entra en contacto con las aguas residuales y al no darse abasto el sistema de alcantarillado, se producen inundaciones que dañan tanto la salud humana, como la infraestructura. Por ello, con un sistema separativo se aprovecha de mejor forma el recurso del agua y a la vez, se tratan las aguas residuales de manera correcta.

Se observó que los planos del sistema de alcantarillado actuales, proporcionados por el departamento de Aguas de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, concuerdan con la red existente. Puede considerarse el sistema únicamente sanitario, ya que se puede basar en ellos para realizar la propuesta de diseño adecuada para transportar el caudal generado por las aguas residuales en la ciudad. Igualmente, se elaboraron los planos de este, con base a los pozos de visita actuales con la localización de los tramos que necesitan ser reemplazados por un diámetro de tubería propuesto para transportar el caudal generado por las aguas residuales de forma correcta.

Además, se realizó una guía de operación y mantenimiento la cual servirá como ayuda para la realización del mantenimiento del sistema de alcantarillado sanitario de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Con la metodología propuesta se garantiza que el sistema permanezca en un funcionamiento óptimo y se eviten tanto inundaciones como fallas en el mismo. También, para facilitar la ubicación de los pozos visitados, se adjuntaron fichas técnicas con las mediciones realizadas para cada uno de ellos.

#### D. Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala

Se evaluó que el actual sistema de abastecimiento de agua potable en San Pedro Las Huertas no es suficiente para abastecer la población actual y futura. También, se realizó una descripción de tres pozos, un tanque de almacenamiento y un rebombeo en el actual sistema de abastecimiento de agua potable en San Pedro Las Huertas. Además, de la presencia de catorce llenacántaros, un tanque de almacenamiento y un nacimiento que provee un ingreso extra de agua potable. Se realizaron fichas técnicas para todos los componentes mostrando sus características específicas y georreferenciación.

Se utilizó cuatro archivos shape en QGIS de los tanques, pozos, rebombeo y llenacántaros. En donde cada archivo está georreferenciado en coordenadas UTM. Estos resultados se plasmaron en mapas temáticos para su mejor visualización. La demanda actual del sistema es de 21.40 L. La calidad del agua de los pozos de San Pedro Las Huertas se encuentra en un rango aceptable, exceptuando la presencia de coliformes fecales en el nuevo pozo.

#### E. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala

Se encontraron un total de 59 pozos en la aldea de San Pedro Las Huertas, de los cuales se obtuvieron sus coordenadas geográficas para la generación del inventario en el programa QGIS. Así mismo, se determinó la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la parte más baja de la aldea para que esta funcione por gravedad, además que es a dónde se dirige el drenaje.

Por último, se realizó una propuesta de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que cuenta con fase preliminar, primaria y secundaria, la cual tiene una eficiencia para el DBO de 73.5% el cual cumple con los requerimientos del acuerdo gubernativo 236-2006 para la carga de 388 kg/día, conjunto con un manual de operación y mantenimiento con la intención de ayudar a los trabajadores de la municipalidad cuando realicen labores de limpieza y mantenimiento de la PTAR.

## F. Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

San Juan del Obispo tiene dos sistemas de distribución y almacenamiento de agua, que constan de un pozo y un tanque cada uno. En este trabajo se presentan los resultados de la línea base que incluyen fichas técnicas de los pozos y tanques y diferentes mapas temáticos de los sistemas. La línea base de San Juan el Obispo evidencia algunos de los problemas de los sistemas de distribución y abastecimiento. Estos problemas incluyen fugas en los tanques de almacenamiento, falta de mantenimiento, tapaderas rotas y suciedad general en los sistemas.

Debido a la falta de los predios de la Municipalidad de Antigua Guatemala en San Juan el Obispo no se pudo analizar otras ubicaciones para los tanques cisterna. Se determinó que sí se pueden utilizar las localidades actuales con algunas modificaciones.

El Sistema de distribución Parte Alta no logrará distribuir correctamente a San Juan el Obispo debido a falta de presión en el sistema. La solución para este problema es conectar el Nodo 1 con el Nodo 11 y de esta manera la presión en el sistema será suficiente a excepción de las áreas cercanas al tanque o a los nodos 10 y 11. La altura del Tanque de Don Mario no es la adecuada para abastecer al Sistema de distribución Parte Baja en el año proyectado; se necesita ganar 25 metros de altitud.

Las tuberías de impulsión actuales no son las adecuadas para el sistema de abastecimiento proyectado para el año 2042. Se determinó que la tubería de impulsión más adecuada, en ambos casos, para los sistemas es de 4 pulgadas de diámetro. La bomba actual del sistema de distribución de la parte baja es suficiente para abastecer el tanque en el año 2042 pero se debe de revisar su tiempo de vida y la potencia en el tiempo. Para el Sistema de distribución Parte Alta, no fue posible calcular la potencia de la bomba necesaria para el buen funcionamiento del sistema debido a la falta de datos.

## G. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

Se diseñó una planta de tratamiento de agua residual para la aldea San Juan del Obispo mediante el método de tratamiento de reactor anaeróbico de flujo ascendente. Se analizaron 27 pozos de visita,

de los cuales mediante el uso del sistema de información geográfica (SIG) se elaboraron mapas temáticos que fueron de utilidad para delimitar la ubicación ideal de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Esta tiene una ubicación en el punto con latitud y longitud de  $14^{\circ}31'37.11''\text{N}$  y  $90^{\circ}43'53.22''\text{O}$  respectivamente, la cual cuenta con una pendiente, disponibilidad y recolección de aguas residuales de la aldea en general. Así mismo, Se obtuvo una remoción del DQO y DBO del 73.54 y 65.59 % respectivamente, con una concentración en el efluente en DBO de 43 mg/L y 129 mg/L de DQO. La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con varillas No. 4 con un espaciamiento de 13 cm a doble cama, para el refuerzo horizontal y vertical, con un recubrimiento de 5 cm.



## VII. RECOMENDACIONES

### A. General

- Los cálculos de diseño no conllevan responsabilidad por parte de la Universidad del Valle de Guatemala, por lo que se recomienda contratar un profesional que realice el diseño final.

### B. Específicas de cada tema

#### 1. Diseño del nuevo sistema de abastecimiento de agua potable en La Antigua Guatemala

##### a. Estudiantes

- Verificar la proyección de habitantes de La Antigua Guatemala en base al nuevo censo que se está realizando actualmente, para obtener un volumen de tanque de distribución más exacto.
- Realizar estudio del consumo de agua potable para poder determinar la dotación requerida para cada habitante y, por ende, determinar la curva de distribución horaria para un volumen de tanque de distribución más exacto.
- Evaluar la viabilidad del diseño de un nuevo tanque, para que existan dos tanques eficientes; para que cada uno se pueda abastecer mediante pozos diferentes. Por lo que si en dado caso uno se encuentra en mantenimiento no afecte a los demás.
- Buscar nuevas opciones viables de abastecimiento de agua potable, en donde se evite el gasto energético de rebombeo, para mejorar el sistema de distribución de La Antigua Guatemala.

##### b. Entidades encargadas

- Evaluar el mecanismo actual del sistema de distribución de agua potable, verificando que el proceso de abastecimiento sea eficiente en relación con lo necesario en la aldea.
- Realizar una evaluación del tanque Santa Inés, para determinar si podría seguir abasteciendo a La Antigua Guatemala.
- Cambiar el sistema de cloración que poseen actualmente los pozos existentes mediante un sistema centralizado para garantizar la calidad del agua que llegan a los habitantes de La Antigua Guatemala.

- Al instalar sistemas de cloración, que estos sean similares entre los tanques existentes para mejorar el mantenimiento y operación de estos.
- Colocar sistemas de medición en tiempo real con comunicación remota para que el manejo del sistema de distribución sea mucho más efectivo.
- Realizar una evaluación de las estructuras de tanques de almacenamiento; ya que, en su mayoría se encuentran en mal estado provocando que puedan acceder al agua distintos contaminantes.
- Realizar estudios hidrogeológicos y pruebas de bombeo para un eficiente sistema de abastecimiento.
- Realizar un estudio de suelo previamente a la realización del tanque enterrado, para conocer los estratos y el nivel freático del mismo. De tal manera, poder asegurar los requerimientos de la estructura.

## 2. Diseño del sistema captación y reúso de agua en La Antigua Guatemala

### a. Estudiantes

- Es indispensable la realización de un estudio de suelos en la ubicación del techo cuenca, previo a su construcción.
- Instalar una escalera desplegable en una de las esquinas del techo cuenca para facilitar las tareas de limpieza del techo.
- Ubicar una escalera de acero inoxidable en uno de los muros dentro del tanque de almacenamiento para acceder fácilmente si se quiere limpiar o reparar el mismo.
- Colocar un pequeño letrero en el grifo de salida, donde se mencione que el agua no es apta para consumo humano.
- Realizar un análisis completo de calidad de agua a la lluvia captada para determinar que contaminantes tiene presentes e identificar el tratamiento adecuado de cloración para que el agua pueda tener fines potables.
- Se recomienda realizar un taller de capacitación a los usuarios para explicar los beneficios, cuidados y mantenimiento mínimo para garantizar el buen funcionamiento y conservación de la vida útil del techo cuenca.

b. Entidades encargadas

- Se sugiere realizar un estudio de los poblados donde sea escasa el agua potable para implementar este tipo de tecnología, con la diferencia de que a estos se le implementaría un sistema de purificación de agua para que sea apta para consumo humano.
- Modificar el tanque El Caballo de tal forma que funcione como un prototipo de techo cuenca, de tal forma que funcione por gravedad y que el agua recolectada sea exclusiva para la limpieza de las calles de La Antigua Guatemala.
- El proyecto plasma un concepto nuevo para la Antigua Guatemala, si se desea realizar nuevamente hay que dimensionar las características del tanque e identificar nuevamente el lugar, como por la parte sur de La Antigua Guatemala.

3. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala

a. Estudiantes

- Se recomienda realizar el levantamiento de los pozos de visita no visitados del sistema de alcantarillado de La Antigua Guatemala, Sacatepéquez, con el fin de con el fin de obtener la altimetría pendiente.
- Se recomienda obtener de forma exacta la dotación que es proporcionada tanto para domicilios como para hoteles y restaurantes ya que no todos cuentan con la misma dotación ya que varían en tamaño.
- Se recomienda diseñar una propuesta para el drenaje de aguas pluviales.
- Verificar la proyección de habitantes de La Antigua Guatemala en base al nuevo censo que se está realizando actualmente para obtener una tasa de crecimiento más reciente.

b. Entidades encargadas

- Se recomienda redirigir el flujo que se pierde al llegar a pozos de visita tapados ya que estos son inservibles para el sistema o realizarles el mantenimiento correctivo adecuado para que vuelvan a funcionar.

- Se recomienda diseñar una propuesta de una planta de tratamiento para instalarse al final del sistema de alcantarillado para evitar que las aguas residuales sean descargadas directamente al río Guacalate.
- Realizar mantenimiento preventivo al menos 2 veces al año tanto para los pozos de visita como a las candelas domiciliarias para que el sistema de alcantarillado se mantenga funcionando en sus óptimas condiciones.
- Se recomienda agregar nuevas líneas no conectadas al casco urbano.

#### 4. Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala

##### a. Estudiantes

- Realizar ensayos de calidad del agua aparte de los obtenidos por el departamento de Calidad de Agua para tener un punto de comparación e información más verídica.
- Realizar el diseño eléctrico de la instalación del equipo de bombeo del nuevo pozo.
- Verificar la estimación de la población actual mediante el nuevo censo que se llevó a cabo el presente año.
- Para ampliar la red de información con respecto a la calidad del agua, se recomienda investigar el tipo de cloración presente en todos los tanques de Antigua Guatemala.
- Realizar un presupuesto del sistema diseñado, para de esta forma determinar qué tan viable es el proyecto.

##### b. Entidades encargadas

- Arreglar los manómetros del pozo de la plaza de San Pedro las Huertas y del pozo de San Pedro el Alto.
- Reparar la fuga presente en el pozo de San Pedro el Alto, ya que ahí se pierde una cantidad de agua significativa para la población.
- Limpiar la caja del equipo de bombeo del pozo de San Pedro las Huertas.
- Si se planea conectar el nuevo pozo a la actual red de distribución de agua potable se recomienda realizar análisis bacteriológicos y fisicoquímicos antes de conectarlo.

- Debido a la presencia de coliformes fecales en el nuevo pozo, se recomienda contactar a un ingeniero sanitaria para que investigue los pasos a tomar para resolver el problema.
- Para tener un mejor control de la calidad de agua distribuida se recomienda colocar el mismo sistema de cloración en todos los tanques de almacenamiento.

5. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala

a. Estudiantes

- Verificar la demanda de agua potable de la aldea para la población del nuevo censo poblacional para tener dimensiones más exactas de diseño.
- Comparar con otro diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para determinar si conviene otro tipo de planta de tratamiento.
- Verificar que en los alrededores no exista alguna industria que descargue al alcantarillado público.

b. Entidades encargadas

- Realizar una caracterización de aguas residuales para la aldea de San Pedro las Huertas, así poder realizar un diseño más preciso que cumpla exactamente con las necesidades de la aldea.
- Realizar inspecciones por lo menos dos veces al año para evitar taponamiento en las tuberías para que el caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales no sea afectado.
- Para mantener niveles de DQO y DBO cercanos a los propuestos en este trabajo no debe de descargar al alcantarillado público ningún tipo de industria que utilice químicos.
- Utilizar un pozo de absorción para la disposición de las aguas tratadas para que estas no sean contaminada con aguas residuales provenientes de otros drenajes.
- Si el gas será quemado, utilizar un conducto con un contrafuego para evitar que la llama se introduzca al reactor. Asimismo, se debe desechar lodos del reactor anaerobio, por lo menos una vez al año, limpiar las rejillas por lo menos una vez por semana para mantener el flujo en todo el sistema y el desarenador 2 veces al año.
- Para la disposición de los lodos del sistema, queda a discreción de la municipalidad si retirarlos o construir un patio de secado de lodos. Se recomienda el patio de secado debido a que los lodos

provenientes de este sistema son fáciles de estabilizar, además que el lodo estabilizado puede utilizarse como abono forestal.

- Realizar un reconocimiento para verificar que todas las conexiones al drenaje tengan trampa de grasa para evitar taponamientos, de lo contrario se deberá instalar trampas de grasa en los domicilios que no cuenten con ello.
- Si se desea una mayor remoción de contaminantes se recomienda realizar una etapa más con un filtro percolador.

## 6. Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

### a. Estudiantes

- Continuar realizando proyectos con la Municipalidad de Antigua Guatemala tomando en cuenta los problemas de saneamiento que tiene y la posibilidad de generar soluciones innovadoras.

### b. Entidades encargadas

- Cuando se publiquen los resultados del “Censo Nacional de Población y Vivienda: Censo Nacional 2017 – 2018” comparar las proyecciones poblacionales de este proyecto con las reales para definir nuevamente las bases del diseño de distribución y abastecimiento de agua potable.
- Determinar la población que consume el agua del sistema de distribución *Parte Baja y Parte Alta*, para así evitar el sobredimensionamiento de tanques.
- Cambiar las tuberías de impulsión a un diámetro de cuatro pulgadas para que los sistemas de bombeo puedan funcionar correctamente hasta el año 2042.
- Revisar la fecha en que se instalaron las tuberías para evitar que estas se revienten por la caducidad del material.
- Hacer un levantamiento para determinar el estado entero de los sistemas de distribución y abastecimiento de San Juan el Obispo; con este levantamiento se recomienda realizar mapas actualizados.
- Hacer un levantamiento del posicionamiento e identificación de las tuberías del sistema de distribución de agua por medio de radar.
- Tener un estudio de agua potable previo y luego de la cloración de agua potable.

- Instalar contadores en el sistema de distribución que mida las pérdidas de carga en las tuberías.

7. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

a. Estudiantes

- Buscar nuevos modelos de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, aplicables para la aldea San Juan del Obispo, Sacatepéquez, para comparar la eficiencia-costo del reactor anaerobio de flujo ascendente propuesto con el modelo investigado.
- Realizar un estudio de la caracterización del agua residual de la aldea San Juan del Obispo, Sacatepéquez con el apoyo de la municipalidad de La Antigua Guatemala, de forma que se pueda hacer un estudio más detallado de los requerimientos de diseño acorde al acuerdo gubernativo No. 236-2006, en específico del artículo 20 de los límites máximos permisibles de descargas de agua residuales a cuerpos receptores.
- Comparar los caudales de diseño utilizados, con los obtenidos mediante el censo poblacional que tuvo lugar en el año 2018, para obtener valores más precisos.

b. Entidades encargadas

- Desarrollar un estudio de suelos, ya que el diseño de la planta de tratamiento propuesto es un reactor anaerobio de flujo ascendente, es importante conocer el tipo de estratos, así como el nivel freático del mismo.
- Seguir las indicaciones propuestas en el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de flujo ascendente diseñada, dándole un uso adecuado y constante.
- Realizar un mantenimiento al sistema de drenajes de la aldea San Juan del Obispo.
- Implementar un filtro percolador y un pozo de absorción que ayuden a la descarga hídrica a los mantos freáticos.
- La planta de tratamiento deberá construirse previo a llegar a la jurisdicción de San Pedro las Huertas.



## VIII. FUENTES DE INFORMACIÓN

Adler, L. e. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México: Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente.

Alianza por el agua. (s.f.). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Obtenido de Alianza por el agua : <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

ArcGIS. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Obtenido de Qué es un Shapefile: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>

ArcGIS. (2018). *ArcGis Resources*. Obtenido de Introducción a SIG: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>

Arévalo Pulla, P. S., & Barahona Barahona, R. I. (2013). *Diseño comparativo de tanques para el almacenamiento de agua de hormigón*. Ecuador: Universidad de Cuenca.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2017). *NSE 2, demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección*. Guatemala: AGIES.

Boj, R. (2011). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la cabecera Municipal y carretera hacia la Aldea Chijou, municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Caballero, T. (2006). *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento, manual técnico*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Cahux, A. (2005). *Evaluación de caudales de crecida en la cuenca del río Samalá: modelos lluvia-escorrentía, con fines de evaluación de amenazas de origen hidrometeorológico*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

Canchari, J. O. (2017). Análisis y diseño para estructuras de concreto armado en tanques rectangulares y sus aplicaciones en las obras civiles. Perú: Repositorio Institucional Continental.

Centro de investigación y desarrollo tecnológico. (s.f.). *Universiad de salamanca*. Obtenido de Características de las aguas residuales: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Chiquin, E. A. (Mayo de 2009). Diseño de Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del área urbana, del municipio de San Pablo Tamahú, departamento de Alta Verapaz. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3000\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3000_C.pdf)

Cifuentes, B. M. (2004). Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. Guatemala.

COGUANOR 29001. (2013). *Norma Técnica Guatemalteca- Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía .

Comisión Nacional de Agua. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado, y Saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua . (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. Coyoacán, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Diseño, Contrucción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2009). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Das, B. M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (Séptima ed.). México: Cengage Learning.

Farras, I. L. (agosto de 2005). *Instituto de ingeniería Sanitaria y ambiental*. Obtenido de Teoría de la sedimentación : [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_teoria\\_sedimentacion.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf)

Felix, J. (2004). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, Aldea Lo De Hernández y puente vehicular Aldea El Terrero del municipio de Huehuetenango, Huehuetenango*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Foro Consultivo Científico y Tecnológico. (2012). *Diagnóstico del agua en las Américas*. México: FFCCyT.

Galindo, B. (2007). *Diseño de la red de alcantarillado pluvial para la 1ra calle entre 13 y 15 avenida, zona 5 y diseño del pavimento rígido sobre la 19 avenida y avenida el reformador, colonia Justo Rufino Barrios zona 5, municipio de San Marcos, San Marcos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Garantía. (11 de marzo de 2015). *GARANTIA*. Recuperado el 2018 de marzo de 8, de GARANTIA: <http://www.graf-agua.com/depositos-soterrados/filtros-pluviales.html>

Geoinnova. (2017). *Geoinnova Formación*. Obtenido de ¿Qué son los sistemas de información geográfica (SIG)? : <https://geoinnova.org/cursos/que-son-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig/#>

Gutierrez, C. (2017). Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base. Subtema: drenajes sanitarios en La Antigua Guatemala. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

Guzmán, S. (2014). *Sistema de captación de aguas pluviales adaptable a casas habitación*. México: Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.

Hernández, F. (2013). Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de captación para la participación comunitaria. México: USAID.

INE. (2002). Características de la población y de los locales de habitación censados. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística .

INE. (2008). Guatemala: Estimaciones de la Población total por Municipio. Periodo 2008 - 2020. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.

INFOM - UNEPAR. (1997). *Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zona rurales*. Guatemala: Unidad ejecutora del programa de acueductos rurales.

Instituto de Fomento Municipal. (2011). Guía de Normas Sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano. Guatemala: Instituto de Fomento Municipal de Guatemala.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. (2014). *Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala*. Guatemala: JICA.

Jaramillo, A. O. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales* (2da ed.). Colombia: Asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental.

Lemus, I. (2016). Diseño de sistema de drenaje sanitario en el Caserío El Cerro y diseño de calles en la Colonia Los Álamos, San Miguel Petapa, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

López, R. (2004). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Colombia: Nuevas Ediciones.

Martín, J. A. (2016). Captaciones subterráneas/ Perforación y equipamiento de sondeos para captación de aguas subterráneas. Escuela de Organización Industrial .

Martínez, P. (2016). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Hato, Antigua Guatemala y de la pavimentación de la carretera entre la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala y Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mayorga, D. (2012). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias y planta de tratamiento de aguas residuales para el área urbana del municipio de San Isidro, departamento de Cabañas. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mercedes, G. (2012). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias y planta de tratamiento de aguas residuales para el área urbana del municipio de San Isidro, departamento de Cabañas. San Salvador: Universidad del El Salvador.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. Guatemala: JICA.

Ministerio de Obras Públicas. (2016). *Atlas del Agua: Chile 2016*. Chile: Ministerio de Obras Públicas: Dirección General de Aguas.

Molina, R. T., Rangel, H. Á., Camargo, A. S., & Castañeda, D. P. (2015). *Fuentes de abastacimiento de agua para consumo humano*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.

Munshi, J. (2006). *Rectangular Concrete Tanks*. Estados Unidos: Portland Cement Association.

Navarro, J. G. (23 de noviembre de 2015). *Mecanica de fluidos* . Obtenido de Número de Reynolds: <http://mecanicadefluidoscod5131587.blogspot.com/2015/11/numero-de-reynolds.html>

Organización Panamericana de la Salud. (1988). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud .

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *itacanet*. Obtenido de Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores: <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20de%20agua/Guia%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf>

Organización Panamericana de la Salud. (2007). *Guía para la instalación de sistemas de desinfección*. Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud.

Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guía técnica: tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Paniagua, O. ¿-a.-s.-n.-p.-a.-u.-i. (5 de febrero de 2017). *Canal Antigua*. Recuperado el 2018 de agosto de 10, de Canal Antigua: <https://canalantigua.tv/cuanta-agua-se-necesita-para-apagar-un-incendio/>

PC, M. (3 de Septiembre de 2018). *Tubería de concreto*. Obtenido de [http://www.productosdeconcretocr.com/files/products/13\\_esp\\_cat\\_tuberia\\_concretocat.pdf](http://www.productosdeconcretocr.com/files/products/13_esp_cat_tuberia_concretocat.pdf)

Pérez, C. (2017). Falta de drenajes agobia a vecinos. *Prensa Libre*, pág. 2. Recuperado el 2 de Octubre de 2018, de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/falta-de-drenajes-agobia-a-vecinos>

Perez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en* . Bogotá: Ecoe Ediciones.

Pittman, R. A. (1997). *Agua Potable para Poblaciones Rurales*. Lima, Perú: Asociación Servicios Educativos Rurales (SER).

Pittman, R. A. (2014). *Agua Potable para Poblaciones Rurales* . Lima, Perú: Asociación Servicios Educativos Rurales (SER) .

Pizarro, R. e. (2015). Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Chile: UNESCO.

Poo, A. e. (2011). Criterios tecnológicos para la captación y aprovechamiento del agua pluvial en un conjunto de 150 viviendas de interés medio en el Valle de México. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Rouge, R. M. (1999). Diseño de abastecimiento rurales de agua potable. Guatemala: Tubovinil, S.A.

Ruiz, B. R. (Enero de 2000). Desarrollo de una metodología sencilla para establecer la presencia de coliformes en agua de consumo humano y su correlación con el método de fermentación de tubbos multiples. Guatemala.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (17 de mayo de 2016). *SEGEPLAN*. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de SEGEPLAN: <http://dae.mineco.gob.gt/mapainteractivo/index.php?controller=crm&action=detalles&id=16>

Sin Autor. (2005). Obtenido de Características de Aguas Residuales: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Soto, G. L. (2007). Parque Interactivo Ambienta Cerro La Rinconada, Jocotenango, Sacatepequez . Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

Suárez, J. (2010). Diseño, construcción y puesta a prueba de un banco de bombas centrífugas en serie, paralelo y mixto. Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana.

Tecval. (2017). *¿Que son las Valvulas?* Obtenido de [http://www.tecval.cl/que\\_son\\_las\\_valvulas.html](http://www.tecval.cl/que_son_las_valvulas.html)

Toledo, A. (Agosto de 2009). Estudio y experimento del fenomeno de golpe de ariete, debido a cierre de válvulas, para laboratorio de hidráulica. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3018\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3018_C.pdf)

Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales. (2011). Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano. Guatemala: Instituto de Fomento Municipal.

Universidad de Piura. (s.f.). *Naturaleza del Agua Residual Doméstica*. Obtenido de Biblioteca central: [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)

Universidad Mayor de San Simón. (2006). *Desarenadores* . Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.

Universidad Nacional Autónoma de Honduras. (2013). *Guía de diseño: sistema de cosecha de agua lluvia para consumo humano*. Honduras: Proyecto del Fondo de Adaptación.

Valdez, E. (1990). *Abastecimiento de agua potable* (Vol. Volmen 1). México: Universidad Nacional Autonoma de México.

Villela, D. J. (Noviembre de 2014). *Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Para el Municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. Obtenido de recursosbiblio: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2014/06/15/Macloni-Diego.pdf>

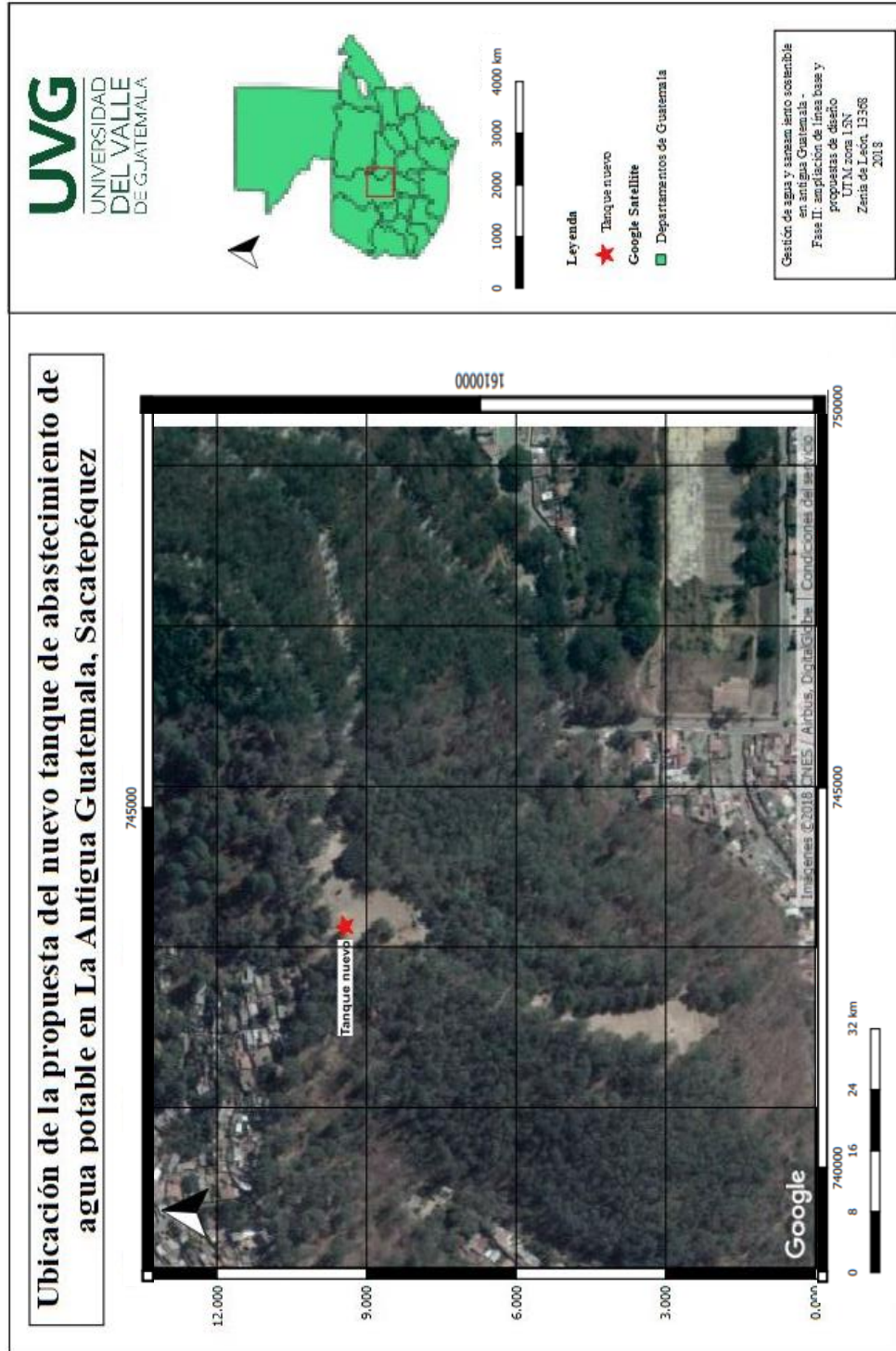
Zapeta, E. (2008). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, para la Aldea El Chipotón y sistema de abastecimiento de agua potable, para la Aldea San José Yalú, municipio de Sumpango, Sacatepéquez. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.



## IX. ÁPENDICE

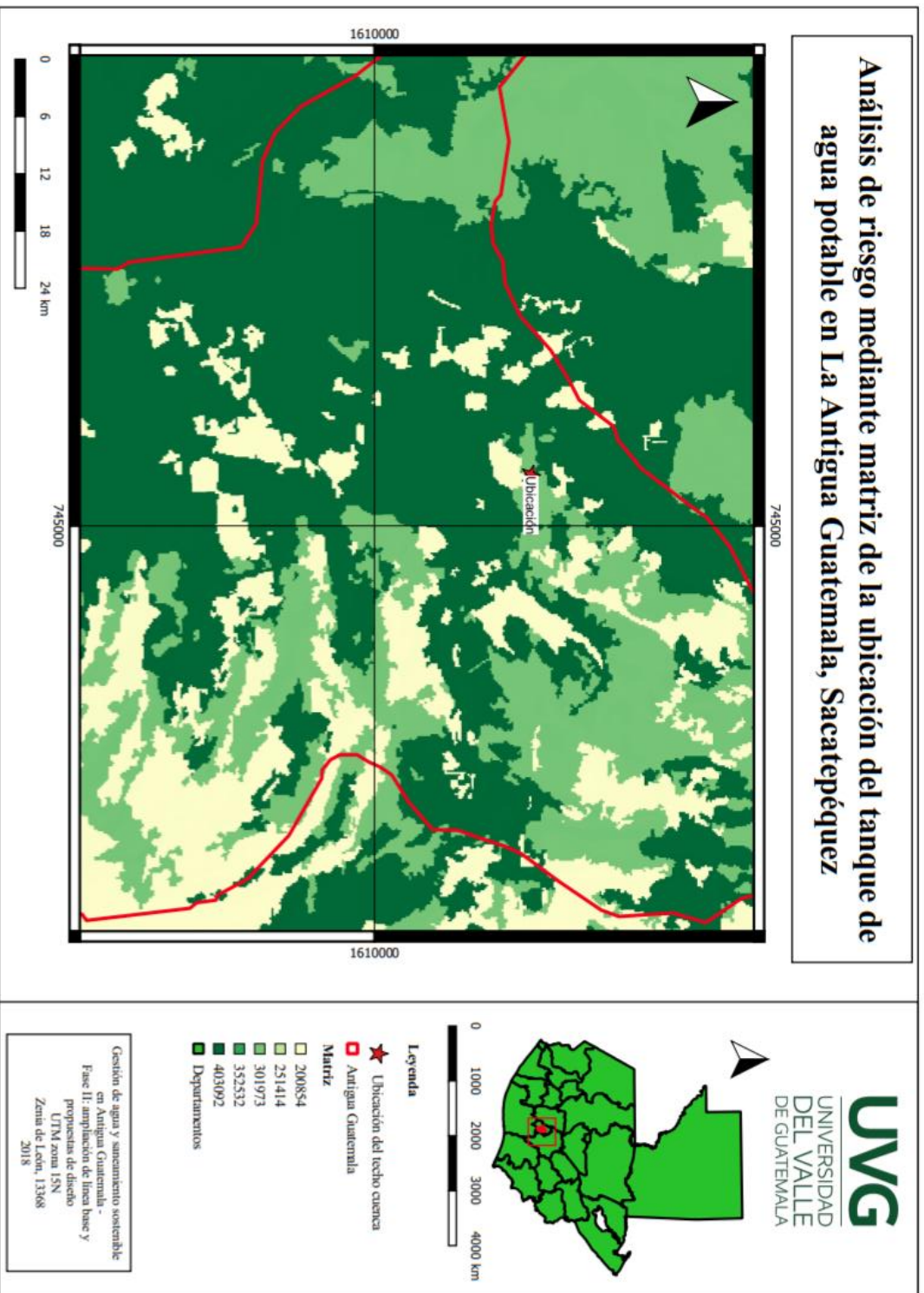
- A. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en La Antigua Guatemala
- 1. Mapas temáticos

Figura 53. Mapa temático de la ubicación del diseño



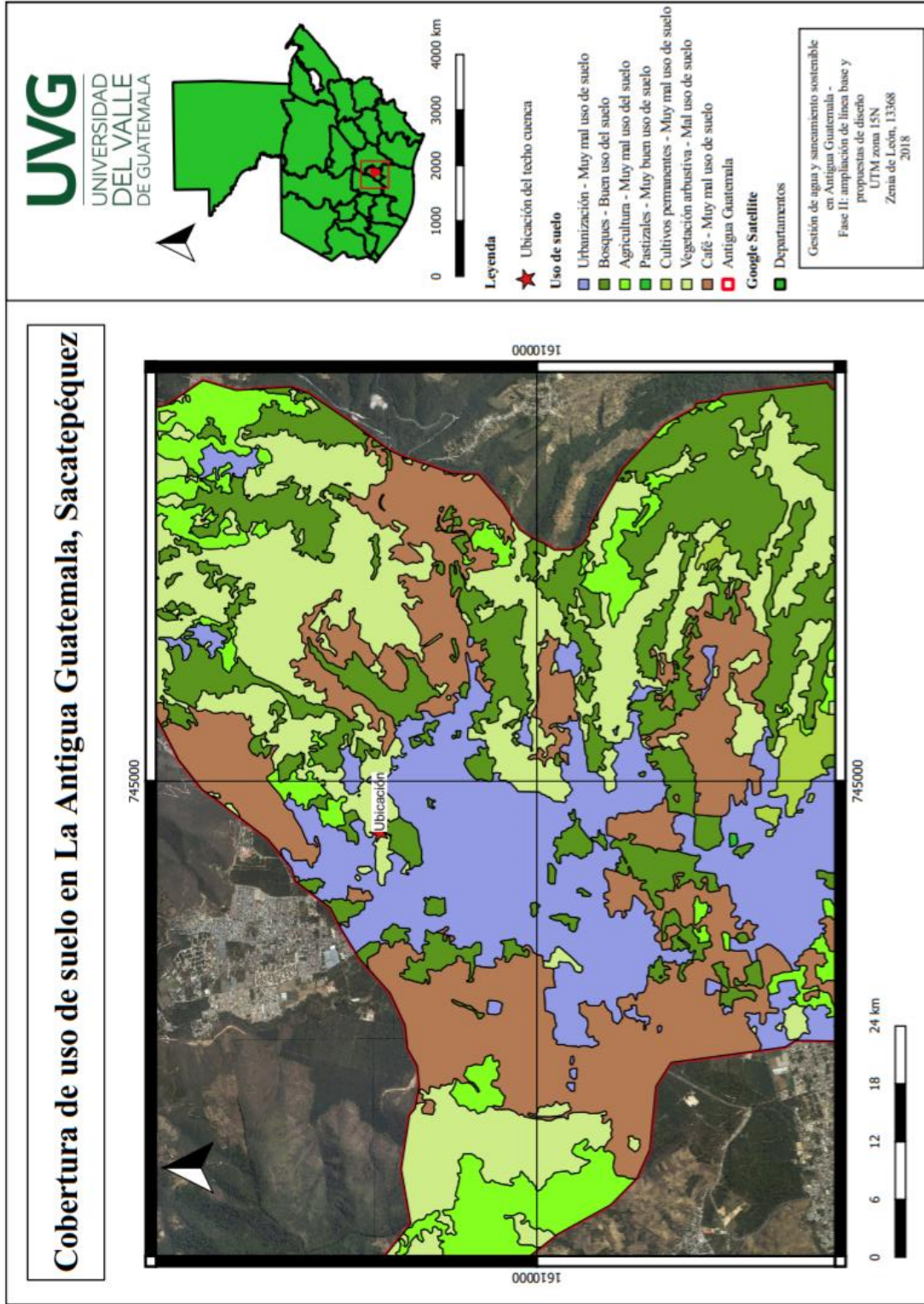
Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Figura 54. Mapa temático del análisis de riesgo mediante matriz



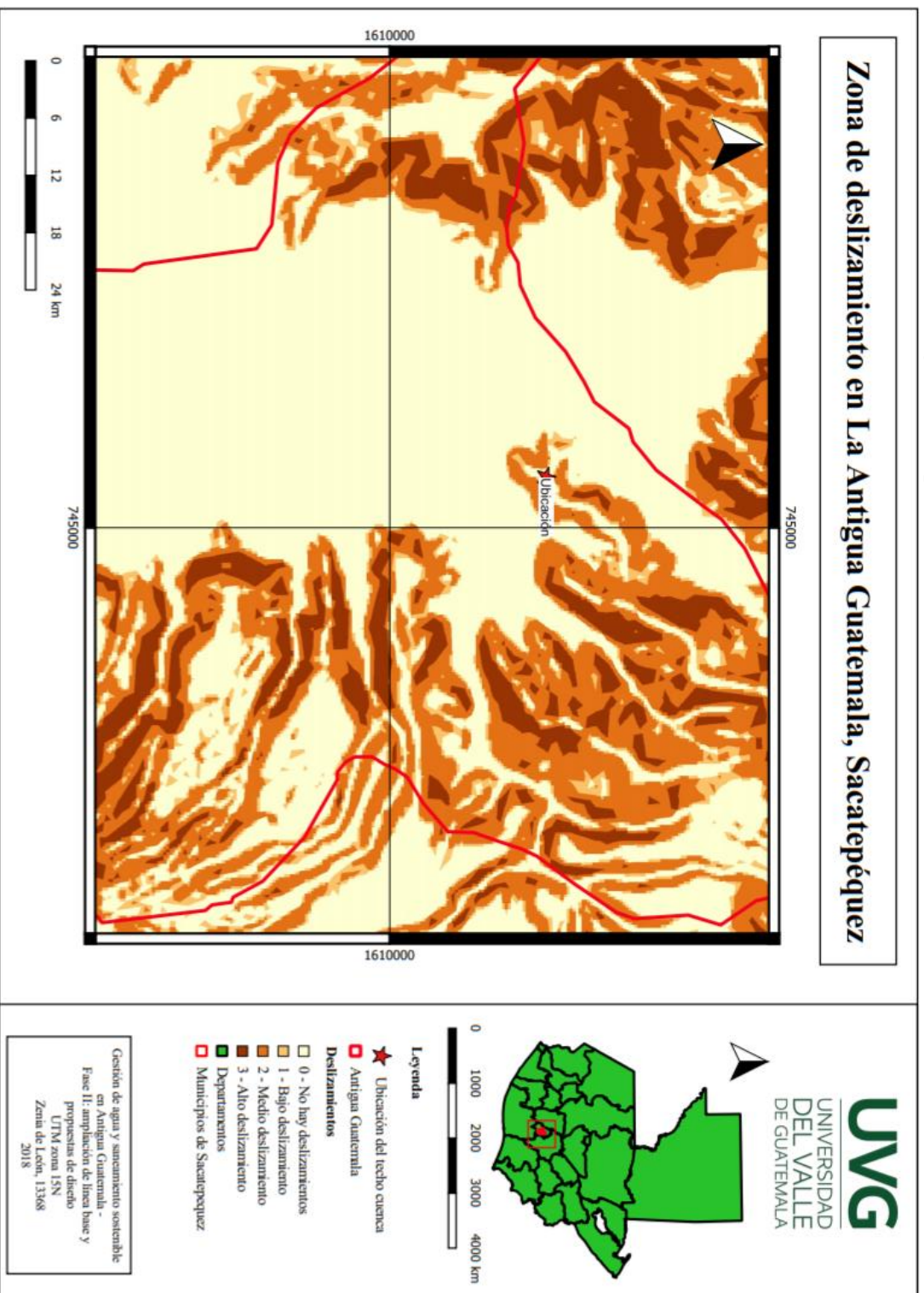
Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Figura 55. Mapa temático de cobertura del uso de suelo



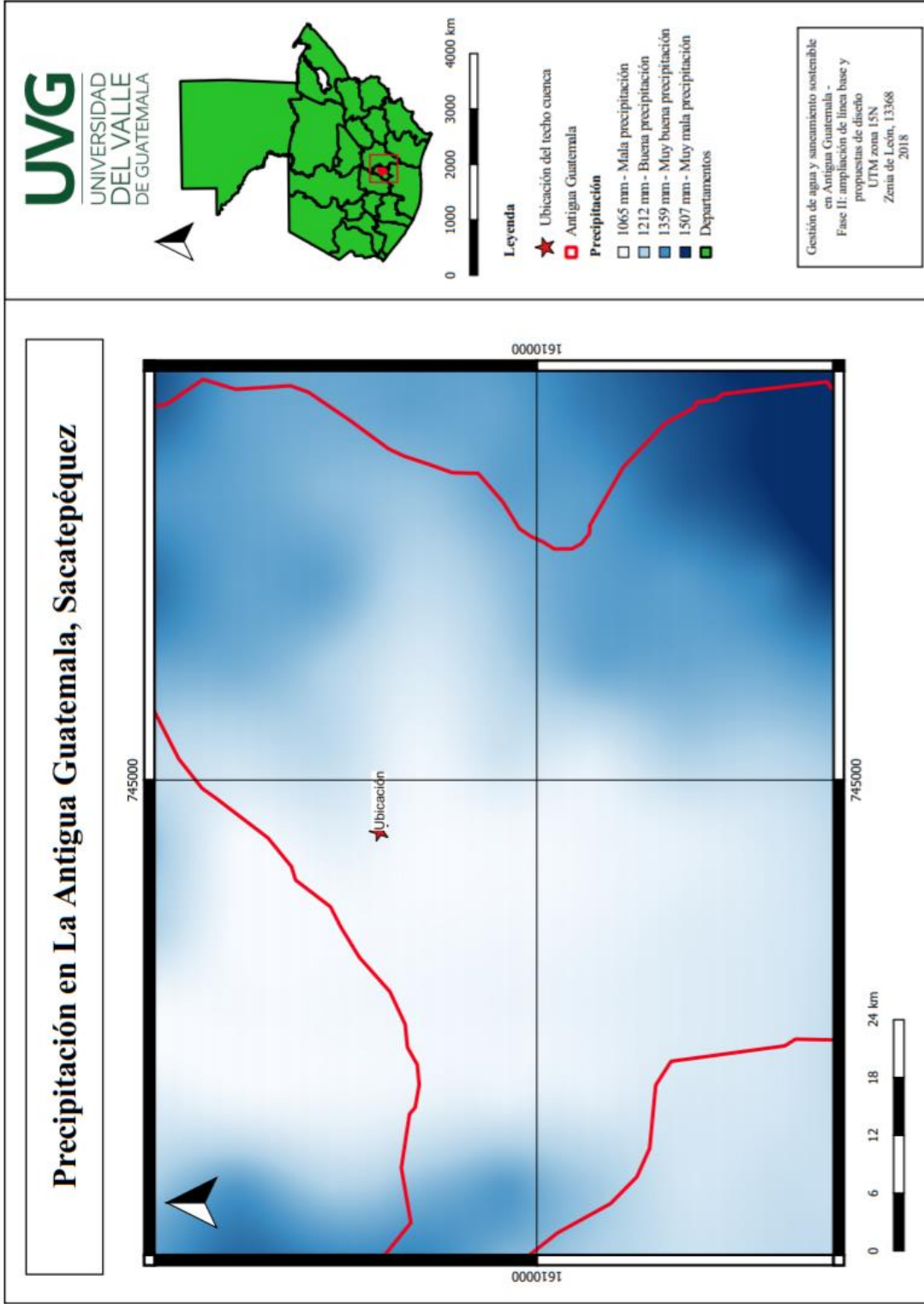
Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Figura 56. Mapa temático de zonas de deslizamiento



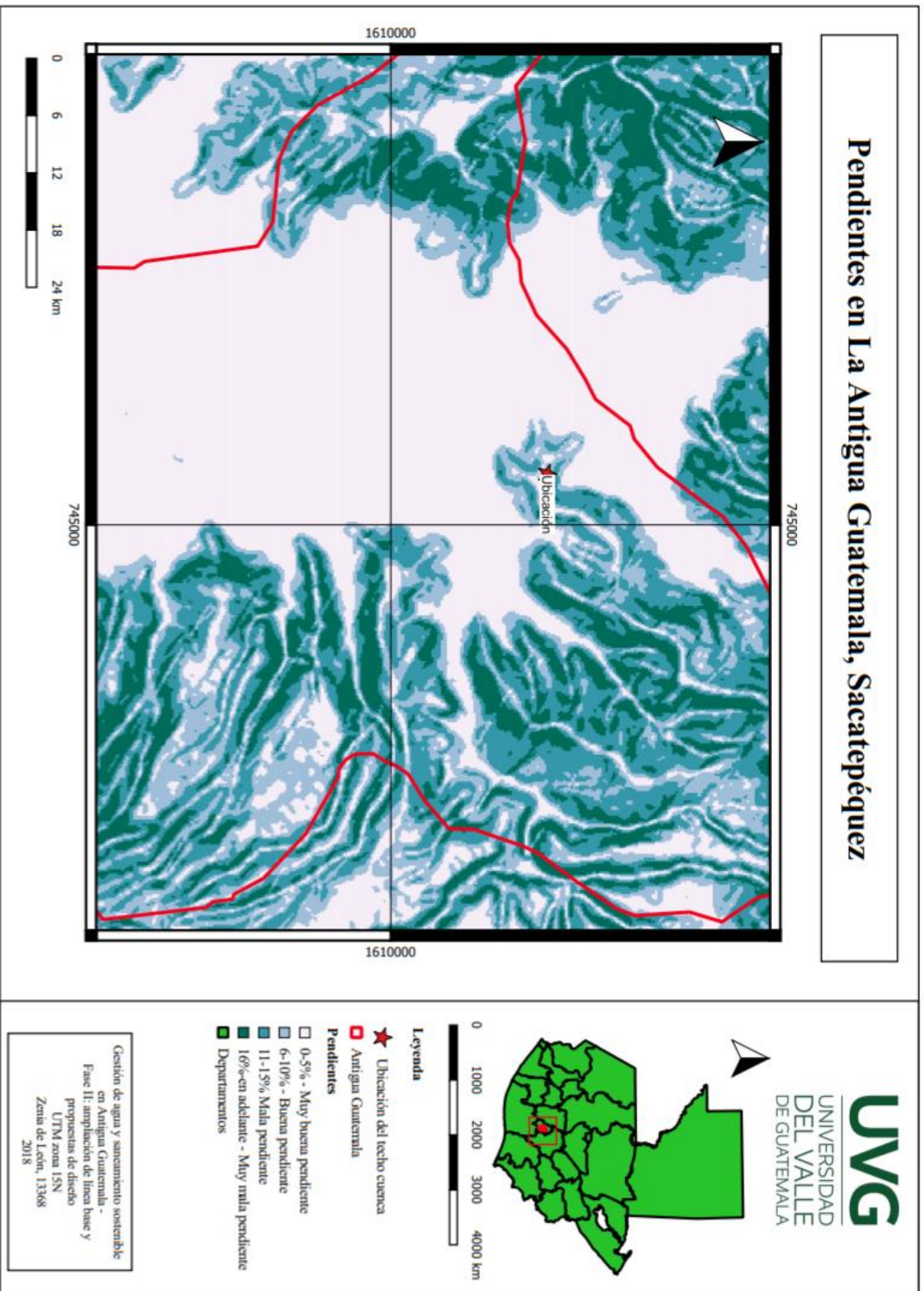
Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Figura 57. Mapa temático de precipitación



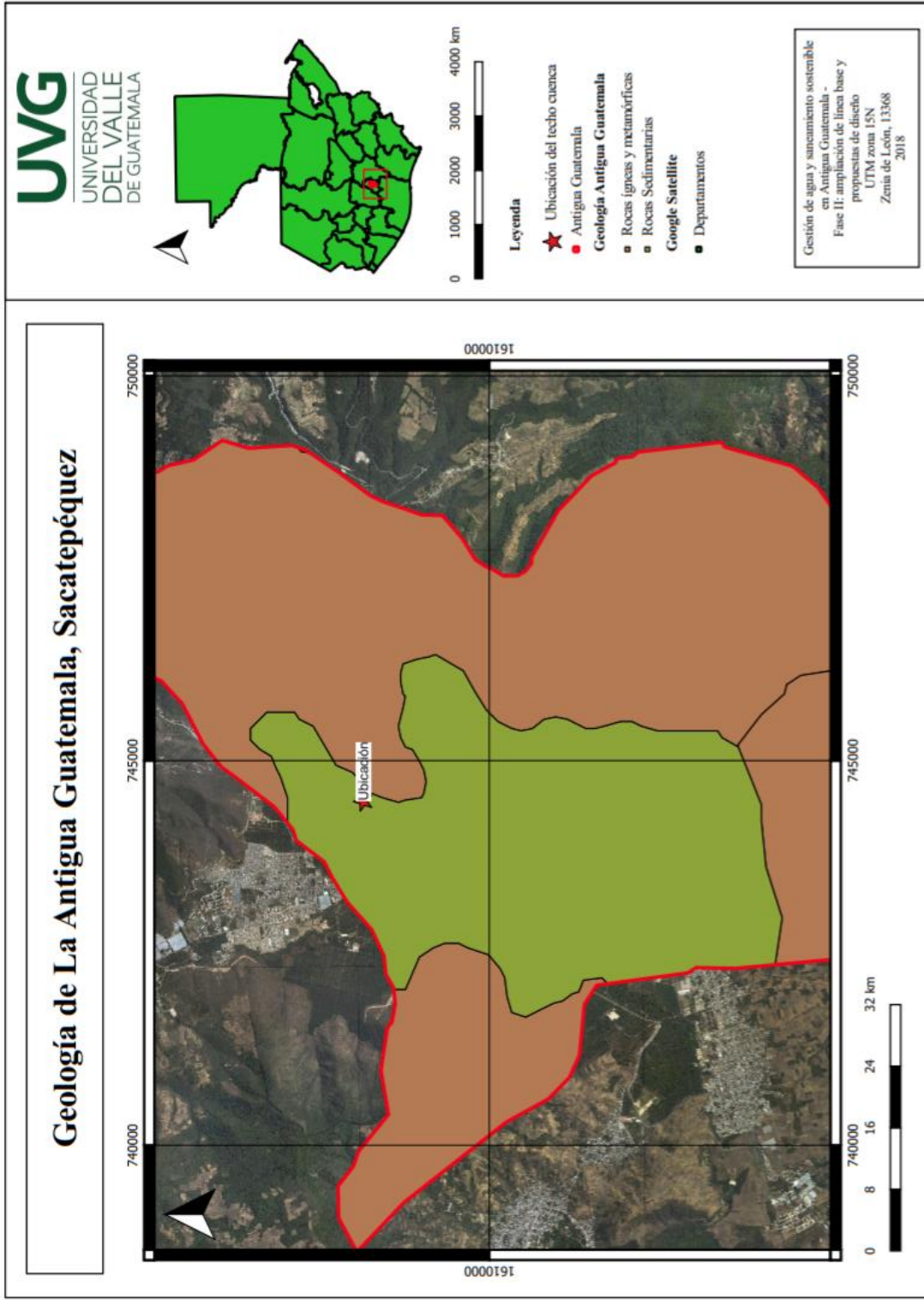
Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Figura 58. Mapa temático de pendientes de Antigua Guatemala



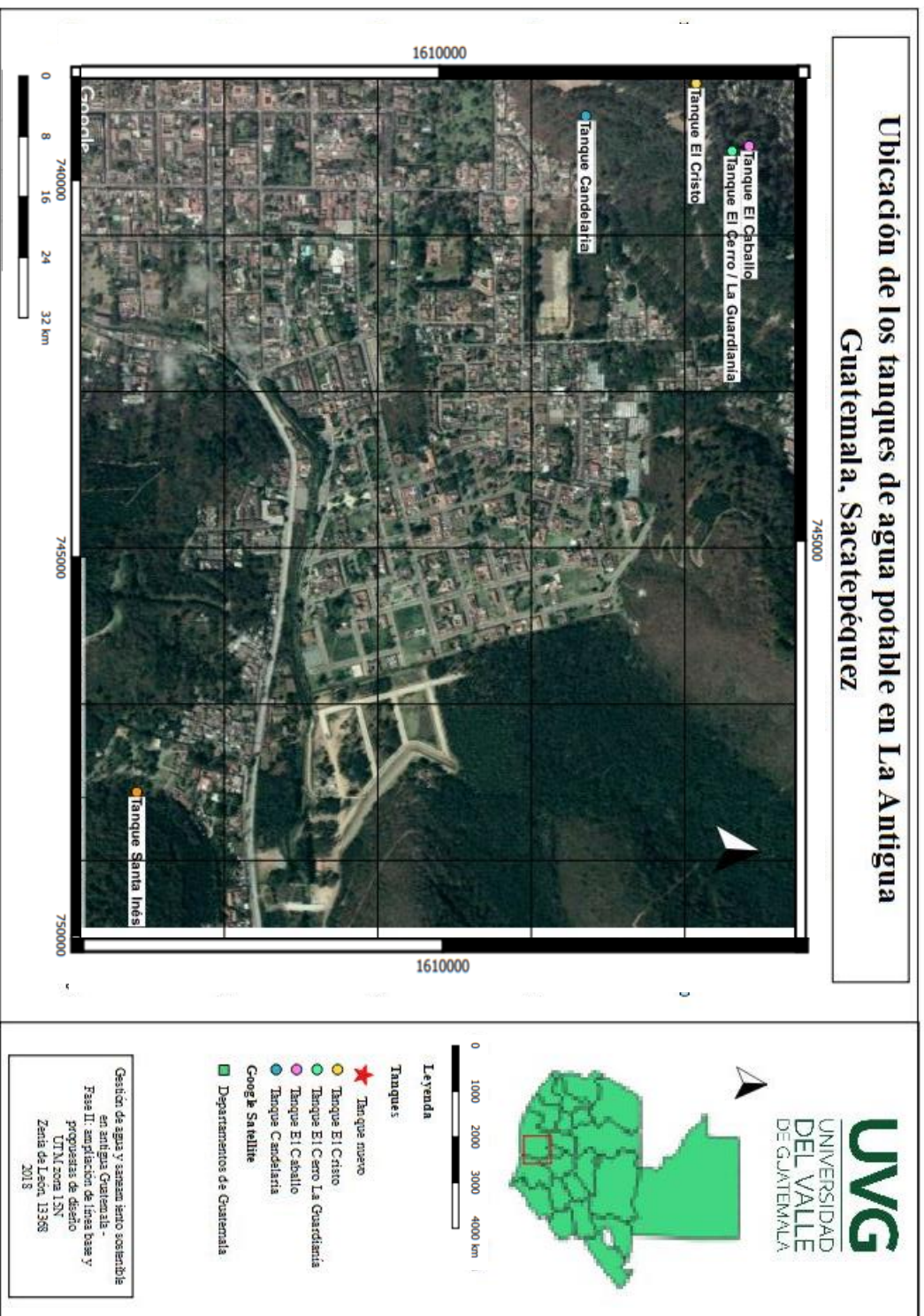
Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Figura 59. Mapa temático de geología de La Antigua Guatemala.



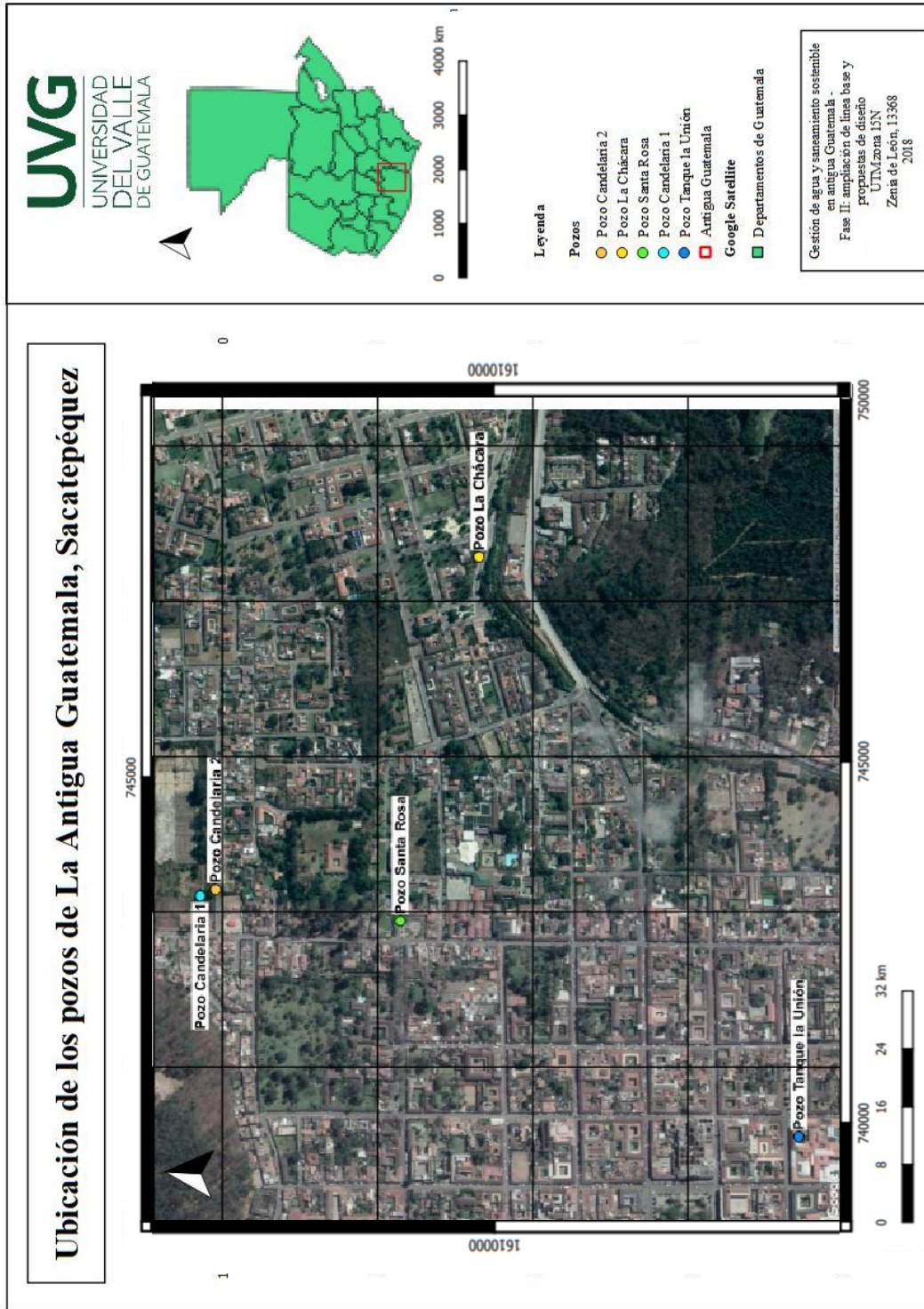
Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Figura 60. Mapa temático de la ubicación de los tanques de agua potable



Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Figura 61. Mapa temático de la ubicación de los pozos de La Antigua Guatemala



Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)







Dato	Valores individuales		Pendiente	Descripción de resultados				Combinación final
	Uso de suelo	Deslizamiento		Precipitación	Uso de suelo	Deslizamiento	Precipitación	
403103	400000	3000	3	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Mala precipitación	Malas pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Mala precipitación, Mala pendiente
403104	400000	3000	4	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Mala precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Mala precipitación, Muy mala pendiente
403201	400000	3000	1	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Buena precipitación	Muy buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Buena precipitación, Muy buena pendiente
403202	400000	3000	2	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Buena precipitación	Buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Buena precipitación, Buena pendiente
403203	400000	3000	3	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Buena precipitación	Mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Buena precipitación, Mala pendiente
403204	400000	3000	4	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Buena precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Buena precipitación, Muy mala pendiente
403301	400000	3000	1	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Muy buena precipitación	Muy buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Muy buena precipitación, Muy buena pendiente
403302	400000	3000	2	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Muy buena precipitación	Buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Muy buena precipitación, Buena pendiente
403303	400000	3000	3	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Muy buena precipitación	Mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Muy buena precipitación, Mala pendiente
403304	400000	3000	4	Muy mal uso de suelo	Medio deslizamiento	Muy buena precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Medio deslizamiento, Muy buena precipitación, Muy mala pendiente
404101	400000	4000	1	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Mala precipitación	Muy buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Mala precipitación, Muy buena pendiente
404102	400000	4000	2	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Mala precipitación	Buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Mala precipitación, Buena pendiente
404103	400000	4000	3	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Mala precipitación	Mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Mala precipitación, Mala pendiente
404104	400000	4000	4	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Mala precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Mala precipitación, Muy mala pendiente
404201	400000	4000	1	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Buena precipitación	Muy buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Buena precipitación, Muy buena pendiente
404202	400000	4000	2	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Buena precipitación	Buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Buena precipitación, Buena pendiente
404203	400000	4000	3	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Buena precipitación	Mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Buena precipitación, Mala pendiente
404204	400000	4000	4	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Buena precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Buena precipitación, Muy mala pendiente
404301	400000	4000	1	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Muy buena precipitación	Muy buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Muy buena precipitación, Muy buena pendiente
404302	400000	4000	2	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Muy buena precipitación	Buena pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Muy buena precipitación, Buena pendiente
404303	400000	4000	3	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Muy buena precipitación	Mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Muy buena precipitación, Mala pendiente
404304	400000	4000	4	Muy mal uso de suelo	Alto deslizamiento	Muy buena precipitación	Muy mala pendiente	Muy mal uso de suelo, Alto deslizamiento, Muy buena precipitación, Muy mala pendiente

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler y Laura María Mérida Cano)

### 3. Líneas de conducción

Cuadro 146. Información de los pozos de La Antigua Guatemala.

Pozos de La Antigua Guatemala					
Nombre	Potencia actual (HP)	Nivel dinámico (m)	Nivel estático (m)	Altitud (m)	Caudal (Lt/seg)
Candelaria 1	100	100	40	1548	12.87
Candelaria 2	100	387	40	1548	13.56
La Chácara	25	500	240	1552	10.47
Parque la Unión	100	90	40	1535	15.27
Santa Rosa	30	98	55	1565	53.37

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 147. Información de bombas de los pozos de La Antigua Guatemala.

Bombas de pozos de La Antigua Guatemala			
Nombre	Potencia (HP)	Presión (psi)	Horas de servicio diario
Candelaria 1	100	75	20
Candelaria 2	100	NM	12
La Chácara	25	70	14
Parque la Unión	100	NM	7
Santa Rosa	30	60	24

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 148. Cálculos para línea de conducción de pozo Candelaria 2.

Predimensionamiento			Datos Generales		
Pozo Candelaria 2 - Tanque			Eficiencia 60%		
Caudal de bombeo	13.56	L/s	Cantidad de tubos (n)	84	m
Caudal medio diario	39.26	L/s	Longitud tubería	506.36	m
Tiempo de bombeo	12	horas	Cota de boca del pozo (bp)	1548.66	m
Estimación de Parámetros			Cota nivel dinámica (Nd)	1161.66	m
Máximo			Cota nivel estático (Ne)	1508.66	m
Mínimo			Cota nivel de toma bomba (Tb)	1548.66	m
Velocidades (m/s)	0.6	2	Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
Diámetros	6.68	3.66	Tubería PVC SDR 32.5		
Cálculo de pérdidas			Coefficiente (C)	150	
Diámetro (in)	Perdida (m)	Potencia	Presión de trabajo (psi)	125	
4	12.03	3.58	Presión de trabajo (m.c.a)	88	
5	4.06	1.21	Diámetro a usar 6 in		
6	1.67	0.5	Potencia de bomba total pozo a tanque		
Potencia de la bomba 149.96			Sobrepresión - Golpe de Ariete		
<b>Carga dinámica total en el sistema 504.157</b>			K =	2.07E+04	kg/m <sup>3</sup>
a) Bp-Nd ( $\Delta H_s$ )	387		E =	3.00E+04	kg/m <sup>3</sup>
b) Pérdidas línea de succión	0		Diámetro interior (Di)	2.095	in
c) Hs-Bp (H)	115.29		Espesor tubería $\epsilon$	0.14	in
d) Pérdidas de carga en línea de	1.67		$\alpha =$	421.95	m/s
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.03		$\Delta P$ ariete	31.99	mca
Velocidad 0.74			<b>Conclusión -</b>		
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.167		Bomba de la boca de pozo a tanque		
Potencia de la bomba 34.85			Longitud tubería 506.36 m		
<b>Carga dinámica total en el sistema 117.157</b>			Cota de boca del pozo (bp) 1548.66 m		
a) Bp-Nd ( $\Delta H_s$ )	0.00		Cota nivel dinámica (Nd) 1548.66 m		
b) Pérdidas línea de succión	0		Cota nivel estático (Ne) 1548.66 m		
c) Hs-Bp (H)	115.29		Cota nivel de toma bomba (Tb) 1548.66 m		
d) Pérdidas de carga en línea de	1.67		Cota tanque de almacenamiento (Hs) 1663.95 m		
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.03				
Velocidad 0.74					
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.167				

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 149. Cálculos para línea de conducción de pozo Candelaria 1.

Predimensionamiento Pozo Candelaria 1 - Tanque			Datos Generales		
Caudal de bombeo	12.87	L/s	Eficiencia	60%	
Caudal medio diario	39.26	L/s	Cantidad de tubos (n)	81	m
Tiempo de bombeo	12	horas	Longitud tubería	485.60	m
Estimación de Parámetros			Cota de boca del pozo (bp)	1548.66	m
	Máximo	Mínimo	Cota nivel dinámica (Nd)	1448.66	m
Velocidades (m/s)	0.6	2	Cota nivel estático (Ne)	1508.66	m
Diámetros	6.51	3.56	Cota nivel de toma bomba (Tb)	1548.66	m
			Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
Cálculo de pérdidas			Tubería	PVC SDR 32.5	
Diámetro (in)	Perdida (m)	Potencia	Coefficiente ( C )	150	
4	10.47	2.96	Presión de trabajo (psi)	125	
5	3.53	1	Presión de trabajo (m.c.a)	88	
6	1.45	0.41	Diámetro a usar	6	in
Potencia de la bomba			Sobrepresión - Golpe de Ariete		
Carga dinámica total en el sistema		62.84	K =	2.07E+04	kg/m <sup>3</sup>
a) Bp-Nd (ΔHs)	100		E =	3.00E+04	kg/m <sup>3</sup>
b) Pérdidas línea de succión	0		Diámetro interior (Di)	2.095	in
c) Hs-Bp (H)	115.29		Espesor tubería €	0.14	in
d) Pérdidas de carga en línea de imp.	6.66		α=	421.95	m/s
e) Pérdidas por velocidad (v <sup>2</sup> /2g)	0.03		ΔP ariete	30.35	mca
	Velocidad	0.71	Conclusión	-	
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.666				

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 150. Cálculos para línea de conducción de pozo Chacará

Predimensionamiento Pozo Chacará - Tanque			Datos Generales		
Caudal de bombeo	10.47	L/s	Eficiencia	60%	
Caudal medio diario	39.26	L/s	Cantidad de tubos (n)	241	m
Tiempo de bombeo	12	horas	Longitud tubería	1447.27	m
Estimación de Parámetros			Cota de boca del pozo (bp)	1552.94	m
	Máximo	Mínimo	Cota nivel dinámica (Nd)	1052.94	m
Velocidades (m/s)	0.6	2	Cota nivel estático (Ne)	1312.94	m
Diámetros	5.87	3.22	Cota nivel de toma bomba (Tb)	1552.94	m
			Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
Cálculo de pérdidas			Tubería	PVC SDR 32.5	
Diámetro (in)	Perdida (m)	Potencia	Coefficiente ( C )	150	
4	12.03	3.58	Presión de trabajo (psi)	125	
5	4.06	1.21	Presión de trabajo (m.c.a)	88	
6	1.67	0.5	Diámetro a usar	5	in
Potencia de la bomba			Sobrepresión - Golpe de Ariete		
Carga dinámica total en el sistema		141.36	K =	2.07E+04	kg/m <sup>3</sup>
a) Bp-Nd (ΔHs)	500		E =	3.00E+04	kg/m <sup>3</sup>
b) Pérdidas línea de succión	0		Diámetro interior (Di)	2.095	in
c) Hs-Bp (H)	111.01		Espesor tubería €	0.14	in
d) Pérdidas de carga en línea de imp.	4.06		α=	421.95	m/s
e) Pérdidas por velocidad (v <sup>2</sup> /2g)	0.03		ΔP ariete	35.57	mca
	Velocidad	0.83	Conclusión	-	
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.406				
Potencia de la bomba			Bomba de la boca de pozo a tanque		
Carga dinámica total en el sistema		26.53	Longitud tubería	1447.27	m
a) Bp-Nd (ΔHs)	0.00		Cota de boca del pozo (bp)	1552.94	m
b) Pérdidas línea de succión	0		Cota nivel dinámica (Nd)	1552.94	m
c) Hs-Bp (H)	111.01		Cota nivel estático (Ne)	1552.94	m
d) Pérdidas de carga en línea de imp.	4.06		Cota nivel de toma bomba (Tb)	1552.94	m
e) Pérdidas por velocidad (v <sup>2</sup> /2g)	0.03		Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
	Velocidad	0.83			
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.406				

Fuente: (Zenia Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 151. Cálculos para línea de conducción de pozo Parque La Unión

Predimensionamiento Pozo Parque La Unión - Tanque			Datos Generales		
Caudal de bombeo	15.27	L/s	Eficiencia	60%	
Caudal medio diario	39.26	L/s	Cantidad de tubos (n)	271	m
Tiempo de bombeo	12	horas	Longitud tubería	1623.22	m
Estimación de Parámetros			Cota de boca del pozo (bp)	1535.74	m
	Máximo	Mínimo	Cota nivel dinámica (Nd)	1445.74	m
Velocidades (m/s)	0.6	2	Cota nivel estático (Ne)	1495.74	m
Diámetros	7.09	3.88	Cota nivel de toma bomba (Tb)	1535.74	m
Cálculo de pérdidas			Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
Diámetro (in)	Perdida (m)	Potencia	Tubería PVC SDR 32.5		
4	48.03	16.08	Coefficiente ( C )	150	
5	16.2	5.42	Presión de trabajo (psi)	125	
6	6.66	2.23	Presión de trabajo (m.c.a)	88	
Potencia de la bomba			Diámetro a usar	6	in
Carga dinámica total en el sistema	75.53		Bomba multietapas trifasica		
a) $B_p - N_d$ ( $\Delta H_s$ )	90		Sobrepresión - Golpe de Ariete		
b) Pérdidas línea de succión	0		K =	2.07E+04	kg/m <sup>3</sup>
c) $H_s - B_p$ (H)	128.21		E =	3.00E+04	kg/m <sup>3</sup>
d) Pérdidas de carga en línea de imp.	6.66		Diámetro interior (Di)	2.095	in
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.04		Espesor tubería €	0.14	in
Velocidad	0.84		$\alpha =$	421.95	m/s
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.666		$\Delta P$ ariete	36.01	mca
			<b>Conclusión</b> -		

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

Cuadro 152. Cálculos para línea de conducción de pozo Santa Rosa

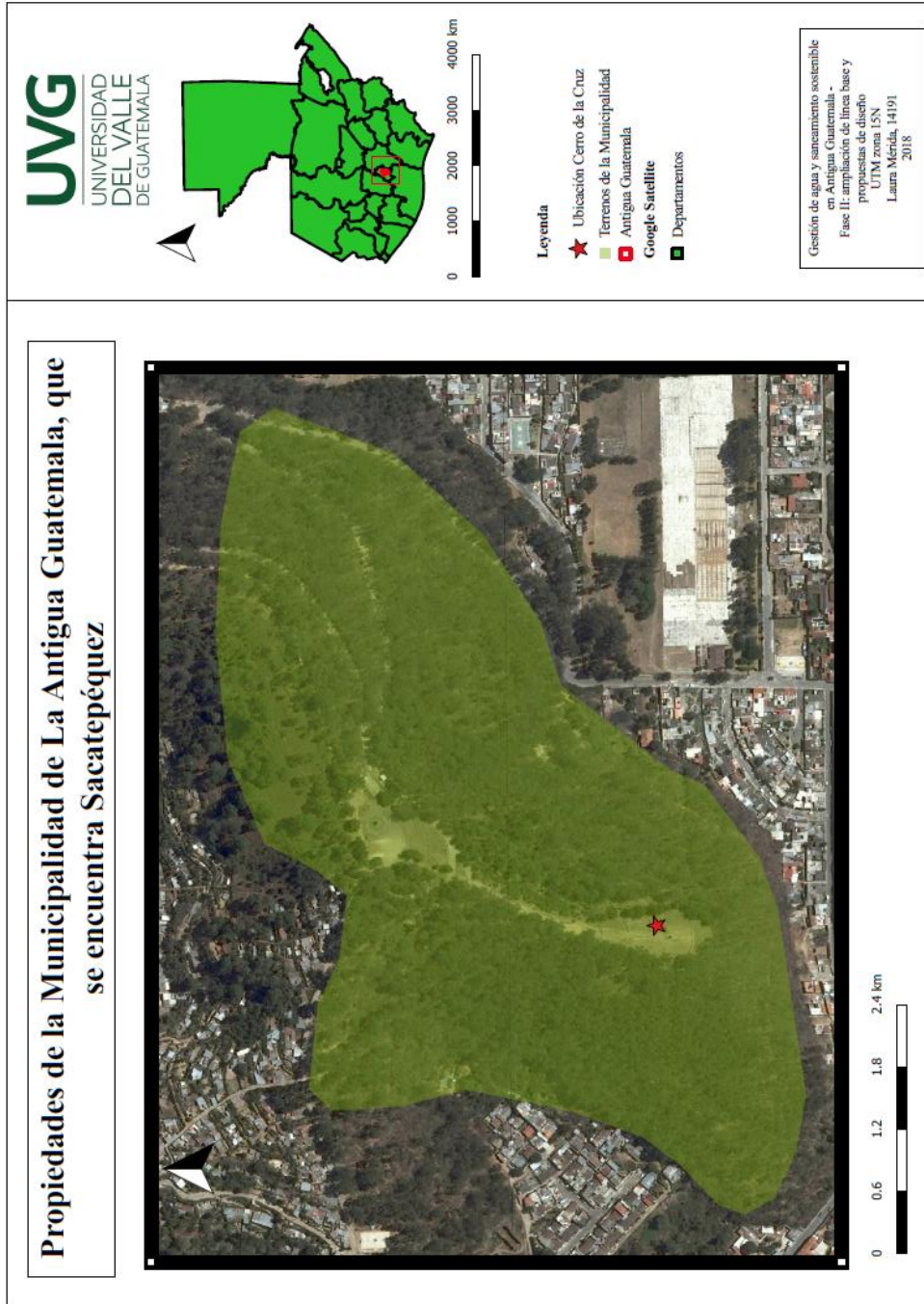
Predimensionamiento Pozo Santa Rosa - Tanque			Datos Generales		
Caudal de bombeo	26.34	L/s	Eficiencia	60%	
Caudal medio diario	39.26	L/s	Cantidad de tubos (n)	124	m
Tiempo de bombeo	12	horas	Longitud tubería	745.54	m
Estimación de Parámetros			Cota de boca del pozo (bp)	1544.27	m
	Máximo	Mínimo	Cota nivel dinámica (Nd)	1446.27	m
Velocidades (m/s)	0.6	2	Cota nivel estático (Ne)	1489.27	m
Diámetros	9.31	5.1	Cota nivel de toma bomba (Tb)	1544.27	m
Cálculo de pérdidas			Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
Diámetro (in)	Perdida (m)	Potencia	Tubería PVC SDR 32.5		
6	1.67	0.5	Coefficiente ( C )	150	
8	0.41	0.12	Presión de trabajo (psi)	125	
10	0.14	0.04	Presión de trabajo (m.c.a)	88	
Potencia de bomba total pozo a tanque			Diámetro a usar	8	in
Potencia de la bomba	126.04		Sobrepresión - Golpe de Ariete		
Carga dinámica total en el sistema	218.161		K =	2.07E+04	kg/m <sup>3</sup>
a) $B_p - N_d$ ( $\Delta H_s$ )	98		E =	3.00E+04	kg/m <sup>3</sup>
b) Pérdidas línea de succión	0		Diámetro interior (Di)	2.095	in
c) $H_s - B_p$ (H)	119.68		Espesor tubería €	0.14	in
d) Pérdidas de carga en línea de	0.41		$\alpha =$	421.95	m/s
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.03		$\Delta P$ ariete	34.95	mca
Velocidad	0.81		<b>Conclusión</b> -		
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.041		Bomba de la boca de pozo a tanque		
Potencia de la bomba			Longitud tubería	745.54	m
Carga dinámica total en el sistema	69.42		Cota de boca del pozo (bp)	1544.27	m
a) $B_p - N_d$ ( $\Delta H_s$ )	0.00		Cota nivel dinámica (Nd)	1544.27	m
b) Pérdidas línea de succión	0		Cota nivel estático (Ne)	1544.27	m
c) $H_s - B_p$ (H)	119.68		Cota nivel de toma bomba (Tb)	1544.27	m
d) Pérdidas de carga en línea de	0.41		Cota tanque de almacenamiento (Hs)	1663.95	m
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.03				
Velocidad	0.81				
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	0.041				

Fuente: (Zenía Elizabeth de León Kestler)

B. Diseño del sistema captación y reúso de agua de lluvia en La Antigua Guatemala

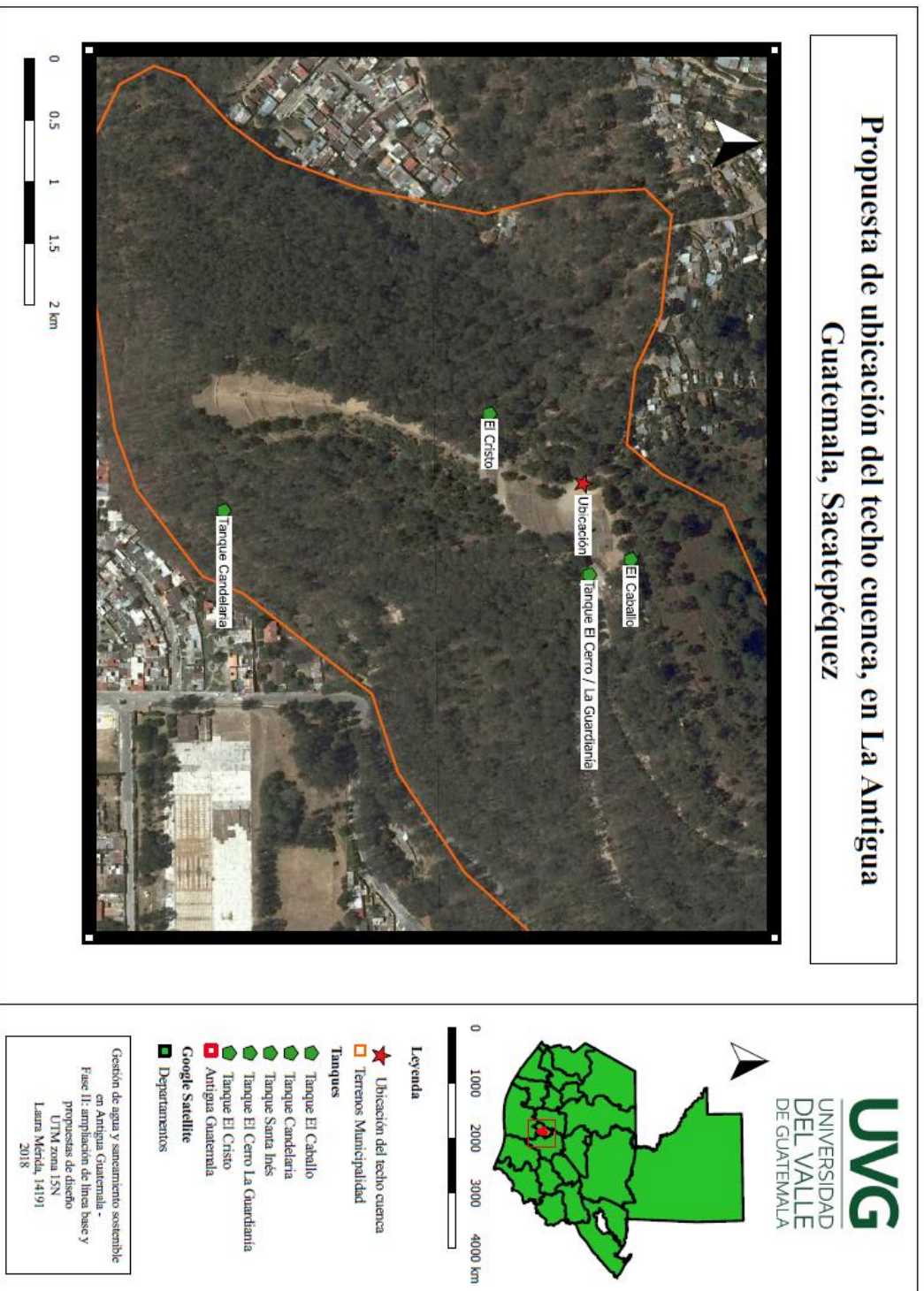
1. Mapas temáticos

Figura 62. Mapa temático de los terrenos disponibles en el cerro de la Cruz



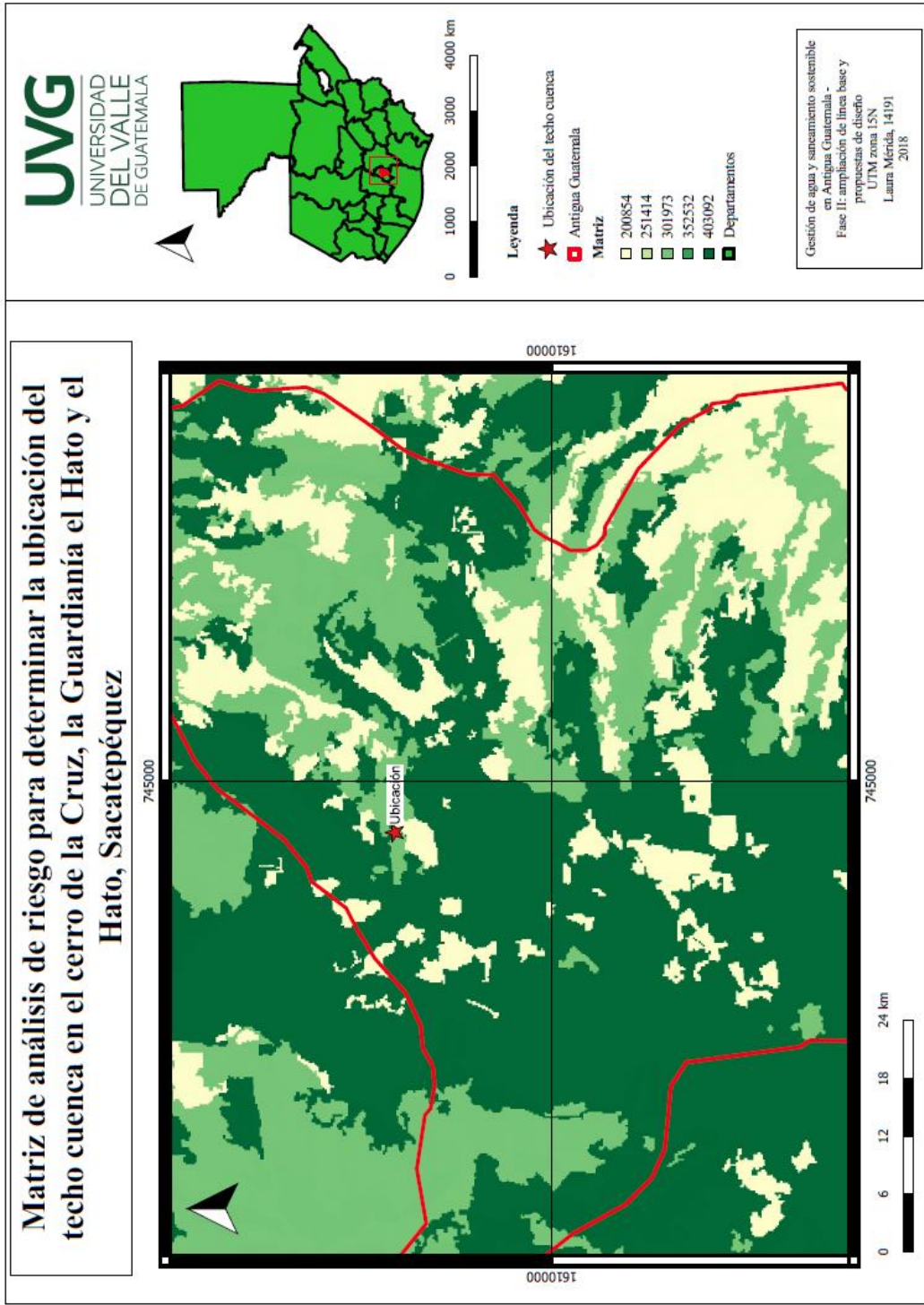
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 63. Mapa temático de la ubicación propuesta para el techo cuenca



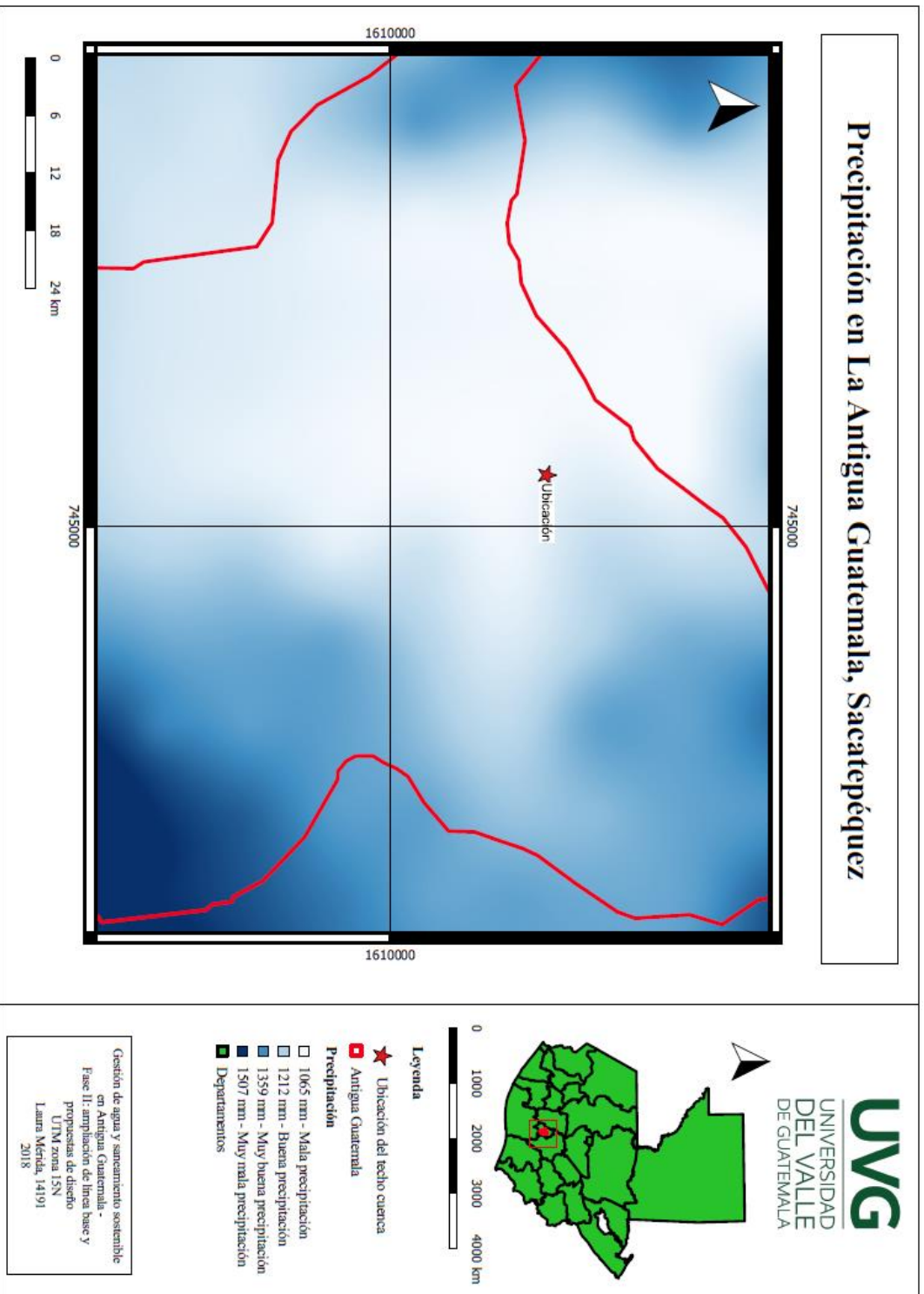
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 64. Mapa temático de la matriz de análisis de riesgo



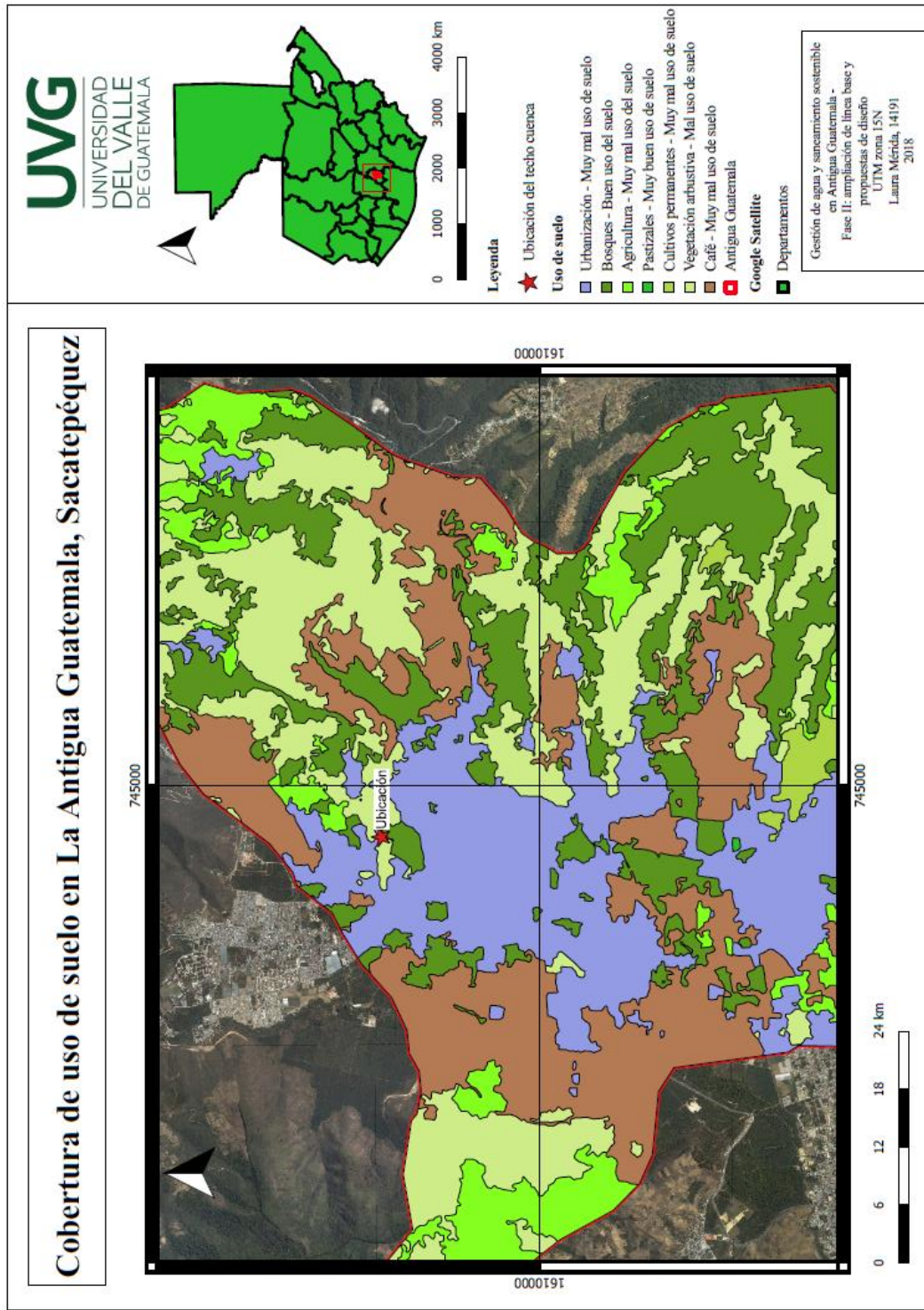
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 65. Mapa temático de la precipitación.



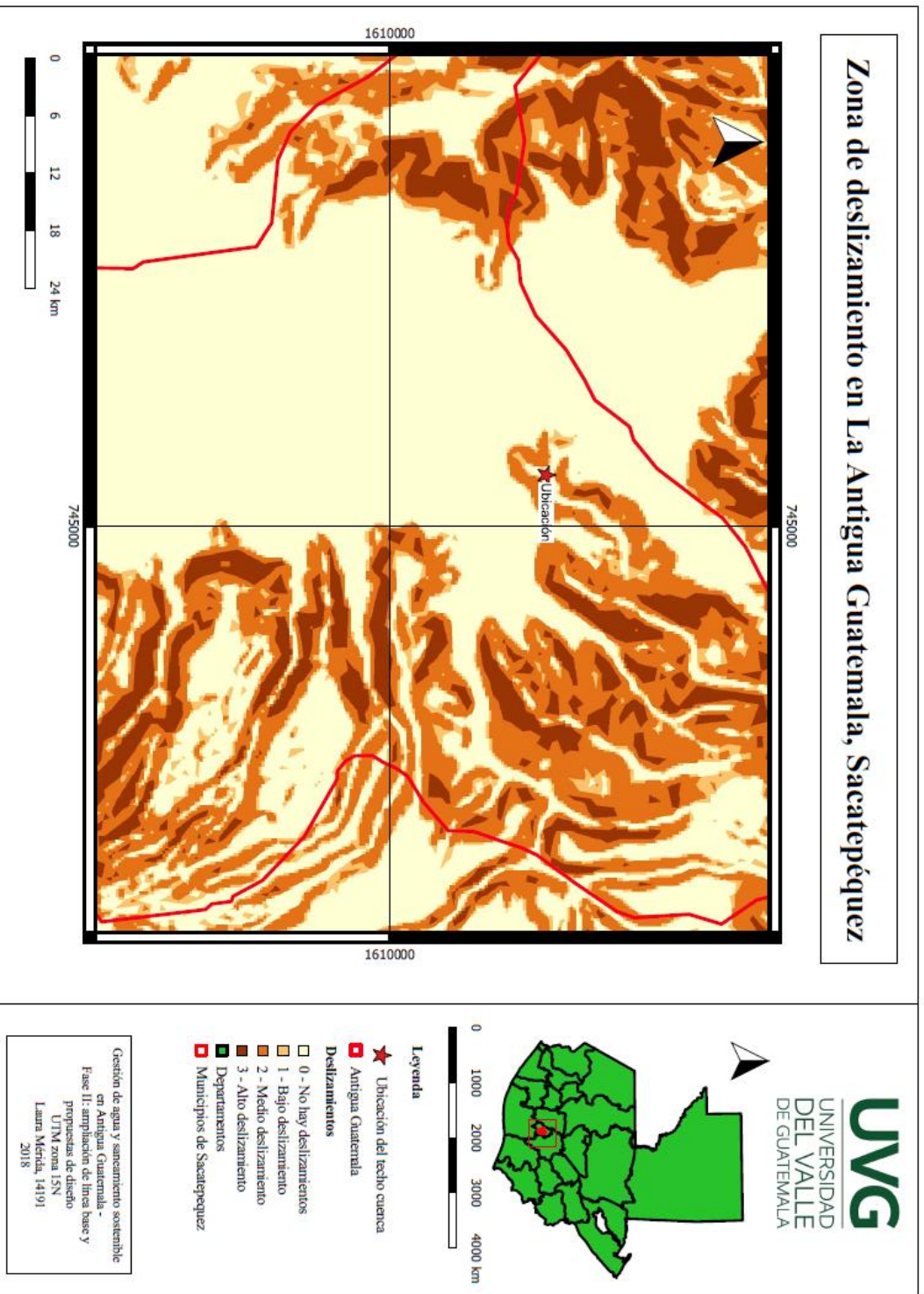
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 66. Mapa temático de cobertura de uso de suelo.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

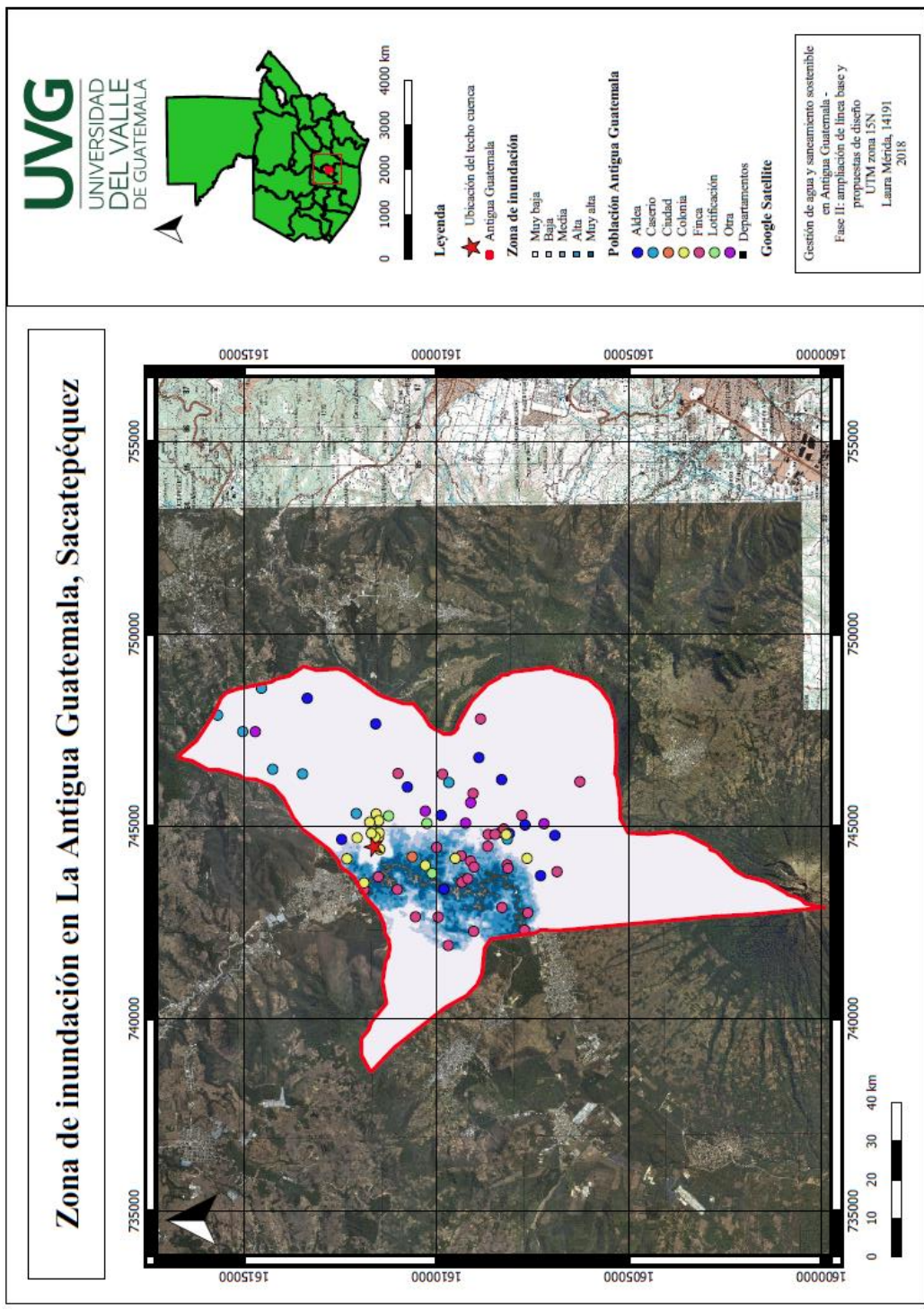
Figura 67. Mapa temático de zona de deslizamientos.



Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase II: ampliación de línea base y propuestas de diseño UTM zona 15N Laura Mérida, 14191 2018

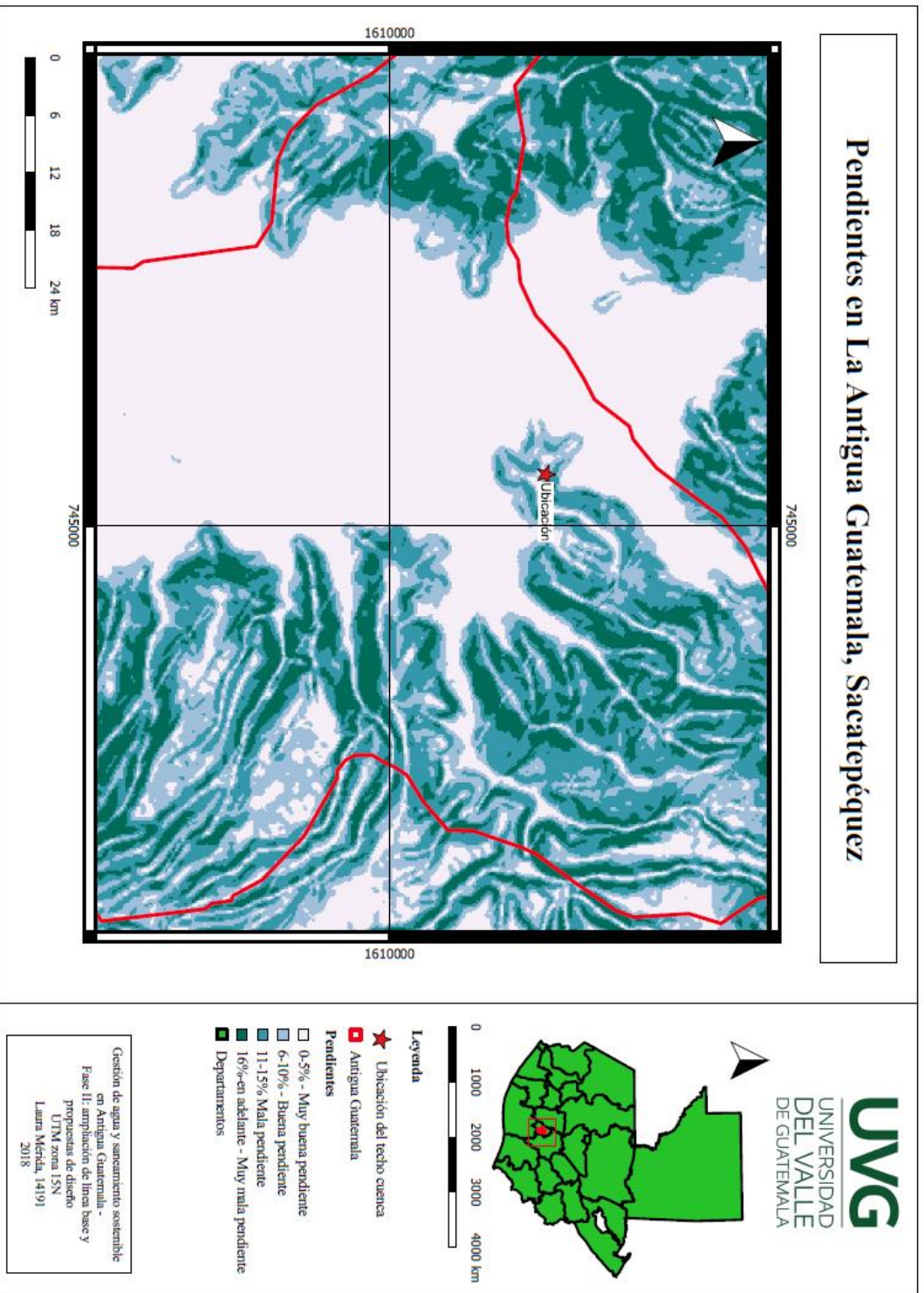
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 68. Mapa temático de la zona de inundación.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

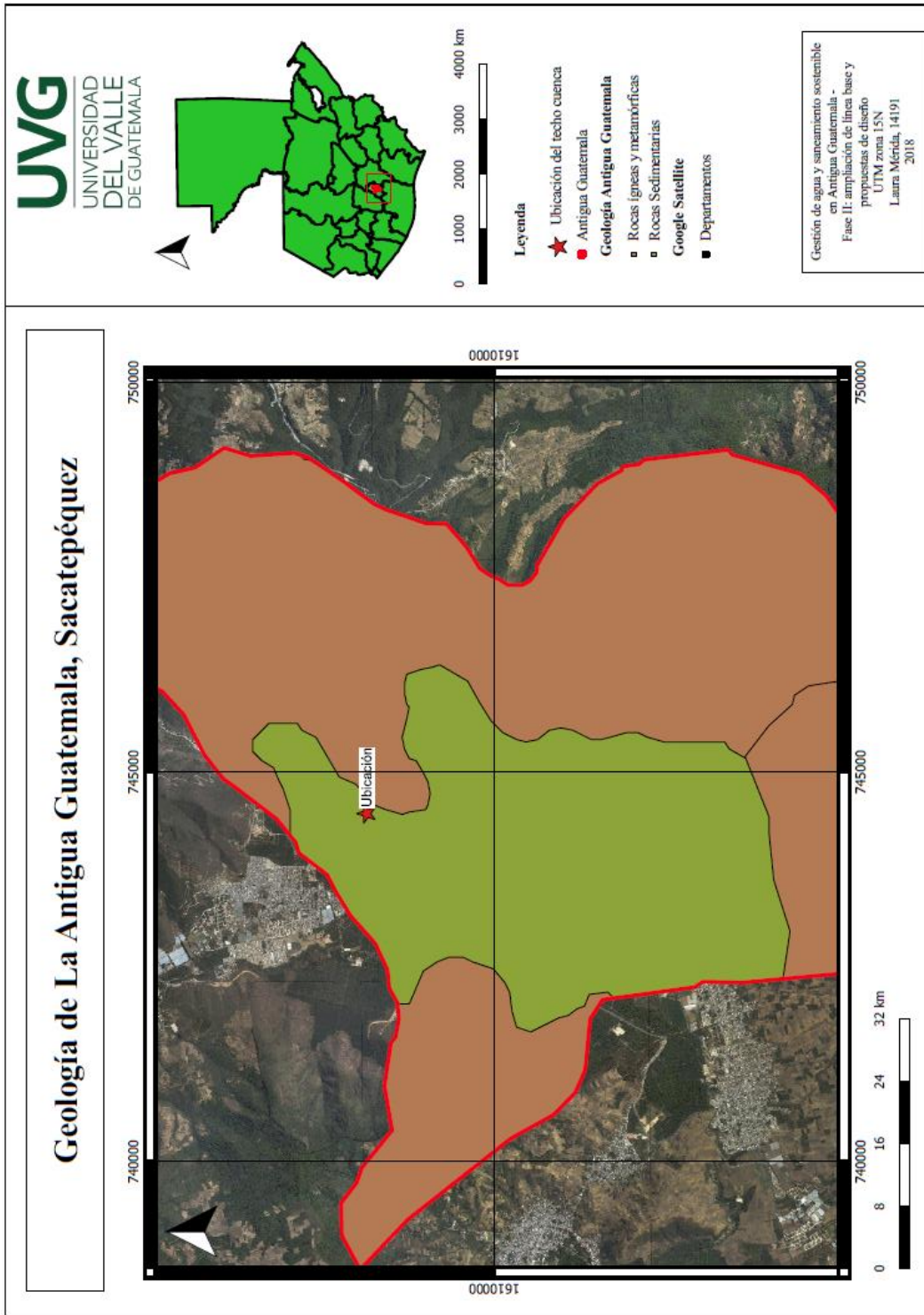
Figura 69. Mapa temático de pendientes.



Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase II: ampliación de línea base y propuestas de diseño UTM zona 15N Laura Mérida, 14191 2018

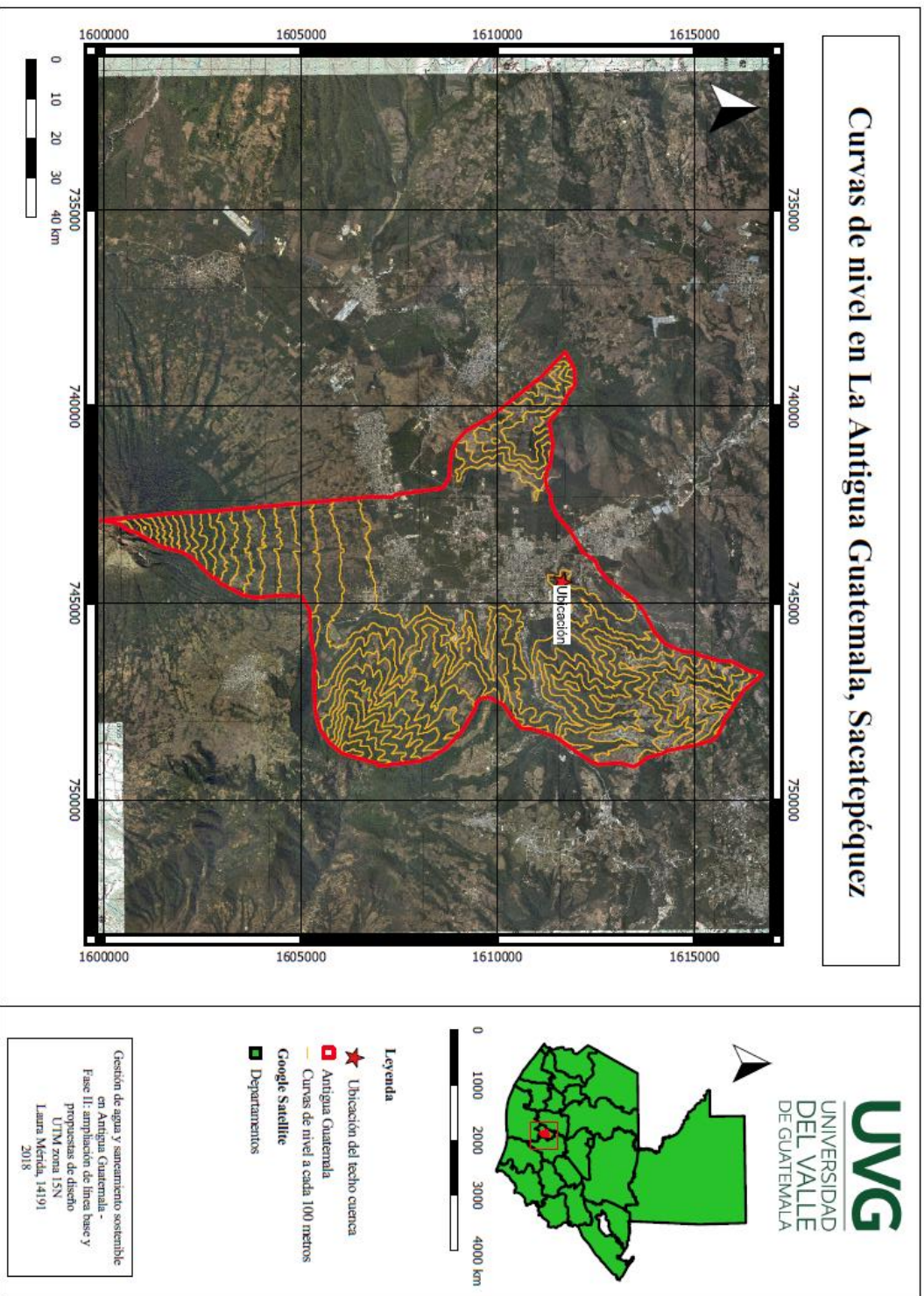
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 70. Mapa temático de la geología.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 71. Mapa temático de curvas de nivel.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

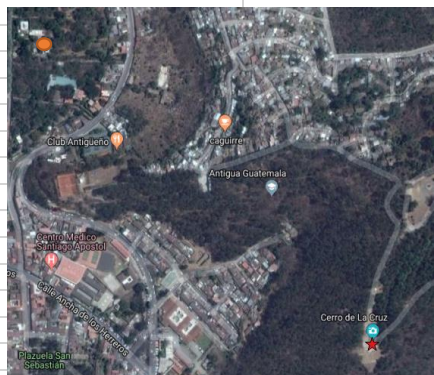
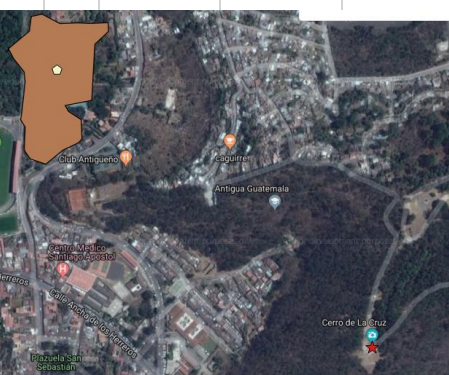
2. Propuestas para el reúso del agua de lluvia recolectada en el techo cuenca

Cuadro 153. Propuesta para el reúso de agua para limpiar calles en La Antigua Guatemala.

Propuesta No. 1: Hidrolavadora - Fundación Valle del Panchoy		
Especificaciones		Fotografías
Modelo	SS Series - Mobile Wash Skid	
Serie	SS35004VG	
Año	2012	
Presión	3,500	psi
Volumen de almacenaje:	3	m <sup>3</sup>
Capacidad de flujo:	4	gpm
Manguera de presión:	3/8" x 50', 4000	psi
Boquilla:	Tamaño 4 (15°, 40°) y (25° vapor)	
Combustible:	Gasolina	
Combustible del calentador de agua:	Diesel	
<b>Encargado de la hidrolavadora y limpieza</b>		
Encargado:	Francisco Galindo	
Teléfono:	5580-2864	
<b>Consumo en Antigua Guatemala</b>		
Cantidad de días que se usa a la semana:	3	
Días:	Lunes, miércoles y viernes	
Agua utilizada por día:	0.62	m <sup>3</sup>
Cantidad de agua usada a la semana:	1.87	m <sup>3</sup>
Cantidad de agua usada al mes:	7.50	m <sup>3</sup>
Cantidad de agua usada al año:	89.94	m <sup>3</sup>
<b>Mapa de rutas de lavado y limpieza</b>		
		<b>Observaciones</b>
		<p>La fundación Valle del Panchoy utiliza agua de la finca "la Azotea". Recaudan fondos provenientes de patrocinadores, los cuales son dueños de tiendas alrededor del casco urbano. La fundación cuenta con 7 personas, ellos lavan y limpian las calles, que se representan en el mapa adjunto. Igualmente, ayudan a limpiar el Parque Central y la Unión. Sin embargo, si les solicitan una colaboración con la limpieza de iglesias, otros parques o calles ellos lo hacen a solicitud del patrocinador.</p>



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 154. Propuesta para el reúso de agua para riego de café.

Propuesta No. 2: Riego de café			
Especificaciones			Observaciones
Agua requerida por manzana en cada aspersión (Anacafé, 2018)	125	gal	Se seleccionó el café para riego, por sobresalir en la producción agrícola de Sacatepéquez, se estima que se producen al año 124,946.40 quintales de café (SEGEPLAN, 2016).  Se consideró 5 manzanas, debido a que el terreno más cercano al cerro de la Cruz, posee 4.34 manzanas, este se ubica en el cerro de San Felipe.
Riego a la semana:	2	veces	
Consumo en Antigua Guatemala			
No. de manzanas consideradas para la captación:	5	mz	
Terreno en m <sup>2</sup> :	35,280.00	m <sup>2</sup>	
Volumen considerado por aspersión:	2.37	m <sup>3</sup>	
Volumen de riego al mes:	18.93	m <sup>3</sup>	
Volumen de riego al año:	227.12	m <sup>3</sup>	
Ubicación:	Cerro San Felipe		
Mapas de la zona de café considerada para el diseño de captación			
			

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 155. Propuesta No. 3, reúso de agua para cubrir un incendio al año

Propuesta No. 3: Incendio			
Información de CONRED (2018)			Observaciones
Incendios 2017-2018	364		Por lo general, los Bomberos Voluntarios utilizan 2 motobombas, las cuales pueden acarrear 1,500 gal c/u, para acabar con un incendio promedio. Un incendio promedio abarca 60mx60m, equivalente a 3,600 m <sup>2</sup> .
Temporada de incendios forestales	Noviembre a junio		
Incendios en Sacatepéquez en este período:	2		
Probabilidad de ocurrencia:	0.55%		
Consideraciones en el diseño			
No. de Incendios considerados en el diseño	1	por año	 
Agua utilizada en un incendio promedio:	3,000.00	gal	
Agua captada al año para 1 incendio:	11.36	m <sup>3</sup>	
Agua captada al mes para 1 incendio:	0.95	m <sup>3</sup>	

(Paniagua, 2017).

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

### 3. Cálculos de precipitación

Cuadro 156. Datos de precipitación de la estación meteorológica Suiza Contenta

Mes	Precipitación (mm)									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	1.3	0	0.6	0.9	6.2	3.2	0.0	0.7	1.1	0.4
Febrero	5.4	6.2	0.0	5.6	15.0	3.3	0.0	2.5	2.5	2.9
Marzo	4.0	1.9	0.3	6.9	3.7	3.9	0.0	10.9	4.5	25.5
Abril	9.5	4.7	40.5	19.3	75.1	20.9	26.2	47.2	25.1	48.8
Mayo	108.0	137.9	307.5	17.8	193.6	157.2	72.9	164.3	6.9	127.3
Junio	432.8	187.7	227.6	270.7	126.3	152.0	342.0	198.6	328.6	233.4
Julio	367.9	99.8	222.7	314.2	105.7	289.0	24.7	152.9	115.9	173.0
Agosto	171.7	151.6	353.9	282.8	264.2	265.5	130.2	67.5	176.3	153.3
Septiembre	282.7	121.6	253.4	98	161.5	190.8	272.0	382.3	257.4	249.5
Octubre	124.5	69.5	62.5	279.2	99.0	241.2	192.2	182.3	17.2	102.6
Noviembre	0.0	123.5	19.1	20.4	3.6	0.7	7.8	103.6	24.5	3.1
Diciembre	0.0	38.9	9.0	2.1	3.6	3.2	2.2	0.7	9.3	1.0

Fuente: (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, 2014)

Cuadro 157. Precipitaciones promedio mensual durante los 10 años evaluados.

Precipitación promedio	
Mes	Precipitación promedio (mm)
Enero	1.44
Febrero	4.34
Marzo	6.16
Abril	31.73
Mayo	129.34
Junio	249.97
Julio	186.58
Agosto	201.70
Septiembre	226.92
Octubre	137.02
Noviembre	30.63
Diciembre	7.00
<b>Promedio anual</b>	<b>101.07</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>8.42</b>

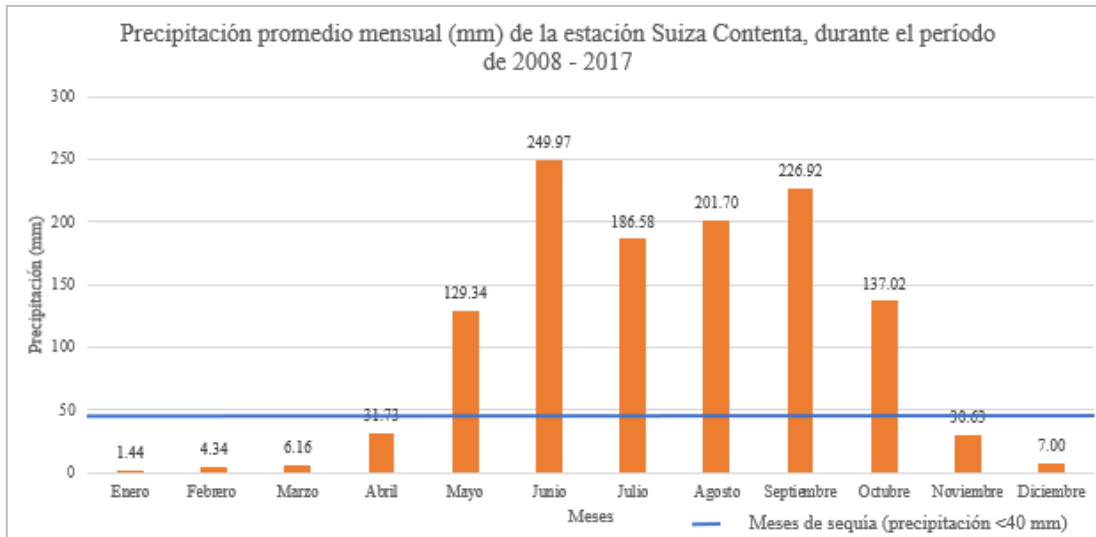
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 158. Cálculo del área de captación y volumen del tanque del almacenamiento

Mes	Precipitación Promedio (mm)	Oferta de agua de lluvia (m <sup>3</sup> )		Demanda de la Población (m <sup>3</sup> )		Diferencia entre oferta acumulada y demanda acumulada (m <sup>3</sup> )
		Parcial	Acumulada	Acumulada Parcial	Acumulada	
Junio	249.97	67.99	67.99	27.38	27.38	40.61
Septiembre	226.92	61.72	129.71	27.38	54.76	74.96
Agosto	201.70	54.86	184.58	27.38	82.13	102.44
Julio	186.58	50.75	235.33	27.38	109.51	125.81
Octubre	137.02	37.27	272.60	27.38	136.89	135.71
Mayo	129.34	35.18	307.78	27.38	164.27	<b>143.51</b>
Abril	31.73	8.63	316.41	27.38	191.65	124.76
Noviembre	30.63	8.33	324.74	27.38	219.02	105.71
Diciembre	7.00	1.90	326.64	27.38	246.40	80.24
Marzo	6.16	1.68	328.32	27.38	273.78	54.54
Febrero	4.34	1.18	329.50	27.38	301.16	28.34
Enero	1.44	0.39	329.89	27.38	328.54	1.35

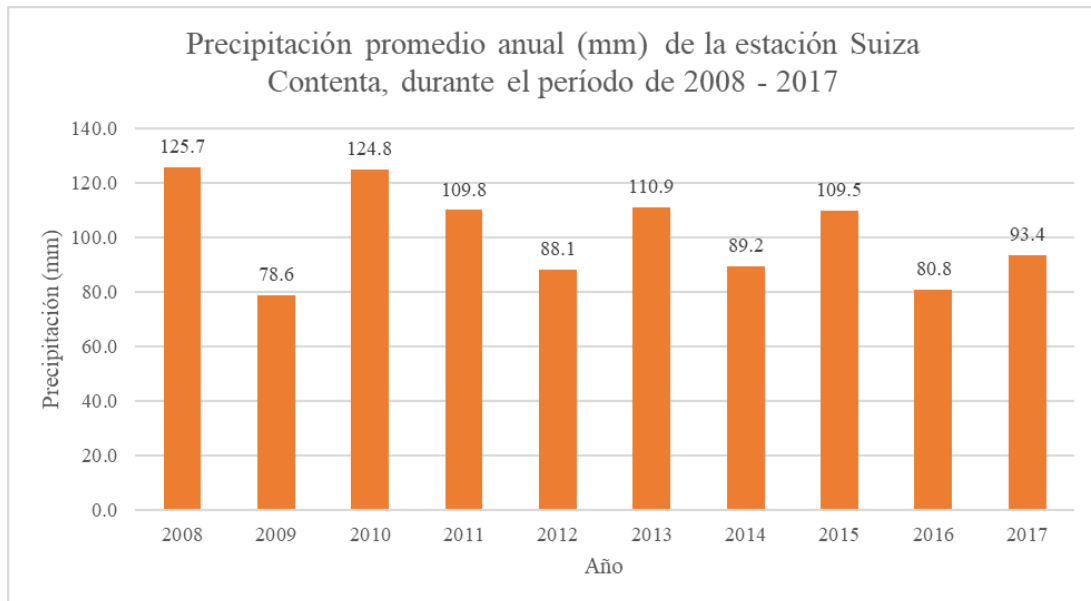
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 72. Precipitación promedio mensual de la estación Suiza Contenta.



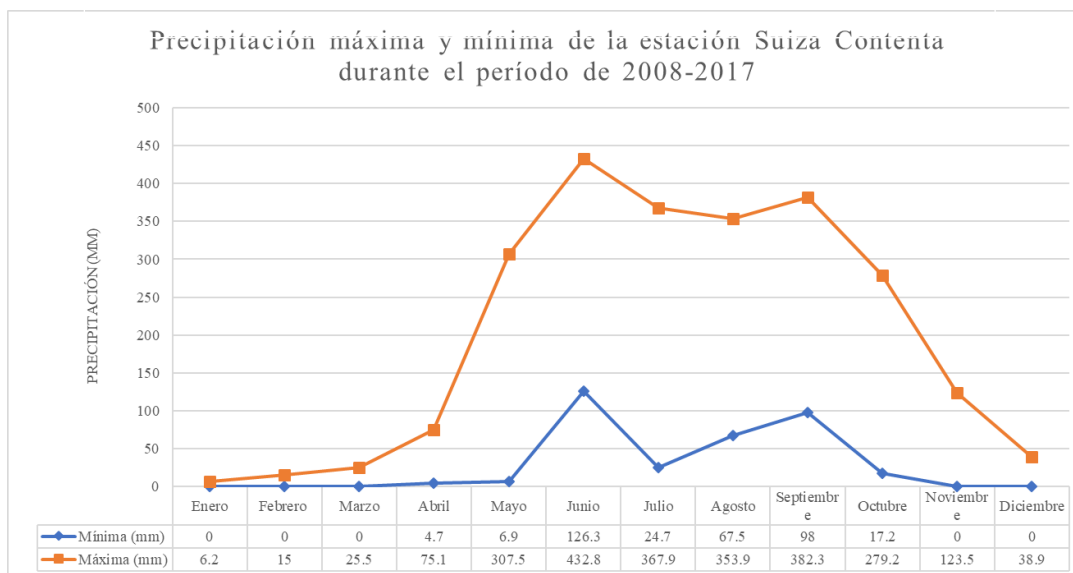
Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 73. Precipitación promedio anual de la estación Suiza Contenta.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 74. Precipitación máxima y mínima de la estación Suiza Contenta.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

#### 4. Cálculos hidráulicos

Cuadro 159. Diseño de la canaleta.

Diseño de Canaleta		
Long. Tramo largo de escorrentía:	14	m
Pendiente (lámina galvanizada)	0.05	
<b>Tiempo de concentración:</b>	<b>0.0079</b>	<b>h</b>
<b>Tiempo de concentración:</b>	<b>28</b>	<b>s</b>
<b>Tiempo de máx. escurrimiento:</b>	<b>0.182</b>	<b>h</b>
<b>Tiempo de máx. escurrimiento:</b>	<b>10.92</b>	<b>min</b>
<b>Tiem. para drenar todos los escurrim.</b>	<b>0.49</b>	<b>h</b>
<b>Tiem. para drenar todos los escurrim.</b>	<b>29.16</b>	<b>min</b>
Precipitación anual o efectiva	101.07	mm
Área de captación:	0.000175	km <sup>2</sup>
<b>Caudal máximo esperado para el área</b>	<b>0.027</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Caudal máx. para las 2 aguas:</b>	<b>0.05</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Velocidad promedio:	1.2	m/s
<b>Área de la canaleta:</b>	<b>0.05</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

Canaleta propuesta			
	Tipo	trapezoidal	
	b=	0.4	m
	y=	0.2	m
	z=	0.5	
<b>Área de la canaleta=</b>		<b>0.10</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Condición</b>		<b>OK</b>	
	Calibre	22	
	Espesor	0.8	mm
	Peso=	3.8	kg/m
	Longitud de venta=	6	m

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 160. Intensidades de lluvia para las estaciones meteorológicas

Intensidad de lluvia				
Estación INSIVUMEH				
Tr (período de retorno)=	5	10	20	años
A	7997	1345	720	
B	30	9	2	
n	1.161	0.791	0.637	
R2	0.991	0.982	0.981	
<b>I<sub>tr</sub> (mm/h) =</b>	<b>32.89</b>			
Estación Puerto San José				
Tr (período de retorno)=	5	10	20	años
A	10863	4E+05	145300	
B	60	140	140	
n	1.05	1.595	1.383	
R2	0.976	0.964	0.93	
<b>I<sub>tr</sub> (mm/h) =</b>	<b>66.73</b>			

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Figura 75. Curvas DIF de la estación INSIVUMEH.

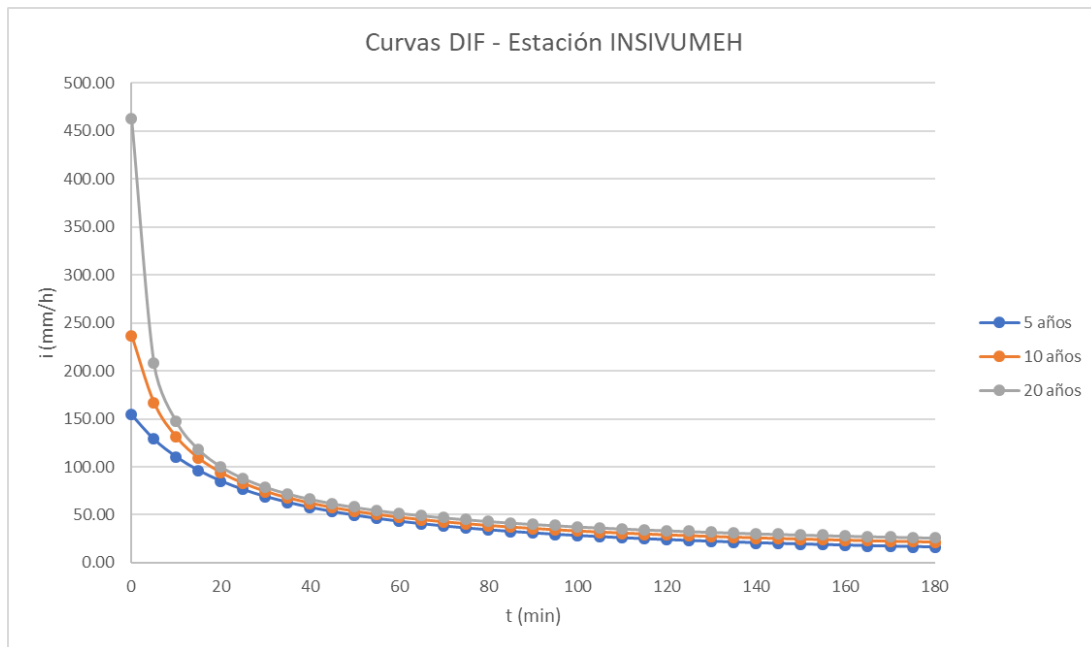
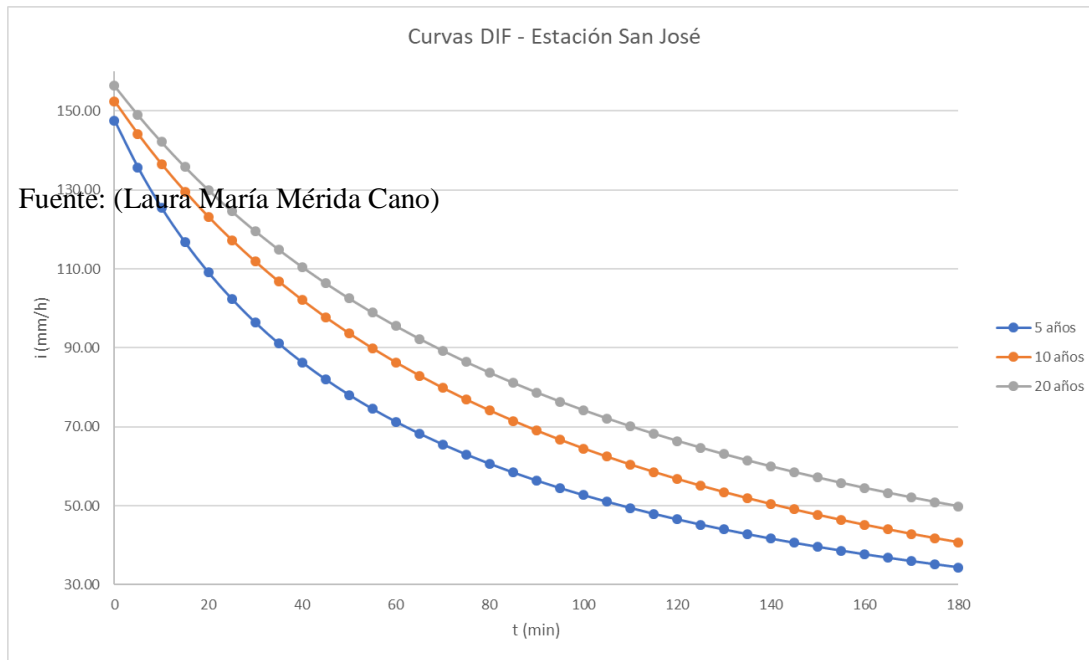


Figura 76. Curvas DIF de la estación meteorológica San José.



Fuente: (Laura María Mérida Cano)

Cuadro 161. Diseño de tubería.


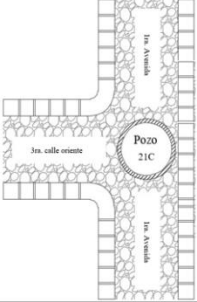
Diseño de la tubería		
$I_{tr \text{ promedio}}$ (mm/h) para Suiza Contenta =	49.81	mm/h
t prom=	97.5	min
Área de la canaleta=	0.1	m <sup>2</sup>
I lluvia=	0.050	m/h
<b>Qc (caudal tubería)=</b>	<b>0.0014</b>	<b>L/s</b>
v (velocidad media de la tubería)=	0.9	m/s
D (diám. de la tubería de conducción)=	0.04	m
D=	4.42	cm
D=	1.74	in
<b>D a usar=</b>	<b>2</b>	<b>in</b>

Fuente: (Laura María Mérida Cano)

C. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en La Antigua Guatemala


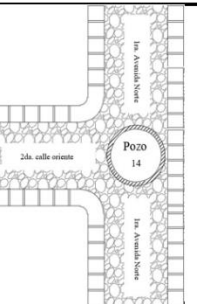
1. Fichas técnicas

Cuadro 162. Ficha técnica para el pozo de visita 21C.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	21C		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Entre la 1ra Avenida y la 3ra calle (por el Santo Domingo)		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
			X
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
			Ninguna
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	23	Dirección 3ra calle	131.2
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


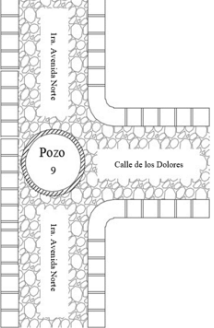
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 163. Ficha técnica para el pozo de visita 14

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	14		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En la Alameda Santa Rosa por la 1ra Avenida Norte		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	13	De la 1ra Avenida Norte	234.6
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	15	Dirección 1ra Avenida 2da	246.1
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83.3		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 164. Ficha técnica para el pozo de visita 9

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	9		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En Candelaria frente a una tienda		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	8	De las ruinas	145
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	10	Dirección cancha	154
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	84		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 165. Ficha técnica para el pozo de visita 1

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	1		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En la calle de los Dolores del Cerro		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
		X	
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	0	De la parte alta por la casa	203
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	2	No a la calle destruida	198
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	84		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

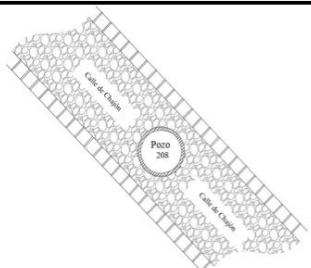

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 166. Ficha técnica para el pozo de visita 2.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	2		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Es hacia donde va la tubería de salida pero no se pudo abrir por la acumulación de tierra		
PRESENCIA DE ESCALONES	SÍ		NO
PRESENCIA DE INSECTOS	SÍ		NO
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	1	De la parte alta por la casa	198
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	-	-	-
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	84		
OBSERVACIONES	La acumulación de tierra en la tapa se debe al acarreo de agua de la microcuenca de la guardiania durante durante las lluvias		
IMAGENES		ESQUEMA	


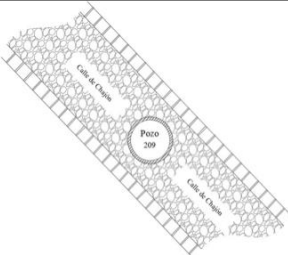
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 167. Ficha técnica para el pozo de visita 208.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	208		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En la calle el Chacón frente a un portón negro		
PRESENCIA DE ESCALONES	SÍ X		NO
PRESENCIA DE INSECTOS	SÍ X		NO
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA X		EXCÉNTRICA
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	207	Del resto del lugar del Maes	103
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERÍA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	209	La que llega al pozo A	137
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES	Se encuentra estancado, contiene solo tierra. No hay flujo		
IMAGENES		ESQUEMA	


Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 168. Ficha técnica para el pozo de visita 209.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	209		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	En la calle el Chacón en la esquina por un rótulo de Navidad en la pared		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	208	Que sale del pozo A	148
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	210	Dirección al colegio	143
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


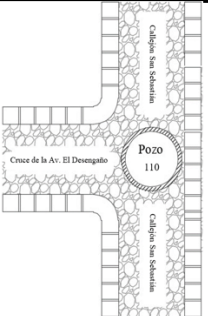
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 169. Ficha técnica para el pozo de visita 207.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	207		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	En la calle el Chacón frente a parqueo MAES		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
			X
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
			X
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	206	De la calle de pared amarilla	110
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	208	Dirección al colegio (por la	118
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	85		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


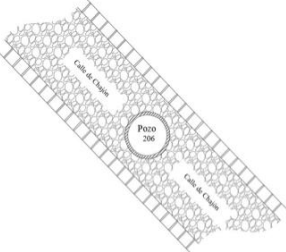
Fuente: David Andrés de León Ocampo

Cuadro 170. Ficha técnica para el pozo de visita 110.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	110		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En el callejón San Sebastián, en una esquina del parque por donde esta Casa Biomsten		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
			X
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	109	Del callejón San Sebastián	153
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	111	Dirección Ruinas San Sebastián	149
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	86		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


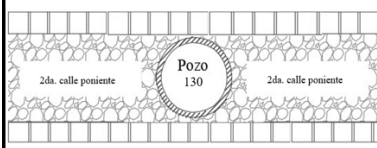
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 171. Ficha técnica para el pozo de visita 206.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	206		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En la calle el Chacón frente a parqueo MAES		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
			X
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	Ninguna		
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	Ninguna		
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	82		
OBSERVACIONES	Se encuentra estancado y no se pueden observar las tuberías. Debería ir en dirección al Pozo 182 o 207		
IMAGENES		ESQUEMA	


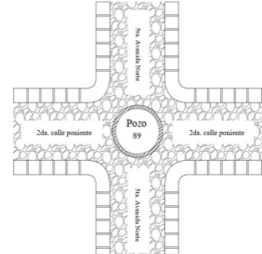
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 172. Ficha técnica para el pozo de visita 130.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	130		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	2da calle poniente frente a la tienda y Diseño Profesional		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	116	Viniendo de la tienda	107
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	142	Hacia calle las Brañas	102 (No llega al nivel del suelo)
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES	Se encuentra entre la 7ma Avenida y la Calzada Santa Lucía		
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: David Andrés de León Ocampo

Cuadro 173. Ficha técnica para el pozo de visita 89

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	89		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	Frente al arco entre la 5ta Avenida y la 2da Calle Poniente		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	88	Viniendo del arco	162
	83A	Va para la siguiente calle	150
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	90	Viene de 1A de la 2da calle	122 (No llega a la altura del suelo)
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	82		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 174. Ficha técnica para el pozo de visita 83A

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	83A		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En 4ta Avenida		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	83B	Del pozo de la par	115
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	82	Para 4ta Avenida	120
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES	Se encuentra entre la 7ma Avenida y la Calzada Santa Lucía		
IMAGENES		ESQUEMA	


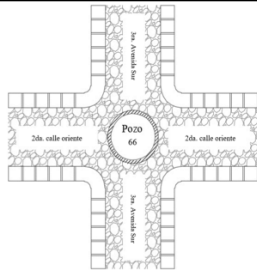
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 175. Ficha técnica para el pozo de visita 84.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	84		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Se encuentra en la 4ta Avenida Sur cerca del pozo 3A		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	65	Llega de la 4ta Avenida	100 (No llega al suelo)
	65A	Viene de la 1ra calle	120
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	83B	Para pozo 3A	120
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


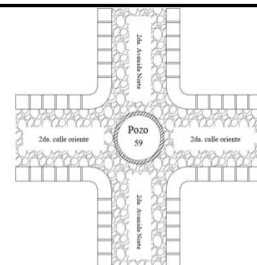
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 176. Ficha técnica para el pozo de visita 66.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	66		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En la 3ra avenida norte por el Convento de Capuchinas		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	65A	De la 3ra Avenida	153
	59	De la 2da calle Oriente	120 (No llega al suelo)
	83B	Viene de la 2da calle	109
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	67	Para 3ra Avenida	160
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


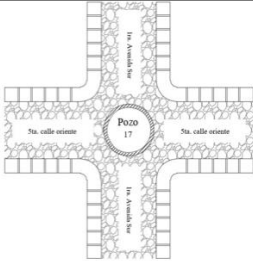
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 177. Ficha técnica para el pozo de visita 59.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	59		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Por 2da Avenida y 2da calle oriente		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
		X	
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	Ninguna porque esta inactivo		
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	58	Sale para 2da calle (contra de vía)	122
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES	Entre la 2da Avenida y 3ra Avenida		
IMAGENES		ESQUEMA	


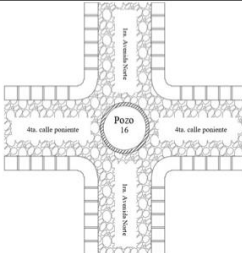
Fuente: David Andrés de León Ocampo

Cuadro 178. Ficha técnica para el pozo de visita 17.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	17		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	5ta. calle y 1ra. Avenida Sur		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	16	De la 1ra. Avenida	100
	20	De la 5ta. calle	128
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	34A	Para 1ra Avenida	122
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


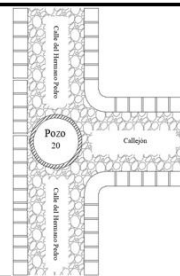
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 179. Ficha técnica para el pozo de visita 16.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	16		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZ	Por la 1ra Avenida y 4ta calle poniente		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI		NO
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI		NO
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	15	De la 4ta calle poniente	120
	19	De la 1ra Avenida Norte	143
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	17	Para 1ra Avenida Sur	176
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


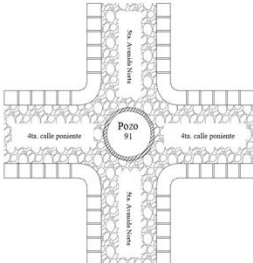
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 180. Ficha técnica para el pozo de visita 20.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	20		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Calle Hermano Pedro		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	19	De la 4ta calle oriente	124
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	25A	Para la 4ta calle oriente	128
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


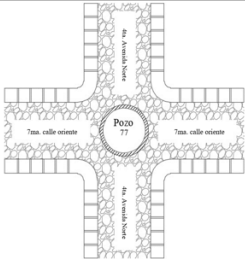
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 181. Ficha técnica para el pozo de visita 91.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	91		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Entre la 4ta calle poniente y 5ta. Ave. Norte		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI	NO	
	X		
PRESENCIA DE INSECTOS	SI	NO	
	X		
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA		EXCÉNTRICA
	X		
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	90	De la calle de la izquierda	94
	81	De la calle de la derecha	116
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	92	Para 4ta calle oriente	103
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	


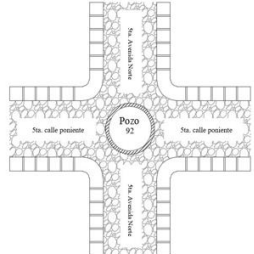
Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 182. Ficha técnica para el pozo de visita 77.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	77		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	Entre la 4ta Avenida Sur y la 7ma calle oriente		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI X	NO	
PRESENCIA DE INSECTOS	SI X	NO	
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA X	EXCÉNTRICA	
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO
	73	De arriba de 4ta Avenida	155
	78	De la 7ma calle	150
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	76A	Para 7ma calle	152
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 183. Ficha técnica para el pozo de visita 92.

FICHA TÉCNICA PARA POZOS DE VISITA DE LA ANTIGUA GUATEMALA			
PARÁMETRO	MEDICIÓN		
IDENTIFICACIÓN DEL POZO	92		
DESCRIPCIÓN / UBICACIÓN POZO	En el parque por la 5ta Avenida Norte y la 5ta calle poniente		
PRESENCIA DE ESCALONES	SI X	NO	
PRESENCIA DE INSECTOS	SI X	NO	
TIPO DE TAPA	CONCÉNTRICA X	EXCÉNTRICA	
TUBERÍAS QUE LLEGAN	POZO (PROVENIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	91	De 5ta Avenida en el parque	164
	80	De la 5ta calle	133
TUBERÍAS QUE SALEN	POZO (PROCEDIENTE)	TUBERÍA	COTA SUPERIOR DE LA TUBERIA RESPECTO DEL SUELO (CM)
	93	Para la 5ta Avenida Norte	174
DIÁMETRO DE LA TAPADERA (A NIVEL DE LA CALLE EN CM)	83		
OBSERVACIONES			
IMAGENES		ESQUEMA	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

2. Cálculos realizados

Cuadro 184. Trayectoria 1er tramo.

TRAMO 1										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	4	29.65	18.93	39.95	26.90	1.21	2.10	10.00	9.34	473.02
4	5	18.93	18.43	44.12	1.20	2.42	4.19	10.00	1.16	58.70
2	3	54.00	39.53	72.73	19.90	1.21	2.10	10.00	8.03	406.85
3	5	39.53	18.43	111.02	19.10	2.42	4.19	16.00	10.76	1395.86
5	6	100.06	99.87	17.77	1.20	6.04	10.49	16.00	1.59	206.17
6	7	99.87	78.44	107.23	20.00	7.25	12.58	20.00	12.78	2589.80
7	8	78.44	75.79	102.00	2.60	8.46	14.68	21.00	2.81	627.60
8	9	75.79	73.67	100.00	2.20	9.66	16.78	21.00	2.58	576.23
9	10	73.67	64.35	58.38	16.00	10.87	18.88	24.00	12.91	3766.70
10	11A	64.35	55.19	56.38	16.30	12.08	20.97	20.00	11.54	2338.00
11B	12A	55.19	51.45	74.04	5.10	13.29	23.07	24.00	7.29	2126.60
12A	13	49.87	49.02	95.44	0.90	14.50	25.17	24.00	1.80	526.43
13	14	49.02	43.86	112.66	4.60	15.70	27.26	42.00	10.05	8982.18
14	15	43.86	38.58	110.36	4.80	16.91	29.36	42.00	10.27	9175.37
15	16	38.58	32.12	108.10	6.00	18.12	31.46	42.00	11.48	10258.37
18A	19	22.33	15.50	109.06	6.30	1.21	2.10	10.00	2.66	137.72
21A	22	22.33	15.50	109.06	6.30	1.21	2.10	10.00	2.66	137.72
23	22	64.54	34.94	194.47	15.30	1.21	2.10	8.00	3.00	97.36
22	19	34.94	25.49	108.21	8.80	3.62	6.29	18.00	7.90	1297.10
19	16	25.49	18.58	111.73	6.20	6.04	10.49	42.00	11.67	10427.94
16	17	32.12	25.20	108.29	6.40	24.16	41.95	42.00	11.85	10594.80
20	20	22.33	15.50	110.30	6.20	1.21	2.10	12.00	2.96	215.87
19	17	22.33	15.50	112.70	6.10	2.42	4.19	15.00	5.83	664.12
17	24	32.12	25.20	108.29	6.40	26.57	46.14	48.00	12.96	15126.48
24	35	25.20	18.52	108.27	6.20	27.78	48.24	48.00	12.75	14888.26
25B	26	37.02	34.17	48.22	6.00	1.21	2.10	10.00	2.60	151.68
26	28	34.17	34.01	56.78	0.30	2.42	4.19	8.00	8.65	27.55
29	28	19.71	18.58	49.73	2.30	1.21	2.10	8.00	1.39	44.94
28	31	30.45	29.18	44.84	2.90	4.83	8.39	36.00	7.20	4728.00
31	32	29.18	25.26	75.52	5.20	6.04	10.49	30.00	8.54	3893.41
32	33	25.26	24.56	117.96	0.60	7.25	12.58	36.00	3.27	2150.57
33	34	25.26	18.52	58.06	11.70	8.46	14.68	48.00	17.52	20452.24
34	35	18.52	16.54	30.76	6.50	9.66	16.78	48.00	13.06	15244.20
35	36	28.41	23.23	70.00	7.50	38.65	67.11	48.00	14.03	16374.90
36	54	23.23	16.39	88.21	7.80	39.86	69.21	36.00	11.81	7753.99

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 185. Chequeo 1er tramo.

Elevación GPS	Rit (v)		Velocidad		Cálculo con el diseño		TRAMO 1		Cálculo con el diseño		Cálculo con el diseño		Cálculo con el diseño		Cálculo con el diseño		Cálculo con el diseño	
	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final
0.0010	0.0044	0.212	0.206	1.08	2.19	OK	OK	0.0073	0.0050	0.38	0.30	OK	OK	24.41	17.08	1.22	1.25	
0.0011	0.0111	0.207	0.201	0.79	0.88	NO OK	OK	0.0150	0.0150	1.41	1.41	NO OK	NO OK	11.81	11.11	1.18	1.00	
0.0010	0.0052	0.230	0.246	1.85	1.98	OK	OK	0.0425	0.0425	0.43	0.45	OK	OK	52.54	38.30	1.22	1.22	
0.0011	0.0030	0.168	0.210	2.60	2.47	OK	OK	0.0215	0.0425	0.52	0.68	OK	OK	38.24	17.07	1.25	1.06	
0.0010	0.0009	0.400	0.524	0.52	0.84	OK	OK	0.1200	0.1200	1.52	1.48	NO OK	NO OK	17.00	16.82	2.08	2.08	
0.0013	0.0049	0.221	0.246	2.82	3.14	OK	NO OK	0.0400	0.0400	0.80	0.90	OK	OK	36.79	4.45	2.08	2.08	
0.0011	0.0014	0.355	0.420	1.00	1.18	OK	OK	0.0025	0.0075	1.73	2.26	NO OK	NO OK	4.48	7.33	2.08	2.08	
0.0018	0.0091	0.381	0.444	0.98	1.15	OK	OK	0.0025	0.0425	1.84	2.47	NO OK	NO OK	7.36	6.36	2.08	2.08	
0.0010	0.0050	0.221	0.246	2.82	3.17	OK	NO OK	0.0400	0.0400	0.96	1.08	OK	NO OK	48.96	18.93	2.08	2.08	
0.0012	0.0009	0.286	0.312	2.84	3.60	OK	NO OK	0.0400	0.0400	0.90	1.17	OK	NO OK	18.86	28.17	2.08	2.08	
0.0012	0.0010	0.283	0.334	2.03	2.43	OK	OK	0.0075	0.0070	1.38	1.80	NO OK	NO OK	33.67	50.19	1.22	1.26	
0.0013	0.0018	0.409	0.517	0.79	0.93	OK	OK	0.0150	0.0150	2.76	3.40	NO OK	NO OK	50.20	49.50	6.20	6.20	
0.0017	0.0030	0.194	0.230	1.85	2.31	OK	OK	0.0225	0.0425	1.87	1.79	NO OK	NO OK	48.27	44.69	6.22	6.22	
0.0013	0.0012	0.194	0.210	1.99	2.16	OK	OK	0.0125	0.0425	1.17	1.70	NO OK	NO OK	44.06	33.76	6.20	6.19	
0.0013	0.0011	0.199	0.200	2.23	2.64	OK	OK	0.0125	0.0425	1.17	1.70	NO OK	NO OK	39.70	33.83	6.19	6.13	
0.0010	0.0010	0.312	0.368	0.83	0.98	OK	OK	0.0075	0.0075	0.88	0.88	OK	OK	21.11	14.24	1.22	1.26	
0.0011	0.0012	0.312	0.368	0.83	0.98	OK	OK	0.0075	0.0075	0.88	0.88	OK	OK	21.11	14.24	1.22	1.26	
0.0014	0.0013	0.348	0.408	1.04	1.22	OK	OK	0.0080	0.0105	0.64	0.82	OK	OK	43.32	33.96	1.22	1.37	
0.0010	0.0010	0.201	0.208	1.04	1.04	OK	OK	0.0080	0.0080	0.71	0.81	OK	OK	33.50	28.01	1.06	1.06	
0.0010	0.0010	0.141	0.163	1.64	1.90	OK	OK	0.0100	0.0100	0.64	0.65	OK	NO OK	23.90	17.05	1.11	1.12	
0.0012	0.0040	0.212	0.248	2.21	2.94	OK	OK	0.0175	0.0425	1.58	2.00	NO OK	NO OK	17.62	10.09	1.21	1.21	
0.0016	0.0017	0.273	0.320	0.81	0.95	OK	OK	0.0150	0.0100	0.66	0.84	OK	OK	21.11	14.24	1.22	1.22	
0.0016	0.0013	0.239	0.281	1.59	1.64	OK	OK	0.0150	0.0175	0.88	0.86	OK	OK	14.23	7.57	2.02	2.03	
0.0013	0.0011	0.104	0.200	2.01	2.08	OK	OK	0.0125	0.0425	1.56	2.04	NO OK	NO OK	7.88	0.61	2.08	2.08	
0.0014	0.0012	0.194	0.230	2.47	2.93	OK	OK	0.0225	0.0425	1.56	2.04	NO OK	NO OK	6.36	6.33	2.48	2.48	
0.0017	0.0018	0.401	0.451	0.79	0.92	OK	OK	0.0150	0.0150	0.65	0.83	OK	OK	32.91	22.71	1.22	1.26	
0.0017	0.0018	0.401	0.451	0.79	0.92	NO OK	OK	0.0150	0.0100	0.64	0.80	OK	OK	32.80	22.60	1.26	1.26	
0.0010	0.0010	0.400	0.417	0.81	0.72	OK	OK	0.0150	0.0100	0.92	1.20	OK	NO OK	18.49	17.04	1.22	1.24	
0.0010	0.0018	0.380	0.394	1.17	1.40	OK	OK	0.0150	0.0125	0.90	1.17	OK	NO OK	17.31	16.01	1.11	1.12	
0.0016	0.0017	0.184	0.221	1.89	1.89	OK	OK	0.0100	0.0100	0.90	1.20	OK	NO OK	15.08	12.06	1.12	1.12	
0.0014	0.0014	0.104	0.273	0.75	0.89	OK	OK	0.0425	0.0100	0.93	1.98	NO OK	NO OK	13.29	11.32	1.12	1.12	
0.0014	0.0017	0.129	0.132	2.26	2.66	OK	OK	0.0175	0.0125	0.84	1.08	OK	NO OK	11.29	4.50	1.40	1.40	
0.0016	0.0011	0.181	0.174	0.84	0.77	OK	OK	0.0100	0.0100	0.86	0.82	OK	NO OK	4.41	4.41	1.40	1.40	
0.0014	0.0041	0.212	0.248	2.87	3.44	OK	NO OK	0.0175	0.0475	1.80	2.28	NO OK	NO OK	2.44	2.41	2.60	2.60	
0.0011	0.0019	0.248	0.312	2.80	3.08	OK	NO OK	0.0400	0.0075	1.62	2.43	NO OK	NO OK	2.44	0.72	2.61	2.61	

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 186. Trayectoria 2do tramo

TRAMO 2										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m³/s)
40	38B	49.20	36.61	154.07	8.20	1.21	2.10	12.00	5.82	424.68
37	38B	20.77	16.61	109.87	3.80	1.21	2.10	15.00	2.71	308.81
38B	52	36.61	30.56	70.59	8.60	3.62	6.29	18.00	7.81	1282.27
53	52	22.83	15.33	109.69	6.90	1.21	2.10	10.00	2.77	140.29
52	74	30.56	16.79	133.85	10.30	6.04	10.49	36.00	13.57	8910.39
73	74	24.41	16.79	109.28	7.00	1.21	2.10	12.00	5.38	392.38
40	41	39.20	34.01	95.39	5.50	1.21	2.10	8.00	2.14	69.47
41	42	34.01	20.43	168.92	8.10	2.42	4.19	12.00	5.78	422.08
38A	42	16.61	10.42	94.37	6.60	1.21	2.10	10.00	2.73	138.26
42	43	20.43	16.86	43.87	8.20	4.83	8.39	20.00	8.18	1658.28
46	45	16.86	15.04	128.35	1.50	1.21	2.10	20.00	3.50	709.25
45	44	15.04	12.94	39.29	5.40	2.42	4.19	15.00	5.48	624.85
44	43	12.94	11.87	43.07	2.50	3.62	6.29	48.00	8.10	9454.05
43	51	16.86	14.05	49.80	5.70	9.66	16.78	21.00	7.05	1574.68
52	51	16.01	10.38	93.67	6.10	1.21	2.10	12.00	2.96	215.87
47	48	34.62	28.84	95.71	6.10	2.42	4.19	15.00	5.83	664.12
48	49	28.84	26.49	98.52	2.40	3.62	6.29	24.00	5.00	1458.84
46	47	24.62	22.09	80.00	3.20	1.21	2.10	18.00	2.81	461.09
46	49	22.09	16.49	95.62	5.90	1.21	2.10	15.00	5.73	653.14
49	50	26.49	25.97	64.99	0.80	6.04	10.49	36.00	3.78	2483.26
50	51	25.97	24.95	104.54	1.00	7.25	12.58	36.00	2.88	1887.69
51	75	24.95	18.52	110.36	5.90	19.33	33.56	36.00	10.27	6743.79
75	74	18.52	17.33	201.14	0.60	20.53	35.65	36.00	2.23	1462.37
74	76A	17.33	11.90	112.55	4.90	28.99	50.34	36.00	9.36	6145.77
77	76A	28.49	19.33	112.54	8.20	1.21	2.10	12.00	5.82	424.68
76A	96A	19.10	11.78	112.55	6.60	31.41	54.53	42.00	12.04	10759.07
95	96A	19.54	11.91	115.91	6.60	12.08	20.97	60.00	15.27	27851.38
36	37	43.19	40.76	113.69	2.20	1.21	2.10	24.00	4.79	1396.73
37	53	40.76	32.83	89.43	8.90	2.42	4.19	12.00	6.06	442.44
54	53	16.38	12.83	114.55	3.20	1.21	2.10	18.00	2.81	461.09
53	73	32.83	24.88	109.03	7.30	4.83	8.39	24.00	8.72	2544.27
72A	73	21.00	14.41	111.95	5.90	1.21	2.10	12.00	2.89	210.76
73	77	24.88	18.49	112.55	5.70	7.25	12.58	42.00	11.19	9998.62
78	77	20.89	15.03	111.54	5.30	1.21	2.10	12.00	2.76	201.28
77	95	28.49	19.54	111.12	8.10	9.66	16.78	21.00	8.40	1877.15
94B	95	24.41	19.54	108.71	4.50	1.21	2.10	42.00	9.94	8884.01

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 187. Chequeo 2do tramo.

TRAMO 2																									
Año	Ejeción qD	Ret vV				C (cambio esp de rasgo)				Ret qD				Distintos				A (variante)				Altura (m)		Cota Pavim (m)	
		Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final		
0.0018	0.0049	0.221	0.246	1.29	1.43	OK	OK	0.0000	0.0000	0.48	0.48	OK	OK	47.99	47.99	35.34	1.22	1.22	1.27	1.27					
0.0019	0.0048	0.248	0.289	0.67	0.73	OK	OK	0.0475	0.0600	0.71	0.90	OK	OK	19.53	19.53	15.18	1.22	1.22	1.23	1.23					
0.0020	0.0049	0.221	0.246	1.73	1.93	OK	OK	0.0000	0.0000	0.73	0.81	OK	OK	15.53	15.53	9.78	2.13	2.13	2.13	2.13					
0.0026	0.0149	0.312	0.368	0.86	1.03	OK	OK	0.0675	0.0975	0.68	0.88	OK	OK	21.61	21.61	14.09	1.22	1.22	1.28	1.28					
0.0027	0.0032	0.332	0.378	2.08	2.30	OK	OK	0.0000	0.0000	0.61	0.89	OK	OK	14.07	14.07	9.92	1.86	1.86	1.86	1.86					
0.0031	0.0003	0.220	0.273	1.24	1.47	OK	OK	0.0625	0.0900	0.51	0.66	OK	OK	23.37	23.37	15.54	1.22	1.22	1.23	1.23					
0.0074	0.0032	0.381	0.450	0.82	0.90	OK	OK	0.0925	0.1200	0.74	0.96	OK	OK	47.99	47.99	42.73	2.20	2.20	2.20	2.20					
0.0027	0.0009	0.375	0.327	1.58	1.89	OK	OK	0.0300	0.0713	0.69	0.87	OK	OK	45.70	45.70	39.04	2.17	2.17	2.13	2.13					
0.0027	0.0012	0.312	0.360	0.83	1.00	OK	OK	0.0675	0.0975	0.68	0.88	OK	OK	15.39	15.39	9.18	1.22	1.22	1.26	1.26					
0.0029	0.0021	0.221	0.246	1.81	2.01	OK	OK	0.0000	0.0000	0.60	0.80	OK	OK	9.33	9.33	5.84	1.22	1.22	1.23	1.23					
0.0027	0.0028	0.194	0.221	0.48	0.57	OK	OK	0.0325	0.0400	0.65	0.80	OK	OK	15.64	15.64	13.73	1.22	1.22	1.23	1.23					
0.0029	0.0027	0.248	0.289	1.38	1.58	OK	OK	0.0475	0.0600	0.71	0.90	OK	OK	13.63	13.63	11.58	1.26	1.26	1.27	1.27					
0.0024	0.0007	0.199	0.143	1.84	1.14	OK	OK	0.0375	0.0300	0.84	0.96	OK	OK	11.53	11.53	10.45	1.40	1.41	1.41	1.41					
0.0021	0.0027	0.334	0.334	1.90	2.33	OK	OK	0.0975	0.0750	1.11	1.38	NO OK	NO OK	18.41	18.41	7.39	1.81	1.81	1.82	1.82					
0.0026	0.0001	0.373	0.320	0.81	0.93	OK	OK	0.0000	0.0000	0.66	0.84	OK	OK	15.79	15.79	9.08	1.22	1.22	1.26	1.26					
0.0026	0.0002	0.229	0.281	1.39	1.64	OK	OK	0.0600	0.0972	0.88	0.86	OK	OK	32.80	32.80	27.56	1.22	1.22	1.28	1.28					
0.0025	0.0043	0.212	0.256	1.06	1.28	OK	OK	0.0375	0.0500	0.99	1.20	OK	NO OK	25.37	25.37	13.11	1.22	1.22	1.22	1.22					
0.0026	0.0045	0.301	0.256	0.82	0.73	OK	OK	0.0600	0.0900	0.73	0.90	OK	OK	20.40	20.40	20.64	1.22	1.22	1.25	1.25					
0.0028	0.0032	0.194	0.230	1.11	1.31	OK	OK	0.0375	0.0453	0.49	0.64	OK	OK	20.87	20.87	15.32	1.22	1.22	1.28	1.28					
0.0024	0.0042	0.312	0.268	0.80	0.88	OK	OK	0.0375	0.0613	1.15	1.71	NO OK	NO OK	13.39	13.39	14.63	1.13	1.13	1.13	1.13					
0.0028	0.0007	0.248	0.289	0.71	0.83	OK	OK	0.0875	0.0600	1.11	1.16	NO OK	NO OK	14.64	14.64	13.69	1.22	1.22	1.24	1.24					
0.0029	0.0029	0.221	0.246	2.27	2.63	OK	OK	0.0000	0.0000	1.44	1.62	NO OK	NO OK	13.37	13.37	7.06	1.14	1.14	1.15	1.15					
0.0028	0.0044	0.301	0.420	0.81	0.85	OK	OK	0.0600	0.1100	0.96	0.96	NO OK	NO OK	8.01	8.01	5.82	1.15	1.15	1.15	1.15					
0.0027	0.0082	0.248	0.305	2.40	2.85	OK	OK	0.0700	0.0650	1.03	2.34	NO OK	NO OK	0.37	0.37	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16					
0.0028	0.0049	0.321	0.246	1.29	1.45	OK	OK	0.0600	0.0650	0.44	0.54	OK	OK	27.77	27.77	18.04	1.32	1.32	1.29	1.29					
0.0029	0.0051	0.321	0.246	1.06	2.06	OK	OK	0.0600	0.0650	1.08	1.89	NO OK	NO OK	18.01	18.01	10.18	1.89	1.89	1.89	1.89					
0.0028	0.0068	0.129	0.110	1.87	2.32	OK	OK	0.0375	0.0225	1.05	1.35	NO OK	NO OK	18.82	18.82	10.67	1.22	1.22	1.24	1.24					
0.0029	0.0013	0.182	0.184	0.73	0.83	OK	OK	0.0325	0.0300	0.54	0.72	OK	OK	41.97	41.97	39.87	1.22	1.22	1.28	1.28					
0.0025	0.0029	0.212	0.220	1.66	1.68	OK	OK	0.0200	0.0200	0.85	0.84	OK	OK	39.44	39.44	31.48	1.21	1.21	1.25	1.25					
0.0026	0.0045	0.221	0.256	0.82	0.72	OK	OK	0.0600	0.0900	0.72	0.96	OK	OK	25.56	25.56	11.09	1.22	1.22	1.25	1.25					
0.0029	0.0033	0.194	0.230	1.69	2.00	OK	OK	0.0325	0.0453	0.78	0.82	OK	NO OK	11.47	11.47	3.31	2.14	2.14	2.14	2.14					
0.0027	0.0030	0.373	0.323	0.78	0.81	OK	OK	0.0500	0.0754	0.66	0.87	OK	OK	13.17	13.17	13.17	1.22	1.22	1.23	1.23					
0.0027	0.0013	0.174	0.174	1.70	1.61	OK	OK	0.0325	0.0373	0.95	1.16	OK	NO OK	13.14	13.14	6.71	1.17	1.17	1.18	1.18					
0.0020	0.0024	0.281	0.327	0.78	0.80	OK	OK	0.0275	0.0272	0.89	0.87	OK	OK	18.67	18.67	13.76	1.22	1.22	1.22	1.22					
0.0021	0.0049	0.308	0.246	2.07	2.62	OK	OK	0.0600	0.0679	0.95	1.42	OK	NO OK	13.73	13.73	8.23	2.03	2.03	2.03	2.03					
0.0021	0.0002	0.088	0.103	0.87	1.02	OK	OK	0.0300	0.0324	0.42	0.53	OK	OK	23.49	23.49	18.39	1.22	1.22	1.24	1.24					

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 188. Trayectoria 3er tramo.

TRAMO 3										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
12B	60B	59.92	49.13	80.00	13.50	1.21	2.10	10.00	6.61	335.10
60B	60A	49.13	43.65	83.76	6.60	2.42	4.19	15.00	6.06	690.80
60A	59	43.65	40.51	161.38	2.00	3.62	6.29	30.00	5.29	2414.59
14	59	29.04	10.51	164.64	11.30	1.21	2.10	10.00	6.05	306.58
59	58	40.51	39.21	111.12	1.20	6.04	10.49	30.00	4.10	1870.33
58	58	33.90	19.21	162.41	9.10	1.21	2.10	10.00	5.43	275.12
58	57	39.21	33.98	112.43	4.70	8.46	14.68	54.00	12.01	17746.13
16	57	28.61	13.98	162.65	9.00	1.21	2.10	10.00	5.40	273.61
57	56	33.98	27.05	106.51	6.60	10.87	18.88	54.00	14.23	21029.39
17	56	32.12	17.02	160.00	9.50	1.21	2.10	12.00	6.26	457.11
56	55	27.05	19.04	110.53	7.30	13.29	23.07	42.00	12.66	11315.25
24	55	35.27	19.03	160.00	10.20	1.21	2.10	12.00	6.49	473.65
55	54	19.04	16.39	110.40	2.50	15.70	27.26	36.00	6.68	4389.83
54	72B	16.39	10.97	113.88	4.80	56.77	98.57	54.00	12.14	17933.93

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 189. Chequeo 3er tramo.

TRAMO 3																	
Estación CV	Elevación	Rel. VV		Velocidad		Cambio con el tiempo						Altim. (m)		Cota base (m)			
		Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final				
0.0010	0.0041	0.339	0.330	1.04	1.06	OK	OK	0.0040	0.0015	0.41	0.14	OK	OK	47.90	47.90	1.22	1.21
0.0011	0.0011	0.250	0.251	1.43	1.70	OK	OK	0.0030	0.0011	0.68	0.16	OK	OK	41.91	41.91	1.22	1.21
0.0012	0.0015	0.184	0.201	0.97	1.17	OK	OK	0.0010	0.0009	0.99	1.00	OK	NO/OK	39.30	39.30	1.22	1.21
0.0019	0.0004	0.208	0.209	1.30	1.75	OK	OK	0.0075	0.0009	0.49	0.08	OK	OK	5.21	5.21	1.22	1.20
0.0021	0.0005	0.200	0.207	0.94	1.01	OK	OK	0.0042	0.0009	1.41	1.03	NO/OK	NO/OK	37.09	37.09	1.22	1.21
0.0024	0.0016	0.206	0.207	1.39	1.61	OK	OK	0.0090	0.0002	0.59	0.03	OK	OK	17.09	17.09	1.22	1.21
0.0027	0.0004	0.170	0.170	1.20	1.83	OK	OK	0.0175	0.0014	0.04	1.12	OK	NO/OK	32.79	32.79	1.22	1.20
0.0034	0.0017	0.204	0.207	1.38	1.60	OK	OK	0.0090	0.0014	0.50	0.03	OK	OK	17.10	17.10	1.22	1.21
0.0037	0.0002	0.181	0.181	1.20	2.02	OK	OK	0.0090	0.0008	0.08	1.14	NO/OK	NO/OK	32.79	32.79	1.22	1.21
0.0039	0.0000	0.221	0.220	1.38	1.60	OK	OK	0.0040	0.0000	0.48	0.00	OK	OK	15.30	15.30	1.22	1.21
0.0041	0.0002	0.174	0.201	2.00	2.07	OK	OK	0.0075	0.0000	1.01	1.47	NO/OK	NO/OK	20.51	17.20	1.22	1.21
0.0043	0.0004	0.212	0.206	1.38	1.60	OK	OK	0.0075	0.0000	0.45	0.00	OK	OK	17.11	17.11	1.22	1.21
0.0045	0.0001	0.250	0.251	1.40	1.40	OK	OK	0.0040	0.0015	1.62	2.07	NO/OK	NO/OK	17.11	15.06	1.22	1.21
0.0051	0.0011	0.200	0.201	1.79	1.91	OK	NO/OK	0.0045	0.0000	2.30	2.07	NO/OK	NO/OK	11.11	8.28	1.22	1.21

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 190. Trayectoria 4to tramo.

TRAMO 4										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
10	61	82.61	67.33	125.78	12.20	1.21	2.10	12.00	7.10	518.01
61	62	67.33	60.16	155.47	4.70	2.42	4.19	18.00	5.77	947.94
62	63	60.16	47.62	64.28	19.60	3.62	6.29	15.00	10.44	1190.45
63	64	47.62	46.64	45.97	2.20	4.83	8.39	21.00	4.38	978.29
64A	65B	46.64	44.14	120.09	2.10	6.04	10.49	30.00	5.43	2474.22
60A	65A	23.64	19.14	113.06	4.00	1.21	2.10	12.00	2.40	175.03
65A	66	44.14	42.45	159.87	1.10	8.46	14.68	36.00	4.43	2911.89
59	66	20.51	16.45	109.70	3.70	1.21	2.10	15.00	2.69	304.25
66	67	42.45	40.93	110.09	1.40	10.87	18.88	36.00	5.00	3285.05
58	67	19.21	16.97	110.00	2.10	1.21	2.10	12.00	2.95	214.91
67	68	40.93	38.68	110.94	2.10	13.29	23.07	42.00	6.79	6068.93
57	68	13.98	12.68	110.14	1.20	1.21	2.10	15.00	2.58	294.56
68	69	38.68	31.05	107.92	7.10	15.70	27.26	42.00	12.48	11159.17
56	69	17.05	11.05	111.88	5.40	1.21	2.10	10.00	2.44	123.37
69	70	31.05	28.24	113.42	2.50	18.12	31.46	42.00	7.41	6621.75
55	70	19.04	18.24	112.10	0.80	1.21	2.10	8.00	1.39	44.99
70	71	28.24	27.43	24.00	3.40	20.53	35.65	30.00	6.90	3148.24
71	72B	27.43	20.97	86.39	7.50	21.74	37.75	48.00	14.03	16374.90
72B	78	20.97	15.98	109.26	4.60	79.72	138.42	72.00	14.39	37809.73

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 191. Chequeo 4to tramo.

TRAMO 4																	
Estación CV	Elevación	Rel. VV		Velocidad		Cambio con el tiempo						Altim. (m)		Cota base (m)			
		Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final				
0.0011	0.0048	0.211	0.208	1.04	1.26	OK	OK	0.0075	0.0071	0.45	0.57	OK	OK	60.24	60.24	1.22	1.21
0.0012	0.0014	0.212	0.210	1.27	1.49	OK	OK	0.0075	0.0050	0.08	0.99	OK	OK	66.11	66.11	1.22	1.20
0.0019	0.0011	0.200	0.200	1.40	2.21	OK	OK	0.0040	0.0010	0.04	0.08	OK	OK	39.44	39.44	1.22	1.21
0.0049	0.0004	0.240	0.242	1.08	1.37	OK	OK	0.0050	0.0070	0.97	1.42	OK	NO/OK	45.47	45.47	1.22	1.21
0.0054	0.0042	0.212	0.208	1.15	1.58	OK	OK	0.0075	0.0071	1.13	1.43	NO/OK	NO/OK	45.42	45.42	1.22	1.20
0.0069	0.0110	0.249	0.241	0.89	0.83	OK	OK	0.0060	0.0071	0.71	0.93	OK	OK	22.43	17.49	1.22	1.21
0.0074	0.0010	0.201	0.200	1.00	1.00	OK	OK	0.0060	0.0040	1.48	1.52	NO/OK	NO/OK	41.51	41.51	1.22	1.20
0.0080	0.0002	0.244	0.242	0.87	0.73	OK	OK	0.0075	0.0000	0.71	0.90	OK	OK	15.24	15.24	1.22	1.21
0.0011	0.0017	0.230	0.227	1.15	1.37	OK	OK	0.0045	0.0050	1.51	1.94	NO/OK	NO/OK	41.21	41.21	1.22	1.21
0.0016	0.0004	0.221	0.220	0.86	0.84	OK	OK	0.0050	0.0050	0.06	0.44	OK	OK	15.09	15.09	1.22	1.21
0.0022	0.0019	0.203	0.209	1.38	1.67	OK	OK	0.0050	0.0050	1.47	1.89	NO/OK	NO/OK	35.71	35.71	1.22	1.20
0.0041	0.0011	0.240	0.237	0.84	0.77	OK	OK	0.0075	0.0021	0.71	0.94	OK	OK	15.76	15.76	1.22	1.21
0.0014	0.0014	0.188	0.212	2.30	2.63	OK	OK	0.0050	0.0070	1.26	1.58	NO/OK	NO/OK	37.88	37.88	1.22	1.21
0.0004	0.0110	0.201	0.201	0.78	0.81	OK	OK	0.0060	0.0021	0.71	0.93	OK	OK	12.81	8.79	1.22	1.20
0.0027	0.0048	0.201	0.206	1.48	1.89	OK	OK	0.0060	0.0050	1.48	1.18	NO/OK	NO/OK	28.83	28.83	1.22	1.21
0.0028	0.0048	0.187	0.211	1.61	1.87	OK	OK	0.0120	0.0070	0.00	1.18	OK	NO/OK	12.81	10.69	1.22	1.21
0.0063	0.0111	0.249	0.244	1.00	1.31	OK	OK	0.0060	0.0070	1.80	1.71	NO/OK	NO/OK	27.02	26.70	1.22	1.21
0.0011	0.0011	0.174	0.211	2.41	2.97	OK	OK	0.0075	0.0070	1.51	1.89	NO/OK	NO/OK	20.71	19.71	1.22	1.21
0.0021	0.0011	0.201	0.202	1.44	1.44	OK	NO/OK	0.0060	0.0060	1.24	1.24	NO/OK	NO/OK	12.81	11.21	1.22	1.21

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 192. Trayectoria 5to tramo.

TRAMO 5										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
87	86	47.94	45.32	32.47	8.10	1.21	2.10	8.00	2.60	84.30
86	85	45.32	44.80	48.09	1.10	2.42	4.19	18.00	2.79	458.59
85	84	44.80	42.96	114.42	1.70	3.62	6.29	20.00	3.73	755.05
65A	84	19.14	12.96	111.83	5.60	1.21	2.10	12.00	2.84	207.12
84	83B	42.96	41.58	161.22	0.90	6.04	10.49	30.00	3.55	1619.75
66	83B	16.45	11.58	113.05	4.40	1.21	2.10	15.00	2.88	328.74
83B	82	41.58	38.08	112.97	3.10	8.46	14.68	30.00	6.59	3006.14
67	82	26.93	18.08	112.57	7.90	1.21	2.10	12.00	5.71	416.84
82	81	38.08	31.38	106.86	6.30	10.87	18.88	36.00	10.61	6968.64
68	81	22.69	11.38	112.17	10.10	1.21	2.10	10.00	5.72	289.84
81	80	31.38	21.92	112.31	8.50	13.29	23.07	24.00	9.41	2745.43
69	80	21.05	11.92	110.76	8.30	1.21	2.10	10.00	5.19	262.75
80	79	21.92	19.89	109.88	1.90	15.70	27.26	30.00	5.16	2353.45
79	79	18.24	13.73	111.90	4.10	1.21	2.10	10.00	3.64	184.67
70	78	19.89	16.04	111.76	3.50	18.12	31.46	36.00	7.91	5194.12
78	94B	25.98	16.41	112.52	8.60	99.05	171.98	72.00	19.68	51698.02

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 193. Chequeo 5to tramo.

TRAMO 5																	
Estación	Pozos	Río VV		Vivienda		¿Cumple con el espacio?		Red de		Drenaje		¿Cumple?		Áreas (m²)		Cotas (m)	
		Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Áreas	Salidas	Inicial	Final
0.0000	0.0000	0.361	0.426	0.94	1.11	OK	OK	0.0000	0.0000	0.61	0.88	OK	OK	48.72	48.69	1.22	1.21
0.0001	0.0001	0.246	0.120	0.09	0.09	OK	OK	0.0400	0.0700	0.41	1.20	OK	OK	44.10	43.57	1.22	1.21
0.0004	0.0004	0.246	0.208	0.22	1.14	OK	OK	0.0400	0.0600	0.20	1.20	OK	OK	47.58	47.43	1.22	1.21
0.0004	0.0004	0.373	0.373	0.78	0.93	OK	OK	0.0500	0.0700	0.40	0.87	OK	OK	11.92	11.64	1.22	1.21
0.0005	0.0005	0.379	0.289	0.05	1.01	OK	OK	0.0400	0.0600	1.15	1.05	NO OK	NO OK	41.74	40.72	1.22	1.21
0.0007	0.0007	0.219	0.213	0.08	0.81	OK	OK	0.0300	0.0700	0.40	0.90	OK	OK	15.03	15.26	1.22	1.21
0.0024	0.0024	0.241	0.246	1.46	1.62	OK	OK	0.0400	0.0400	1.20	1.21	NO OK	NO OK	40.30	39.83	1.22	1.21
0.0024	0.0024	0.241	0.246	1.41	1.41	OK	OK	0.0400	0.0400	0.40	1.24	OK	OK	29.71	29.43	1.22	1.21
0.0024	0.0027	0.144	0.211	1.95	3.32	OK	OK	0.0300	0.0400	1.00	1.40	NO OK	NO OK	30.80	30.11	1.22	1.21
0.0044	0.0057	0.348	0.295	1.42	1.70	OK	OK	0.0400	0.0400	0.40	0.93	OK	OK	12.47	10.14	1.22	1.21
0.0044	0.0044	0.246	0.395	2.71	2.87	OK	OK	0.0400	0.0600	1.00	1.50	NO OK	NO OK	30.14	30.41	1.22	1.21
0.0044	0.0044	0.246	0.395	1.31	1.34	OK	OK	0.0300	0.0300	0.20	0.95	OK	OK	15.05	15.04	1.22	1.21
0.0044	0.0110	0.349	0.492	1.09	1.19	OK	OK	0.0300	0.0700	1.00	1.10	NO OK	NO OK	16.61	16.61	1.22	1.21
0.0044	0.0114	0.249	0.324	1.09	1.22	OK	OK	0.0300	0.0700	0.60	0.75	OK	OK	11.02	12.43	1.22	1.21
0.0054	0.0060	0.219	0.219	1.05	2.21	OK	OK	0.0300	0.0300	1.00	2.00	NO OK	NO OK	10.67	14.26	1.22	1.21
0.0054	0.0054	0.201	0.200	4.00	4.53	NO OK	NO OK	0.0300	0.0425	2.50	3.00	NO OK	NO OK	28.76	15.68	1.22	1.21

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 194. Trayectoria 6to tramo.

Tramo 6										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
84	88	62.96	58.42	112.33	4.10	1.21	2.10	15.00	2.82	320.24
88	89	58.42	55.77	161.26	1.70	2.42	4.19	21.00	3.85	859.96
83A	89	21.58	15.77	110.99	5.30	1.21	2.10	12.00	2.76	201.28
89	90	55.77	51.65	110.06	3.80	4.83	8.39	36.00	8.24	5412.15
82	90	18.08	11.65	110.62	5.90	1.21	2.10	12.00	2.89	210.76
90	91	51.65	40.29	110.93	10.30	7.25	12.58	36.00	13.57	8910.39
81	91	31.43	20.29	111.65	10.00	1.21	2.10	12.00	6.43	468.98
91	92	40.29	37.73	111.55	2.30	9.66	16.78	36.00	6.41	4210.58
80	92	21.92	17.73	110.78	3.80	1.21	2.10	15.00	2.71	308.81
92	93	37.73	33.23	111.12	4.10	12.08	20.97	36.00	8.56	5621.73
79	93	23.89	13.24	111.31	9.60	1.21	2.10	12.00	6.30	459.51
93	94B	33.23	26.41	112.70	6.10	14.50	25.17	48.00	12.65	14767.70
94B	98	26.41	17.67	110.52	8.00	114.75	199.24	72.00	18.98	49862.00

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 195. Chequeo 6to tramo

Tramo 6																	
Estación	Pozos	Río VV		Vivienda		¿Cumple con el espacio?		Red de		Drenaje		¿Cumple?		Áreas (m²)		Cotas (m)	
		Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Áreas	Salidas	Inicial	Final
0.0074	0.0055	0.227	0.297	0.07	0.81	OK	OK	0.0200	0.0200	0.40	0.90	OK	OK	41.70	37.14	1.22	1.21
0.0074	0.0060	0.211	0.206	0.05	0.95	OK	OK	0.0300	0.0300	0.40	0.90	OK	OK	35.11	34.27	1.22	1.21
0.0080	0.0104	0.211	0.327	0.74	0.90	OK	OK	0.0300	0.0700	0.40	0.87	OK	OK	28.30	14.47	1.22	1.21
0.0080	0.0080	0.143	0.144	1.14	1.51	OK	OK	0.0300	0.0300	0.60	1.00	OK	OK	14.44	18.26	1.22	1.21
0.0077	0.0100	0.373	0.373	0.70	0.90	OK	OK	0.0300	0.0700	0.40	0.87	OK	OK	10.48	10.34	1.22	1.21
0.0084	0.0084	0.110	0.104	1.06	1.06	OK	OK	0.0200	0.0300	0.40	1.00	OK	OK	10.31	11.12	1.22	1.21
0.0084	0.0041	0.212	0.206	1.10	1.60	OK	OK	0.0300	0.0300	0.40	0.80	OK	OK	30.21	19.05	1.22	1.21
0.0084	0.0084	0.244	0.240	1.25	1.39	OK	OK	0.0200	0.0400	1.20	1.11	NO OK	NO OK	15.06	10.65	1.22	1.21
0.0084	0.0084	0.240	0.240	0.81	0.78	OK	OK	0.0300	0.0300	0.20	0.90	OK	OK	20.70	10.65	1.22	1.21
0.0077	0.0077	0.201	0.202	1.74	2.05	OK	OK	0.0300	0.0400	1.20	1.42	NO OK	NO OK	10.46	11.00	1.22	1.21
0.0084	0.0084	0.211	0.206	1.75	1.61	OK	OK	0.0300	0.0300	0.40	0.80	OK	OK	23.47	17.98	1.22	1.21
0.0084	0.0077	0.143	0.144	1.06	1.43	OK	OK	0.0300	0.0300	1.00	1.50	NO OK	NO OK	11.87	5.68	1.22	1.21
0.0084	0.0084	0.211	0.206	0.93	0.71	NO OK	NO OK	0.0300	0.0400	0.70	1.42	NO OK	NO OK	1.00	1.00	1.22	1.21

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 197. Trayectoria 7mo tramo.

TRAMO 7										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
107	106	58.16	57.15	115.00	0.90	1.21	2.10	18.00	2.53	414.81
106	105	57.15	55.94	108.66	1.20	2.42	4.19	8.00	1.70	55.10
105	104	55.94	52.52	101.24	3.40	3.62	6.29	42.00	8.64	7722.22
88	104	18.43	13.52	111.91	4.40	1.21	2.10	12.00	2.48	180.86
104	103	52.52	47.78	163.09	3.00	6.04	10.49	42.00	8.12	7253.76
89	103	25.77	17.78	112.94	7.10	1.21	2.10	12.00	5.42	395.17
103	102	47.78	44.71	109.93	2.80	8.46	14.68	48.00	8.57	10005.23
90	102	21.65	14.71	112.08	6.20	1.21	2.10	12.00	2.96	215.87
102	101	44.71	38.37	111.10	5.80	10.87	18.88	48.00	12.33	14399.98
91	101	20.29	18.37	112.09	1.80	1.21	2.10	12.00	2.73	198.97
101	100	38.37	32.17	113.06	5.50	13.29	23.07	48.00	12.01	14022.63
92	100	17.73	12.17	112.13	5.00	1.21	2.10	12.00	2.68	195.45
100	99	32.17	25.36	109.96	6.20	15.70	27.26	48.00	12.75	14888.26
93	99	23.24	15.36	114.10	7.00	1.21	2.10	12.00	5.38	392.38
99	98	25.36	17.66	111.85	6.90	18.12	31.46	54.00	14.55	21502.02
98	121	17.66	10.59	111.47	6.40	134.08	232.80	78.00	17.91	55209.48

Cuadro 196. Chequeo 7mo tramo.

TRAMO 7																				
Relación q/y		Rel. v/v		Velocidad		¿Cumple con el rango?		Rel. d/D		Diseño		¿Cumple?		Alma en		Cotas Brutas (m)				
Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Final	Salida	Inicial	Final			
0.0000	0.0000	0.211	0.266	0.62	0.62	NO OK	OK	0.1400	0.1000	1.14	1.32	OK	OK	58.88	61.81	1.22	1.20			
0.0048	0.0061	0.587	0.558	0.66	1.03	OK	OK	0.1400	0.1000	1.14	1.32	NO OK	NO OK	58.88	54.57	1.28	1.37			
0.0089	0.0098	0.729	0.713	1.11	1.11	OK	OK	0.0175	0.0171	0.74	0.73	OK	OK	58.84	55.10	1.40	1.42			
0.0087	0.0114	0.389	0.541	0.70	1.01	OK	OK	0.0600	0.0771	0.71	0.91	OK	OK	17.01	19.28	1.24	1.24			
0.0089	0.0014	0.152	0.189	1.21	1.49	OK	OK	0.0325	0.0309	0.95	1.26	OK	NO OK	11.35	9.36	2.01	2.01			
0.0031	0.0093	0.296	0.477	1.27	1.49	OK	OK	0.0423	0.0519	0.93	0.89	OK	OK	29.93	19.33	1.22	1.22			
0.0098	0.0052	0.132	0.184	1.20	1.28	OK	OK	0.0242	0.0302	1.08	1.44	NO OK	NO OK	10.59	11.43	2.12	2.12			
0.0096	0.0097	0.273	0.332	0.81	0.93	OK	OK	0.0396	0.0396	1.06	0.84	OK	OK	29.93	11.88	1.22	1.22			
0.0098	0.0052	0.152	0.178	1.87	1.15	OK	OK	0.0374	0.0374	1.08	1.32	NO OK	NO OK	11.45	11.43	2.12	2.12			
0.0081	0.0104	0.381	0.527	0.77	0.89	OK	OK	0.0375	0.0375	1.08	0.87	OK	OK	10.07	12.64	1.32	1.32			
0.0089	0.0016	0.143	0.104	1.46	1.13	OK	OK	0.0370	0.0371	1.32	1.32	NO OK	NO OK	17.02	10.80	2.13	2.14			
0.0062	0.0107	0.281	0.334	0.75	0.89	OK	OK	0.0375	0.0375	0.89	0.89	OK	OK	10.31	10.80	1.32	1.26			
0.0011	0.0018	0.183	0.194	1.08	1.47	OK	OK	0.0326	0.0324	1.26	1.26	NO OK	NO OK	10.87	6.00	4.12	4.12			
0.0031	0.0053	0.249	0.277	1.28	1.47	OK	OK	0.0282	0.0323	0.51	0.60	OK	OK	20.02	14.88	1.22	1.22			
0.0098	0.0016	0.152	0.184	1.21	1.49	OK	OK	0.0323	0.0309	1.22	1.42	NO OK	NO OK	14.42	8.27	1.14	1.14			
0.0034	0.0042	0.212	0.248	1.81	2.44	NO OK	NO OK	0.0371	0.0471	3.35	3.71	NO OK	NO OK	6.20	-0.88	1.14	1.13			

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 198. Trayectoria 8vo tramo.

TRAMO 8										
Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m3/s)
109	110	65.68	65.16	58.57	0.90	1.21	2.10	18.00	2.53	414.81
110	111	65.16	62.71	30.90	8.00	2.42	4.19	15.00	6.67	760.55
111	112	62.71	59.90	65.44	4.30	3.62	6.29	20.00	5.92	1200.84
107	112	19.18	18.90	111.19	0.30	1.21	2.10	20.00	1.56	317.18
112	113	59.90	58.04	118.96	1.60	6.04	10.49	24.00	4.08	1191.14
106	113	16.15	11.04	114.79	4.50	1.21	2.10	12.00	2.54	185.24
113	114	58.04	56.82	116.41	1.10	8.46	14.68	30.00	3.93	1790.71
105	114	15.94	10.82	110.83	4.70	1.21	2.10	12.00	2.57	187.43
114	115	56.82	53.19	104.76	3.50	10.87	18.88	36.00	7.91	5194.12
104	115	23.46	19.19	111.79	3.90	1.21	2.10	12.00	4.01	292.88
115	116	53.19	51.50	161.28	1.10	13.29	23.07	36.00	4.43	2911.89
103	116	17.78	11.50	108.96	5.80	1.21	2.10	12.00	2.89	210.76
116	117	51.50	48.13	111.03	3.10	15.70	27.26	42.00	8.25	7373.67
102	117	24.71	18.13	110.61	6.00	1.21	2.10	12.00	2.93	213.68
117	118	48.13	42.57	112.17	5.00	18.12	31.46	42.00	10.48	9364.57
101	118	18.37	12.57	110.27	5.30	1.21	2.10	12.00	2.76	201.28
118	119	42.57	35.79	115.93	5.90	20.53	35.65	42.00	11.38	10172.53
100	119	22.17	15.80	112.53	5.70	1.21	2.10	12.00	2.84	207.12
119	120A	35.79	29.59	109.40	5.70	22.95	39.85	42.00	11.19	9998.62
99	120A	25.36	19.59	110.01	5.30	1.21	2.10	12.00	2.76	201.28
120A	121	29.59	20.67	108.69	8.30	25.37	44.04	54.00	15.96	23582.71
121	147	20.67	12.71	177.00	4.50	160.65	278.94	78.00	15.02	46294.55

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 199. Chequeo 8vo tramo.

TRAMO 8																				
Relación q/y		Rel. v/v		Velocidad		¿Cumple con el rango?		Rel. d/D		Diseño		¿Cumple?		Alma en		Cotas Brutas (m)				
Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Final	Salida	Inicial	Final			
0.0000	0.0000	0.211	0.266	0.62	0.62	NO OK	OK	0.1400	0.1000	0.72	0.81	OK	OK	64.48	61.81	1.22	1.20			
0.0032	0.0033	0.230	0.271	1.53	1.82	OK	OK	0.0451	0.0350	0.64	0.63	OK	OK	63.90	61.43	1.26	1.20			
0.0030	0.0031	0.230	0.268	1.80	1.80	OK	OK	0.0451	0.0450	0.65	0.68	OK	OK	63.90	58.50	1.31	1.31			
0.0038	0.0066	0.239	0.239	0.37	0.41	NO OK	NO OK	0.0450	0.0400	0.60	1.28	OK	NO OK	12.86	12.82	1.24	1.24			
0.0000	0.0000	0.246	0.214	0.86	0.82	OK	OK	0.0450	0.0375	1.00	1.02	NO OK	NO OK	12.89	12.82	1.22	1.22			
0.0000	0.0011	0.263	0.251	0.76	0.86	OK	OK	0.0450	0.0350	0.62	0.68	OK	OK	14.95	9.26	1.24	1.24			
0.0047	0.0032	0.256	0.301	1.81	1.20	OK	OK	0.0450	0.0450	1.30	1.05	NO OK	NO OK	0.71	4.41	2.42	2.42			
0.0000	0.0010	0.263	0.251	0.75	0.86	OK	OK	0.0451	0.0350	0.69	0.68	OK	OK	14.75	9.21	1.26	1.31			
0.0011	0.0016	0.269	0.259	1.81	1.89	OK	OK	0.0450	0.0450	1.26	1.62	NO OK	NO OK	9.48	1.27	2.27	2.27			
0.0044	0.0012	0.248	0.267	1.80	1.19	OK	OK	0.0473	0.0424	1.07	0.79	OK	OK	17.84	17.84	1.22	1.31			
0.0046	0.0079	0.240	0.209	1.14	1.20	OK	OK	0.0450	0.0450	1.00	2.14	NO OK	NO OK	14.85	16.07	1.27	1.24			
0.0077	0.0080	0.273	0.257	0.70	0.80	OK	OK	0.0450	0.0375	0.68	0.87	OK	OK	16.50	10.24	1.22	1.26			
0.0011	0.0017	0.263	0.259	1.87	1.97	OK	OK	0.0450	0.0450	1.47	1.84	NO OK	NO OK	10.21	6.77	2.06	4.14			
0.0011	0.0000	0.275	0.250	0.86	0.86	OK	OK	0.0450	0.0375	0.65	0.84	OK	OK	17.89	10.41	1.22	1.20			
0.0010	0.0010	0.263	0.263	2.10	2.10	NO OK	OK	0.0450	0.0450	1.47	1.79	NO OK	OK	14.82	11.41	1.10	3.14			
0.0000	0.0024	0.261	0.267	0.78	0.80	OK	OK	0.0472	0.0472	0.60	0.81	OK	OK	11.32	11.40	1.22	1.20			
0.0000	0.0004	0.263	0.259	2.10	2.10	OK	OK	0.0450	0.0450	1.47	1.84	NO OK	NO OK	11.27	4.49	3.10	3.14			
0.0010	0.0010	0.270	0.257	0.78	0.70	OK	OK	0.0450	0.0375	0.66	0.87	OK	OK	10.47	14.51	1.22	1.20			
0.0011	0.0000	0.261	0.248	2.17	2.17	OK	OK	0.0471	0.0471	1.59	2.00	NO OK	NO OK	14.50	4.27	2.10	2.10			
0.0000	0.0010	0.261	0.267	0.78	0.80	OK	OK	0.0471	0.0471	0.66	0.87	OK	OK	14.14	14.51	1.22	1.20			
0.0011	0.0000	0.180	0.180	2.40	2.40	NO OK	NO OK	0.0450	0.0450	1.30	1.26	NO OK	NO OK	14.26	2.26	2.10	2.10			
0.0010	0.0000	0.250	0.251	3.50	4.22	OK	NO OK	0.0450	0.0375	3.21	4.49	NO OK	NO OK	4.21	1.22	1.14	1.14			

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)



Cuadro 203. Chequeo 10mo tramo.

Relación q/Q		Rel. v/v		Velocidad		Caudal (con el rango)		Rel. D/D		Dispersión		Caudal		Área (m²)		Costo (pesos)	
Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro
0.0011	0.0005	0.203	0.276	0.73	0.83	OK	OK	0.0176	0.0169	0.61	0.61	OK	OK	13.19	13.92	1.12	1.24
0.0012	0.0012	0.174	0.201	1.14	1.36	OK	OK	0.0176	0.0159	0.66	0.64	OK	OK	13.26	7.52	1.12	1.12
0.0012	0.0014	0.163	0.194	0.64	0.76	OK	OK	0.0180	0.0162	1.01	1.12	NO/OK	NO/OK	7.29	6.26	1.12	1.14
0.0013	0.0019	0.246	0.320	0.77	1.01	OK	OK	0.0249	0.0200	0.84	0.84	OK	OK	18.49	13.78	1.22	1.24
0.0014	0.0019	0.259	0.307	0.69	1.06	OK	OK	0.0298	0.0269	0.66	0.76	OK	OK	20.50	18.49	1.22	1.32
0.0018	0.0014	0.152	0.184	1.21	1.46	OK	OK	0.0371	0.0300	1.03	1.43	NO/OK	NO/OK	18.57	13.71	1.42	1.44
0.0019	0.0011	0.211	0.26	0.36	0.61	NO/OK	OK	0.0408	0.0360	0.71	0.81	OK	OK	11.51	13.30	1.22	1.24
0.0019	0.0011	0.182	0.181	0.98	1.11	OK	OK	0.0259	0.0250	0.75	0.95	OK	OK	15.67	10.91	1.22	1.22
0.0019	0.0014	0.152	0.184	1.06	1.29	OK	OK	0.0224	0.0200	0.81	1.08	NO/OK	NO/OK	10.86	10.41	1.30	1.32
0.0019	0.0014	0.152	0.184	1.01	1.22	OK	OK	0.0219	0.0200	0.95	1.26	NO/OK	NO/OK	19.14	9.26	1.32	1.34
0.0011	0.0020	0.174	0.201	1.03	1.20	OK	OK	0.0279	0.0150	1.14	1.47	NO/OK	NO/OK	9.73	7.61	1.42	1.56
0.0019	0.0014	0.164	0.184	0.68	0.79	OK	OK	0.0473	0.0400	0.71	0.90	OK	OK	17.58	13.78	1.32	1.34
0.0012	0.0015	0.212	0.256	1.21	1.46	OK	OK	0.0175	0.0200	0.68	0.90	OK	OK	21.26	18.00	1.31	1.39
0.0014	0.0014	0.184	0.211	0.77	0.84	OK	OK	0.0280	0.0270	0.60	0.70	OK	OK	20.50	18.12	1.22	1.24
0.0019	0.0014	0.184	0.194	1.29	1.53	OK	OK	0.0259	0.0224	0.90	1.17	OK	NO/OK	18.42	13.19	1.27	1.41
0.0019	0.0015	0.184	0.184	1.06	1.31	OK	OK	0.0256	0.0240	1.20	1.44	NO/OK	NO/OK	11.56	8.64	1.34	1.34
0.0011	0.0017	0.181	0.184	1.34	1.31	OK	OK	0.0256	0.0230	1.20	1.36	NO/OK	NO/OK	11.11	11.71	1.16	1.16
0.0011	0.0019	0.174	0.201	1.93	2.25	OK	OK	0.0275	0.0250	1.32	1.68	NO/OK	NO/OK	4.08	2.41	1.16	1.16
0.0012	0.0015	0.212	0.246	1.24	1.45	OK	OK	0.0275	0.0270	1.05	1.25	NO/OK	NO/OK	9.51	1.91	1.16	1.17
0.0011	0.0012	0.174	0.212	1.42	1.47	OK	OK	0.0279	0.0270	1.65	2.42	NO/OK	NO/OK	1.08	0.71	1.17	1.14
0.0014	0.0014	0.184	0.212	1.34	1.54	OK	OK	0.0280	0.0270	1.80	2.27	NO/OK	NO/OK	0.74	0.98	1.16	1.16
0.0017	0.0017	0.152	0.174	1.44	1.48	OK	OK	0.0271	0.0271	1.63	1.98	NO/OK	NO/OK	1.01	0.31	1.19	1.20

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 204. Trayectoria 11vo tramo.

Pozo de Visita Inicial		Pozo de Visita Final		Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
Actual	Futuro	Actual	Futuro	Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m³/s)
141	142	49.63	45.95	64.04	5.80	1.21	2.10	10.00	2.55	129.14		
116	130	21.50	18.03	81.50	4.30	1.21	2.10	12.00	4.21	307.53		
130	142	18.03	11.04	82.28	8.60	2.42	4.19	18.00	7.81	1282.27		
142	143	45.95	36.17	209.82	4.70	4.83	8.39	42.00	10.16	9079.29		
117	128	17.47	15.56	53.09	3.70	1.21	2.10	8.00	2.98	96.76		
128	127	28.13	25.56	43.49	6.00	2.42	4.19	15.00	5.78	658.65		
127	126	25.56	16.16	121.60	7.80	3.62	6.29	18.00	7.44	1221.18		
126	143	17.98	12.35	60.45	9.40	4.83	8.39	30.00	11.48	5234.70		
143	144	36.17	30.30	111.16	5.30	10.87	18.88	42.00	10.79	9641.41		
118	125	22.56	16.95	73.15	7.70	1.21	2.10	12.00	5.64	411.53		
125	144	16.95	10.30	97.41	6.90	2.42	4.19	18.00	7.00	1148.57		
144	145	30.30	22.53	119.21	6.60	14.50	25.17	42.00	12.04	10759.07		
119	145	25.82	12.55	169.47	7.90	1.21	2.10	12.00	5.71	416.84		
145	146	22.53	17.15	107.93	5.00	16.91	29.36	54.00	12.39	18303.74		
120B	146	29.59	17.15	171.72	7.30	1.21	2.10	12.00	5.49	400.70		
146	147	17.15	12.71	110.25	4.10	19.33	33.56	78.00	14.33	44189.14		

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 205. Chequeo 11vo

Relación q/Q		Rel. v/v		Velocidad		Caudal con el rango		Rel. D/D		Dispersión		Caudal		Área (m²)		Costo (pesos)	
Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro
0.0014	0.0142	0.330	0.375	0.81	0.96	OK	OK	0.0709	0.0699	0.70	0.90	OK	OK	48.41	44.70	1.22	1.22
0.0019	0.0018	0.246	0.249	1.32	1.40	OK	OK	0.0275	0.0260	0.87	0.97	OK	OK	20.26	16.71	1.22	1.28
0.0019	0.0013	0.154	0.210	1.32	1.40	OK	OK	0.0275	0.0242	0.79	0.97	OK	OK	19.74	9.97	1.20	1.37
0.0019	0.0019	0.141	0.163	1.41	1.46	OK	OK	0.0200	0.0200	0.84	1.05	OK	NO/OK	9.44	6.21	1.43	1.44
0.0013	0.0017	0.246	0.249	1.06	1.20	OK	OK	0.0200	0.0200	0.64	0.80	OK	OK	20.26	14.29	1.30	1.32
0.0017	0.0014	0.219	0.211	1.39	1.42	OK	OK	0.0419	0.0373	0.68	0.86	OK	OK	11.60	11.60	1.39	1.39
0.0019	0.0012	0.220	0.246	1.71	1.83	OK	OK	0.0419	0.0400	0.77	0.81	OK	OK	11.82	11.11	1.39	1.40
0.0019	0.0016	0.141	0.164	1.47	1.41	OK	OK	0.0200	0.0200	0.75	0.90	OK	OK	11.40	13.58	1.40	1.40
0.0011	0.0010	0.154	0.203	1.89	1.20	OK	OK	0.0275	0.0200	1.28	1.47	NO/OK	NO/OK	10.61	9.20	1.38	1.38
0.0019	0.0011	0.221	0.246	1.24	1.39	OK	OK	0.0200	0.0200	0.48	0.54	OK	OK	11.34	15.71	1.22	1.24
0.0011	0.0017	0.240	0.219	1.45	1.47	OK	OK	0.0200	0.0200	0.84	0.81	OK	OK	11.48	11.48	1.22	1.24
0.0011	0.0011	0.144	0.219	2.21	2.33	OK	OK	0.0200	0.0219	1.20	1.53	NO/OK	NO/OK	11.30	1.36	2.14	2.15
0.0019	0.0010	0.221	0.246	1.26	1.41	OK	OK	0.0400	0.0400	0.48	0.54	OK	OK	24.40	11.21	1.22	1.34
0.0019	0.0016	0.141	0.164	2.00	2.00	OK	OK	0.0200	0.0200	1.30	1.40	NO/OK	NO/OK	11.18	7.78	1.13	1.14
0.0019	0.0012	0.210	0.246	1.28	1.33	OK	OK	0.0275	0.0249	0.51	0.56	OK	OK	20.37	15.88	1.22	1.32
0.0014	0.0016	0.129	0.152	1.40	2.14	OK	OK	0.0275	0.0221	1.37	1.28	NO/OK	NO/OK	0.81	11.29	1.20	1.42

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 206. Trayectoria 12vo tramo.

Pozo de Visita Inicial		Pozo de Visita Final		Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
Actual	Futuro	Actual	Futuro	Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m³/s)
163	162	69.64	55.09	269.75	5.40	26.57	46.14	60.00	13.81	25192.52		
162	161	55.09	41.20	233.98	6.00	27.78	48.24	66.00	15.51	34239.77		
161	160	41.20	40.08	134.74	0.90	28.99	50.34	66.00	6.01	13261.01		
160	193	40.08	39.44	84.84	0.80	30.20	52.43	66.00	5.66	12502.60		
187	188	34.61	30.77	104.43	3.70	1.21	2.10	12.00	3.91	285.27		
188	189	30.77	28.44	69.02	3.40	2.42	4.19	18.00	4.91	806.25		
189	190	28.44	26.41	75.25	2.80	3.62	6.29	54.00	9.27	13697.26		
190	191	26.41	24.03	83.93	2.90	4.83	8.39	66.00	10.78	23804.23		
191	192	24.03	19.50	183.06	2.50	6.04	10.49	54.00	8.76	12942.70		
192	193	19.50	19.44	104.31	0.10	7.25	12.58	48.00	1.62	1890.81		
193	197	39.44	32.87	191.29	3.50	8.46	14.68	72.00	12.56	32980.61		
160	159	31.22	26.36	109.94	4.50	1.21	2.10	10.00	3.82	193.47		
159	158	26.36	22.39	94.99	4.30	2.42	4.19	15.00	4.89	557.59		
158	197	22.39	21.87	212.53	0.30	3.62	6.29	24.00	1.77	515.78		
197	196	32.87	30.06	38.38	7.40	4.83	8.39	84.00	20.23	72337.81		
196	198	30.06	29.52	133.21	0.50	6.04	10.49	84.00	5.26	18803.32		
198	200	29.52	27.95	63.25	2.50	7.25	12.58	84.00	11.76	42045.50		
199	200	31.50	30.80	60.04	1.20	1.21	2.10	16.00	2.70	349.88		
200	201	27.95	26.25	86.11	2.00	9.66	16.78	84.00	10.52	37606.64		
201	202	26.25	25.94	38.01	0.90	10.87	18.88	84.00	7.06	25227.30		
202	203	25.94	25.58	88.69	0.50	12.08	20.97	84.00	5.26	18803.32		
203	204	25.58	19.85	127.87	4.50	13.29	23.07	84.00	15.78	56409.95		
204	205	19.85	12.91	153.01	4.60	14.50	25.17	84.00	15.95	57033.29		

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 207. Chequeo 12vo tramo.

Estación (K)		Rt (V)		Velocidad		Cuenta con el signo		Rt (D)		Pasaje		Cuentas		Altim (m)		Cota (m)	
Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final
0.0001	0.0003	0.100	0.104	2.24	2.44	OK	OK	0.0010	0.0020	1.00	1.00	NO OK	NO OK	18.42	18.43	1.22	1.24
0.0004	0.0014	0.101	0.104	2.30	2.41	OK	OK	0.0014	0.0030	1.40	1.38	NO OK	NO OK	18.42	18.74	1.27	1.41
0.0013	0.0024	0.201	0.209	1.20	1.44	OK	OK	0.0010	0.0030	2.31	2.37	NO OK	NO OK	18.75	18.84	1.40	1.51
0.0021	0.0031	0.211	0.240	1.40	1.40	OK	OK	0.0071	0.0075	2.40	3.14	NO OK	NO OK	18.51	17.63	1.56	1.61
0.0031	0.0034	0.240	0.247	0.97	1.14	OK	OK	0.0071	0.0075	0.71	0.73	OK	OK	18.38	18.73	1.27	1.29
0.0039	0.0042	0.240	0.246	1.13	1.21	OK	OK	0.0042	0.0040	0.77	0.81	OK	OK	18.20	17.13	1.27	1.29
0.0047	0.0051	0.100	0.105	1.08	1.20	OK	OK	0.0050	0.0050	0.81	0.85	OK	OK	18.14	18.01	1.28	1.29
0.0052	0.0054	0.100	0.105	1.11	1.25	OK	OK	0.0042	0.0040	0.83	0.99	OK	NO OK	18.48	18.25	1.43	1.49
0.0059	0.0064	0.100	0.102	1.10	1.33	OK	OK	0.0071	0.0075	0.60	1.12	OK	NO OK	17.51	17.44	1.31	1.36
0.0064	0.0067	0.200	0.200	0.40	0.47	NO OK	NO OK	0.0071	0.0060	2.51	2.04	NO OK	NO OK	17.41	17.41	1.50	1.44
0.0064	0.0064	0.110	0.119	1.46	1.42	OK	OK	0.0050	0.0075	1.00	1.38	NO OK	NO OK	17.70	11.48	2.17	2.14
0.0068	0.0074	0.201	0.214	1.07	1.24	OK	OK	0.0071	0.0070	0.74	0.75	OK	OK	18.00	18.00	1.32	1.31
0.0071	0.0073	0.200	0.207	1.25	1.45	OK	OK	0.0030	0.0025	0.75	0.84	OK	OK	18.42	20.36	1.34	1.41
0.0073	0.0073	0.200	0.200	0.91	0.91	NO OK	NO OK	0.0000	0.0000	1.04	1.02	NO OK	NO OK	18.39	18.29	1.46	1.29
0.0074	0.0074	0.000	0.000	1.00	1.14	OK	OK	0.0073	0.0080	0.43	0.44	OK	OK	18.20	17.42	1.26	1.26
0.0075	0.0075	0.100	0.101	0.81	0.78	OK	OK	0.0050	0.0050	1.00	1.08	NO OK	NO OK	17.20	16.73	1.27	1.26
0.0075	0.0075	0.100	0.106	1.21	1.35	OK	OK	0.0042	0.0040	1.05	1.35	NO OK	NO OK	16.70	15.11	1.24	1.14
0.0077	0.0080	0.200	0.201	0.64	0.76	OK	OK	0.0040	0.0075	0.71	0.91	OK	OK	18.24	18.40	1.32	1.34
0.0077	0.0084	0.110	0.110	1.20	1.38	OK	OK	0.0050	0.0075	1.20	1.47	NO OK	NO OK	17.43	17.41	1.58	1.58
0.0084	0.0087	0.110	0.112	0.91	1.07	OK	OK	0.0071	0.0075	1.47	1.49	NO OK	NO OK	17.70	27.44	1.33	1.30
0.0088	0.0091	0.401	0.174	0.74	0.92	OK	OK	0.0000	0.0025	1.04	2.11	NO OK	NO OK	17.41	18.76	1.47	1.34
0.0091	0.0094	0.101	0.109	1.03	2.00	OK	OK	0.0042	0.0075	1.00	1.47	NO OK	NO OK	18.87	21.19	1.35	1.31
0.0092	0.0094	0.110	0.109	1.05	2.08	OK	OK	0.0040	0.0075	1.08	1.47	NO OK	NO OK	18.10	14.11	1.20	1.20

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 208. Trayectoria 13vo tramo.

Pozo de Visita Inicial	Pozo de Visita Final	Cotas terreno		D (m)	S (%)	q diseño		φ (in)	Sección llena	
		Inicial	Final			Actual	Futuro		V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
		96B	97			31.91	26.14		108.13	5.40
97	122	26.14	21.70	88.26	5.10	2.42	4.19	16.00	5.56	721.29
122	123	21.70	19.67	58.50	3.50	3.62	6.29	42.00	8.77	7834.96
123	144	19.67	18.65	76.71	1.40	4.83	8.39	54.00	6.56	9685.43
144	151	18.65	16.84	123.96	1.50	6.04	10.49	60.00	7.28	13277.62
151	153	16.84	16.45	145.34	0.30	7.25	12.58	30.00	2.05	935.17
147	153	25.40	20.31	304.02	1.70	161.86	281.04	105.00	11.25	62863.80
153	205	20.31	12.91	289.43	2.60	170.32	295.72	105.00	13.92	77743.28

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 209. Chequeo 13vo tramo.

Estación (K)		Rt (V)		Velocidad		Cuenta con el signo		Rt (D)		Pasaje		Cuentas		Altim (m)		Cota (m)	
Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final	Actual	Final
0.0014	0.0018	0.104	0.211	1.11	1.16	OK	OK	0.0012	0.0040	0.12	0.44	OK	OK	18.60	24.83	1.22	1.29
0.0013	0.0014	0.210	0.214	1.24	1.24	OK	OK	0.0010	0.0010	0.64	0.64	OK	OK	18.43	18.32	1.32	1.34
0.0005	0.0008	0.110	0.112	1.11	1.13	OK	OK	0.0019	0.0012	0.14	0.05	OK	OK	18.20	18.24	1.41	1.41
0.0005	0.0009	0.110	0.113	0.81	1.07	OK	OK	0.0019	0.0010	0.05	0.15	OK	NO OK	17.14	17.14	1.46	1.51
0.0005	0.0008	0.110	0.112	0.84	1.11	OK	OK	0.0019	0.0012	1.05	1.15	NO OK	NO OK	17.11	15.25	1.54	1.59
0.0007	0.0014	0.200	0.211	0.81	0.81	OK	OK	0.0040	0.0040	1.05	2.08	NO OK	NO OK	18.14	18.14	1.42	1.47
0.0008	0.0043	0.212	0.210	1.10	2.10	OK	OK	0.0019	0.0040	1.14	1.15	NO OK	NO OK	18.14	18.00	1.50	1.50
0.0002	0.0004	0.203	0.210	2.03	3.33	OK	NO OK	0.0040	0.0040	1.04	4.73	NO OK	NO OK	18.90	11.40	1.31	1.41

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Figura 77. Ubicación pozos de visita de La Antigua Guatemala.



Fuente: (Gutiérrez, 2017).

Cuadro 210. Relación de diámetros, caudales, áreas y velocidades.

d/D	a/A	v/V	q/Q
0.0050	0.00060	0.050	0.000030
0.0075	0.00110	0.074	0.000081
0.0100	0.00167	0.088	0.000147
0.0125	0.00237	0.103	0.000244
0.0150	0.0031	0.116	0.000360
0.0175	0.00391	0.129	0.000504
0.0200	0.00477	0.141	0.000672
0.0225	0.00569	0.152	0.000865
0.0250	0.00665	0.163	0.001084
0.0275	0.00768	0.174	0.001336
0.0300	0.00874	0.184	0.001608
0.0325	0.00985	0.194	0.001911
0.0350	0.01100	0.203	0.002233
0.0375	0.01219	0.212	0.002584
0.0400	0.01342	0.221	0.002966
0.0425	0.01468	0.230	0.003376
0.0450	0.01599	0.239	0.003822
0.0475	0.01732	0.248	0.004295
0.0500	0.01870	0.256	0.004787
0.0525	0.02010	0.264	0.005306

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

Cuadro 211. Velocidades y caudales a sección llena para tuberías de concreto.

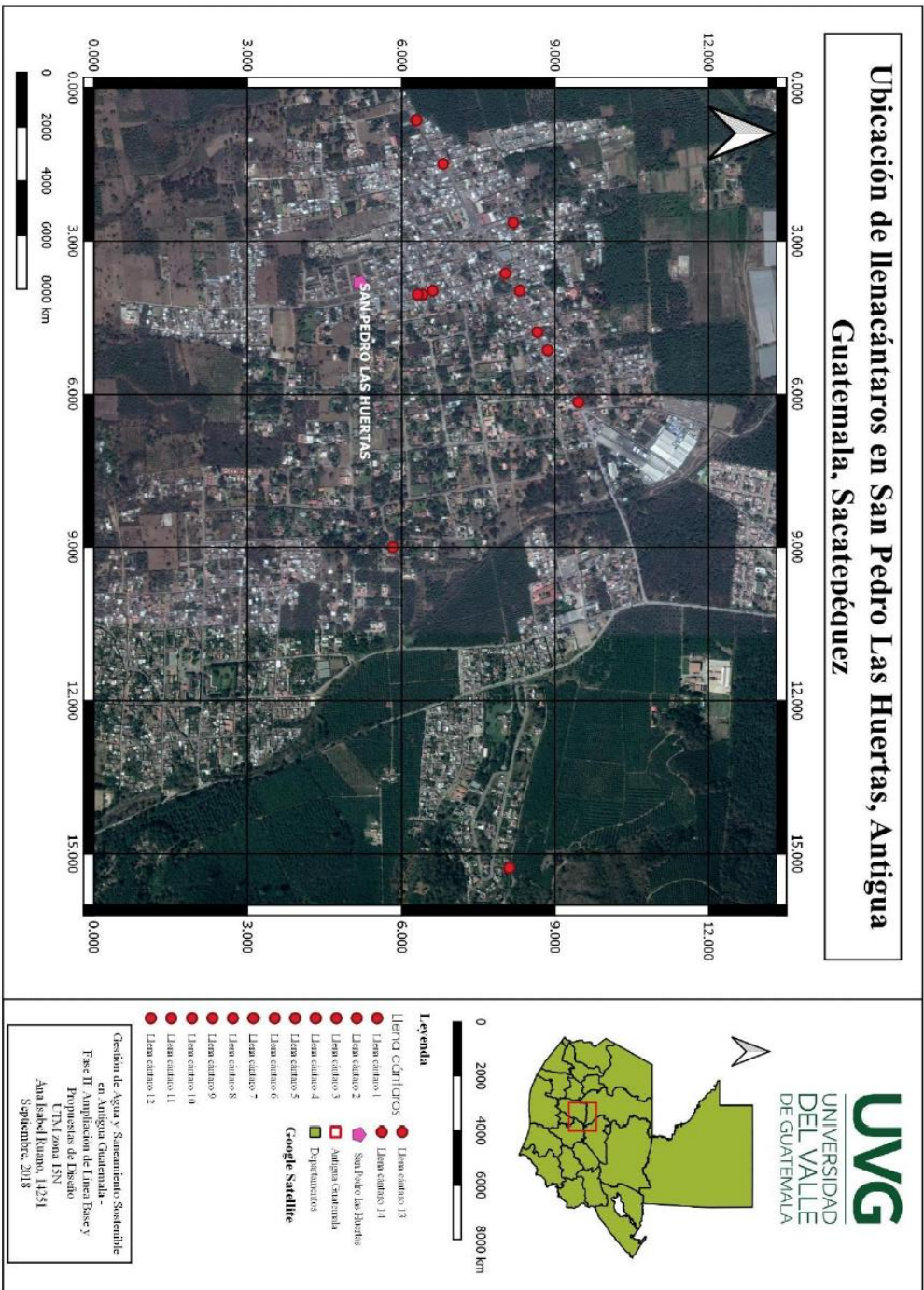
s %	8		10		12	
	v	Q	v	Q	v	Q
0.1						
0.15						
0.2						
0.25					0.6	43.73
0.3			0.58	29.58	0.66	47.89
0.35			0.63	31.93	0.71	50.76
0.4	0.58	18.73	0.67	34.12	0.76	55.33
0.45	0.61	19.86	0.71	36.21	0.8	58.69
0.5	0.65	20.96	0.75	38.15	0.85	61.83
0.55	0.68	21.97	0.78	40.03	0.89	65.55
0.6	0.71	22.94	0.82	41.82	0.93	67.69
0.65	0.74	23.88	0.85	43.6	0.96	70.74
0.7	0.76	24.79	0.89	45.05	1	73.11
0.75	0.79	25.66	0.92	46.55	1.04	75.68
0.8	0.82	26.5	0.95	48.07	1.07	78.17
0.85	0.84	27.31	0.98	49.5	1.1	80.37
0.9	0.87	28.09	1.01	51.11	1.14	82.91
0.95	0.89	28.87	1.03	52.12	1.17	85.17
1	0.91	29.61	1.06	53.6	1.2	87.39
1.1	0.96	31.07	1.11	56.17	1.26	91.89
1.2	1	32.45	1.16	58.7	1.31	95.54
1.3	1.04	33.79	1.21	60.23	1.37	99.91
1.4	1.08	35.06	1.26	63.76	1.42	103.56
1.5	1.12	36.29	1.3	65.78	1.47	107.03
1.6	1.16	37.49	1.34	67.8	1.52	110.85
1.7	1.119	38.62	1.38	69.83	1.56	113.77
1.8	1.23	39.75	1.42	71.85	1.61	117.42

Fuente: (David Andrés de León Ocampo)

D. Agua potable en la aldea San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala

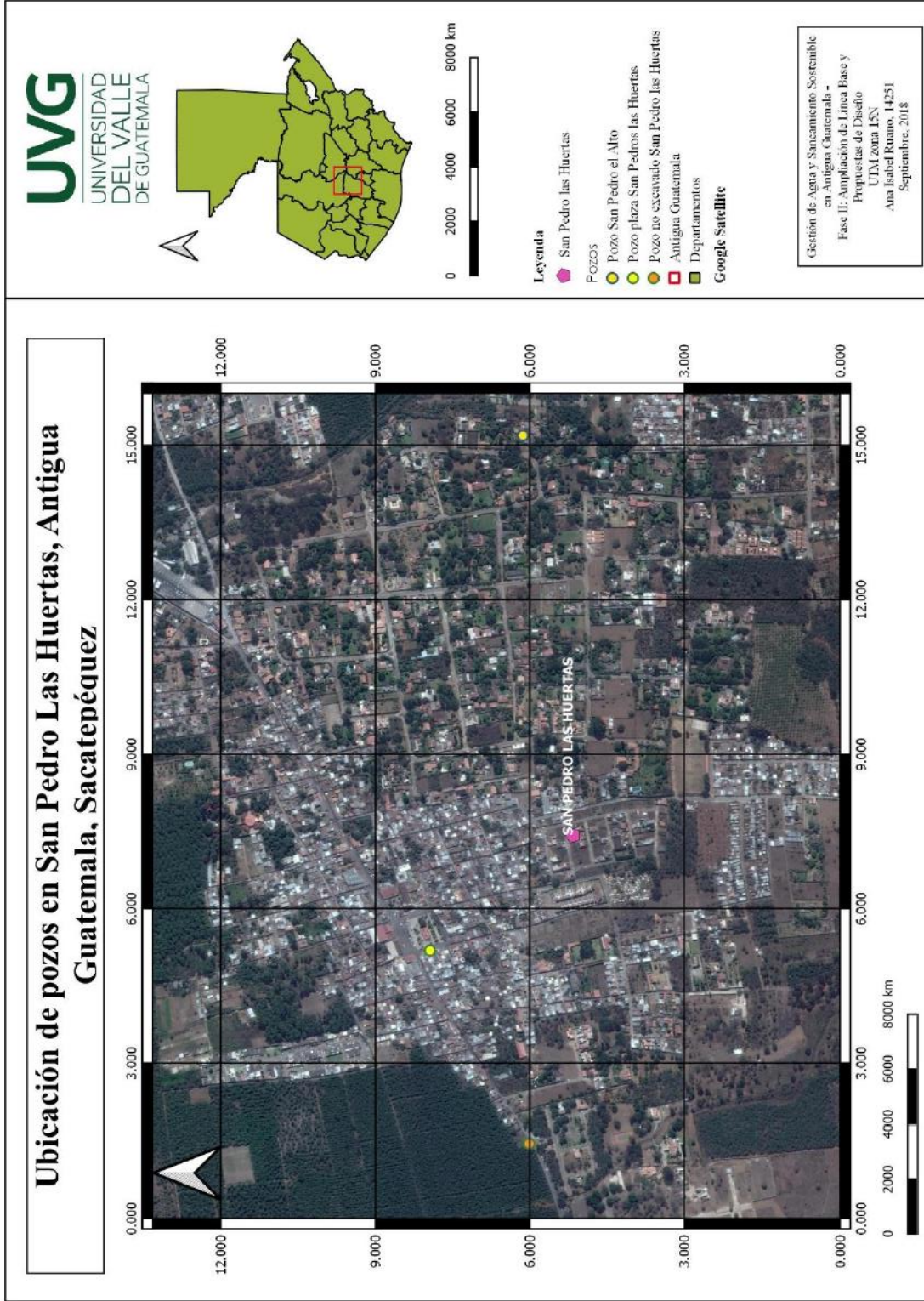
1. Mapas temáticos

Figura 78. Ubicación de llenacántaros en San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala



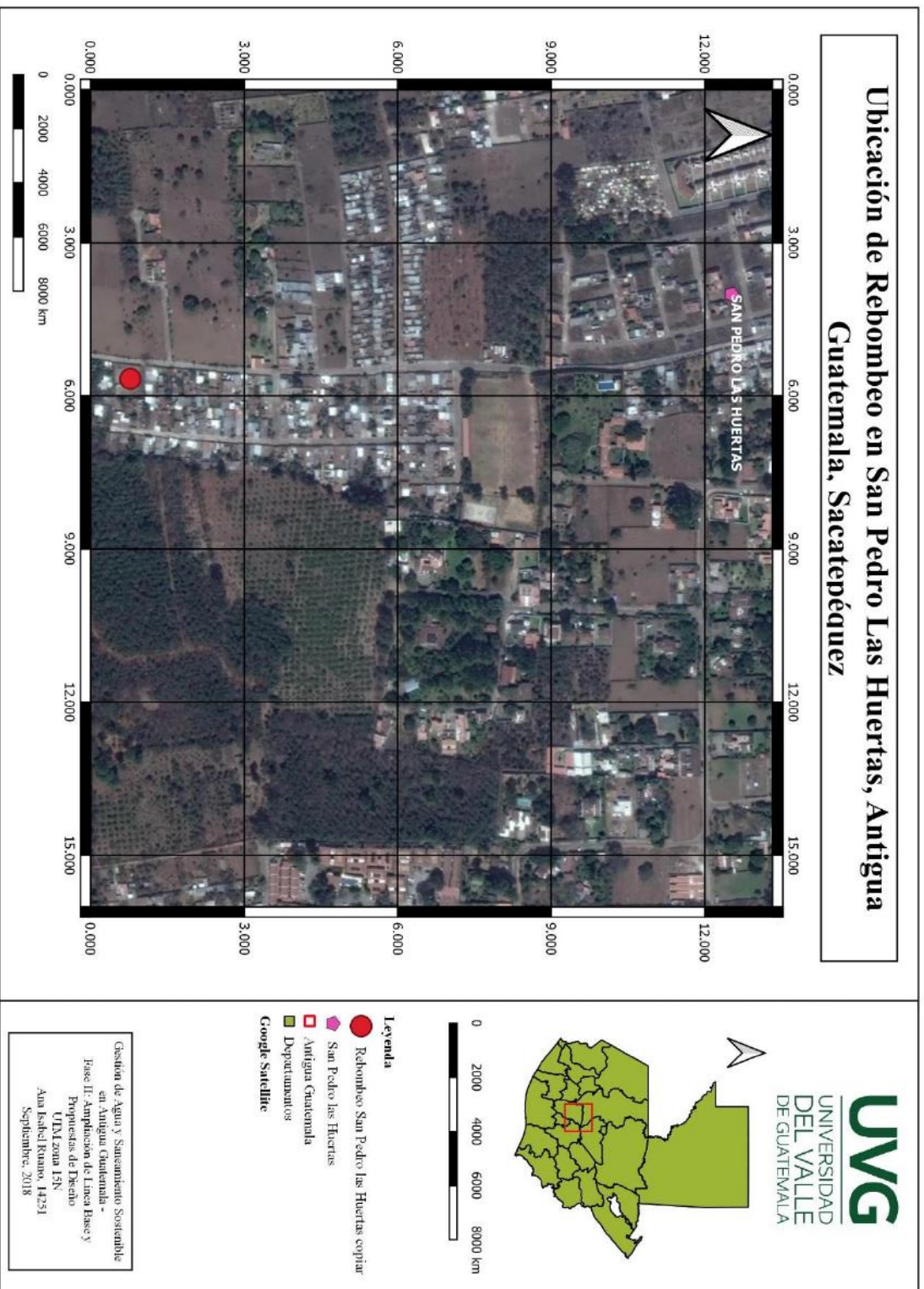
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Figura 79. Mapa temático de ubicación de pozos



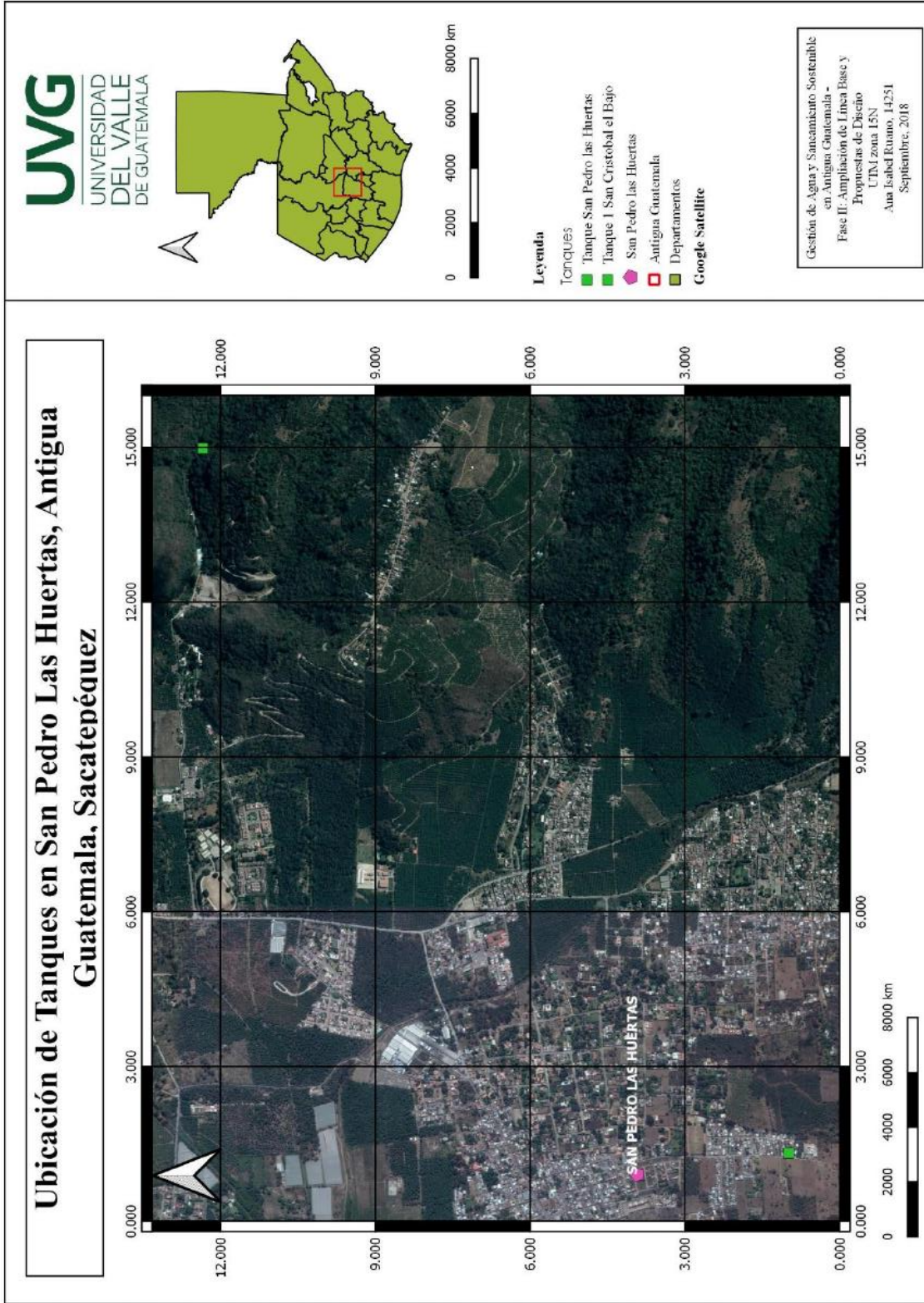
Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Figura 80. Mapa temático de ubicación de rebombeo



Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Figura 81. Mapa temático de ubicación de tanques




Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

2. Calidad del agua

Figura 82: Análisis fisicoquímico de agua de pozo nuevo en San Pedro las Huertas

**LABORATORIO DE ANALISIS  
CLINICOS E INDUSTRIALES**



ACREDITADO ISO/IEC 17025  
OGA-LE-044-11

30 Calle 17-50 Zona 12 Col. Sta. Rosa II  
PBX: (502) 2506-3131

Ave. Petapa 28-98 Zona 12  
Edificio "La Gran Vía"  
Tel. (502) 2442-2220 / 2442-3929

Referencia: I 16 0126	Fecha Informe de Resultado: 15/01/2016	Página 1(2)
-----------------------	--	-------------

**INFORME DE RESULTADOS**

<b>Con atención a:</b> POZO ANTIGUA	<b>Teléfono:</b> --- <b>Correo Electrónico:</b> ---
--	--

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:	
Fecha y hora de muestreo:	---
Responsable del muestreo:	Cristian del Valle (Paiza Bombas)
Tipo de muestra:	<b>AGUA</b>
Recepción de Muestra en el Laboratorio:	11/01/2016 11:25 horas
Fecha de procesamiento:	11/01/2016 11:35 horas

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA**


I 16 0126	AGUA - CONSTRUPOZOS, POZO ANTIGUA		
ANÁLISIS*	RESULTADOS MUESTRA	ESPECIFICACIÓN <sup>1</sup>	MÉTODO <sup>2</sup>
Coliformes totales	4 NMP /100 mL	No detectable /100 mL	SM 9221 B
<i>Escherichia coli</i>	No detectable /100 mL	No detectable /100 mL	SM 9221 F

NMP Número Más Probable en 100 mililitros

<sup>1</sup> Especificaciones según COGUANOR 29001 AGUA POTABLE Especificaciones. 2010.


<sup>2</sup> Método de análisis: COGUANOR y Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA). 21<sup>th</sup> Ed. USA. 2005

\* Análisis Acreditados ISO/IEC 17025:2005 - OGA - LE - 044 - 11




Gustavo Castro Paz  
Quetzaltenango, B.G.

Gustavo Castro, Q.B.  
LABORATORIO ANÁLISIS  
INDUSTRIALES



Licda. Carolina Richter de Pineda  
Quetzaltenango, B.G.

Licda. Carolina Richter  
GESTIÓN DE CALIDAD



30 Calle 17-50, Zona 12  
PBX: 2506 3131



Figura 84: Análisis bacteriológico de pozo en San Pedro las Huertas

EMPRESA MUESTRA DE: ANALISIS SOLICITADO: FECHA DE MUESTREO: SERVICIO MENSUAL CORRESPONDIENTE AL MES DE JULIO DEL 2018 POZO HORA 14:00 p.m.		MUNICIPALIDAD GUATEMALA AGUA Bacteriológico 05/07/2018 SAN PEDRO LAS HUERTAS		
RESULTADO DE ANALISIS				
LUGAR DE MUESTREO	CLORO RESIDUAL PPM	R.A.T. COLIFORMES TOTALES UFC/ml	N.M.P COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	AISLAMIENTOS
Primer canton casa No. #5 San Pedro Las Huertas.	0.50 PPM	NO DETECTABLE UFC/ml	NO DETECTABLE NMP/100ml	A

**Conclusión:**

La muestra recibida y analizada en el laboratorio, satisface los criterios bacteriológicos de calidad de la norma COGUANOR NTG 29 001, agua para consumo humano (agua potable). Por lo que se considera SANITARIAMENTE SEGURA PARA CONSUMO HUMANO.

1.-Muestra recolectada por Personal de PROCHEINSA.

Revisado:

Deborah R. Pellecer Chang  
 Química Bióloga  
 Colegiado 2330

Lic. Deborah Pellecer  
 Química Bióloga

32 Granjas de San Cristóbal Zona 8 de Mixco  
 900 • 2382-0936 • E-mail: informacion@procheinisa.com  
 procheinisa.com

- Análisis y tratamiento
- Hipoclorito de Sodio
- Hipoclorito de Calcio
- Asesoría química e in
- Potabilización en sist

Figura 85: Análisis fisicoquímico de pozo en San Pedro las Huertas



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com  
 Página Web: ecoquimsa.com  
 PBX: (502) 2322 357

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Municipalidad de Antigua Guatemala  
 Responsable: Sr. Hugo Adolfo Pereira  
 Dirección: 4a. calle y 4a. avenida esquina, Palacio del Ayuntamiento, Antigua Guatemala, Sacatepéquez

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Pozo mecánico San Pedro Las Huertas  
 Referencia cliente: Grifo vivienda No.2, 4to. Cantón San Pedro Las Huertas  
 Fecha de monitoreo: 10 de mayo de 2018  
 Hora de monitoreo: 12:21  
 Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
 Código de muestra: 18-1476-1  
 Lote: 18-1476

Muestra simple o compuesta: Simple  
 Responsable del muestreo: CLIENTE  
 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
 Recipiente utilizado: Plástico  
 Método de preservación: INS04-MUE

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 10 de mayo de 2018  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 18:30  
 Fecha de informe: 22 de mayo de 2018

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.600	11.29	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.070	< 0.070	0.3	—	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.040	10.38	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.020	< 0.020	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	3.15	70.90	100	500	STM 2540 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (Coganor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coganor.

Laboratorio ECOQUIMSA

Ing. Erick López Estrada  
 Ingeniero Químico Industrial  
 Colegiado No. 2152

3. Prueba de bombeo de pozo en San Pedro las Huertas

Figura 86: Localización de nuevo pozo en San Pedro las Huertas

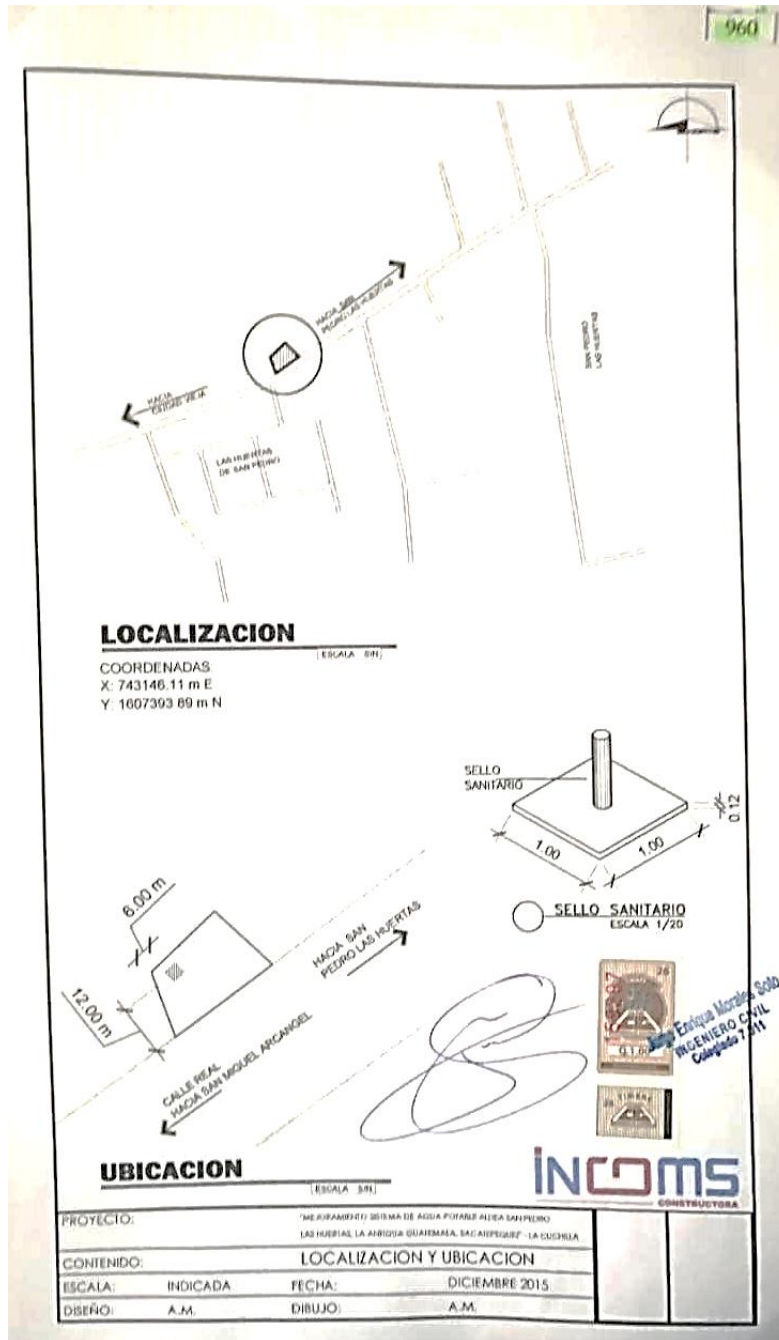


Figura 87: Informe de aforo en pozo nuevo en San Pedro las Huertas.

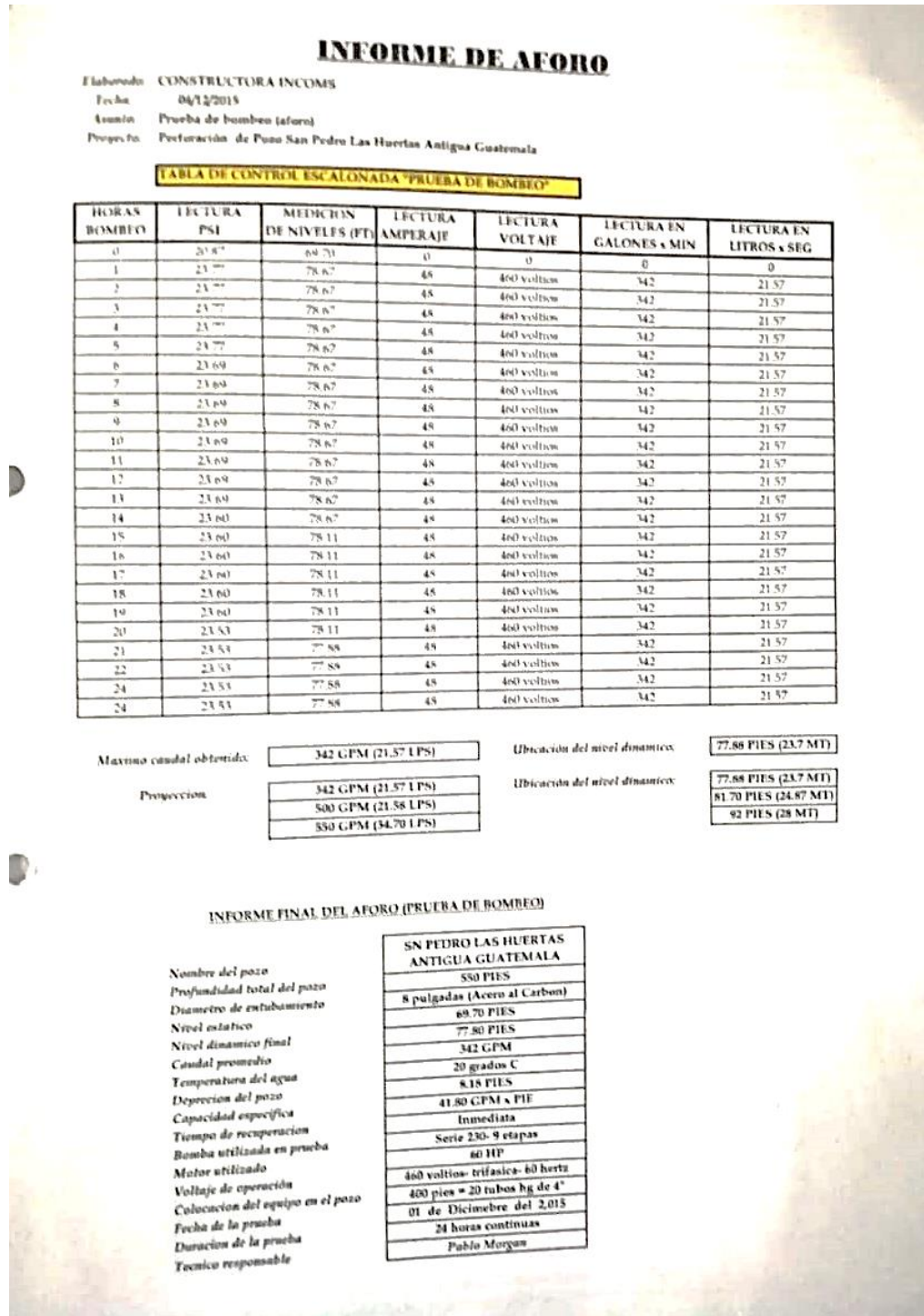
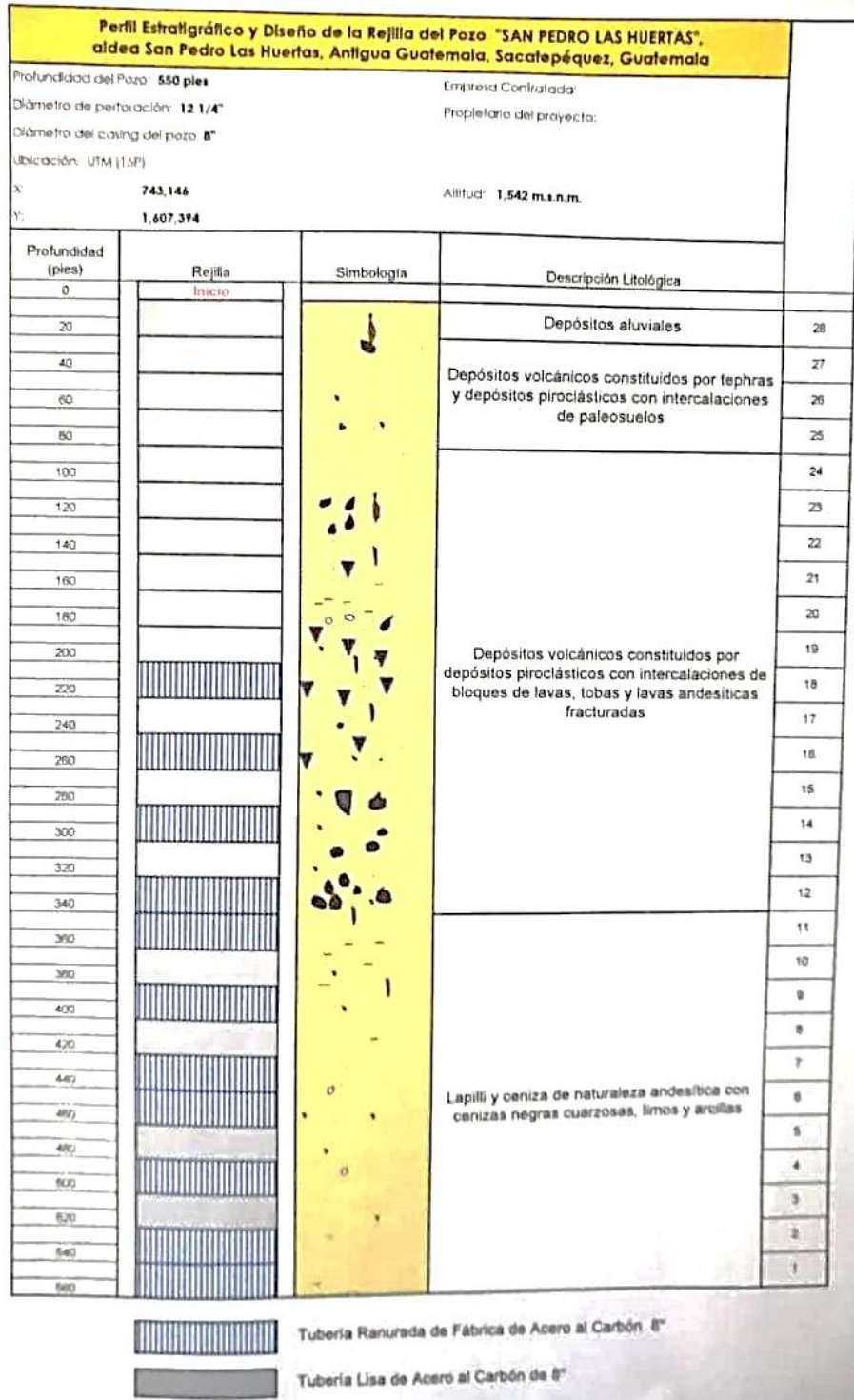


Figura 88: Perfil de nuevo pozo en San Pedro las Huertas



4. Cálculos de línea de conducción

Cuadro 212: Localización de los tramos de conducción

Localización de los tramos de conducción		
Captación o Punto de interés	Z (m)	Diferencias de altura
Pozo nuevo	1552.589	52.41
Pozo de la plaza	1544.586	60.41
<b>Tanque de almanecamiento</b>	<b>1,605.00</b>	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 213. Predimensionamiento

Predimensionamiento		
Qb =	20.00	L/s
T =	12.00	horas
Estimar diámetros		
$\phi 1 =$	8.11	in
V min =	0.60	m/s
$\phi 2 =$	4.44	in
V max =	2.00	m/s

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 214: Cotas de niveles de pozo y tanque de almacenamiento

Cotas		
Eficiencia ( e )	60.00	%
Carga dinámica (CDT)		
Cantidad de tubos requeridos (n)	276	unidades
Longitud de la tubería (L)	1,657.39	m
Cota de boca del pozo (Bp)	1,552.59	m
Cota Nivel dinámico (Nd)	1,528.88	m
Cota Nivel estático (Ne)	1,531.34	m
Cotan Nivel de toma de bomba (Tb)	1,552.59	m
Cota de tanque de almacenamiento (Hs)	1,605.00	m

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 215: Posibles diámetros a utilizar con sus respectivas pérdidas

Diámetros de tuberías	Diámetro (in)	Pérdida (m)	Potencia del equipo (Kw)
$\phi 4''$	4.00	80.74	259.15
$\phi 6''$	6.00	11.20	35.94
$\phi 8''$	8.00	2.76	8.85

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 216. Determinación de equipo de bombeo

Potencia del equipo de bombeo		
Pot = $Q \cdot C.D.T / 76 \cdot e =$	76.35	HP
Cálculo de todas las pérdidas para calcular carga dinámica total en el sistema de bombeo		
a) Bp-Nd ( $\Delta H_s$ )	23.71	m
b) Bp-Nd ( $\Delta H_s$ )	0	m
c) Hs-Bp (H)	52.41	m
d) Pérdidas de carga en línea de impulsión	88.93	m
e) Pérdidas por velocidad ( $v^2/2g$ )	0.13	m
f) Pérdidas menores hm (10% Hf)	8.89	m
<b>Carga dinámica Total</b>	<b>174.07</b>	<b>m</b>

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

Cuadro 217: Cálculo del golpe de ariete

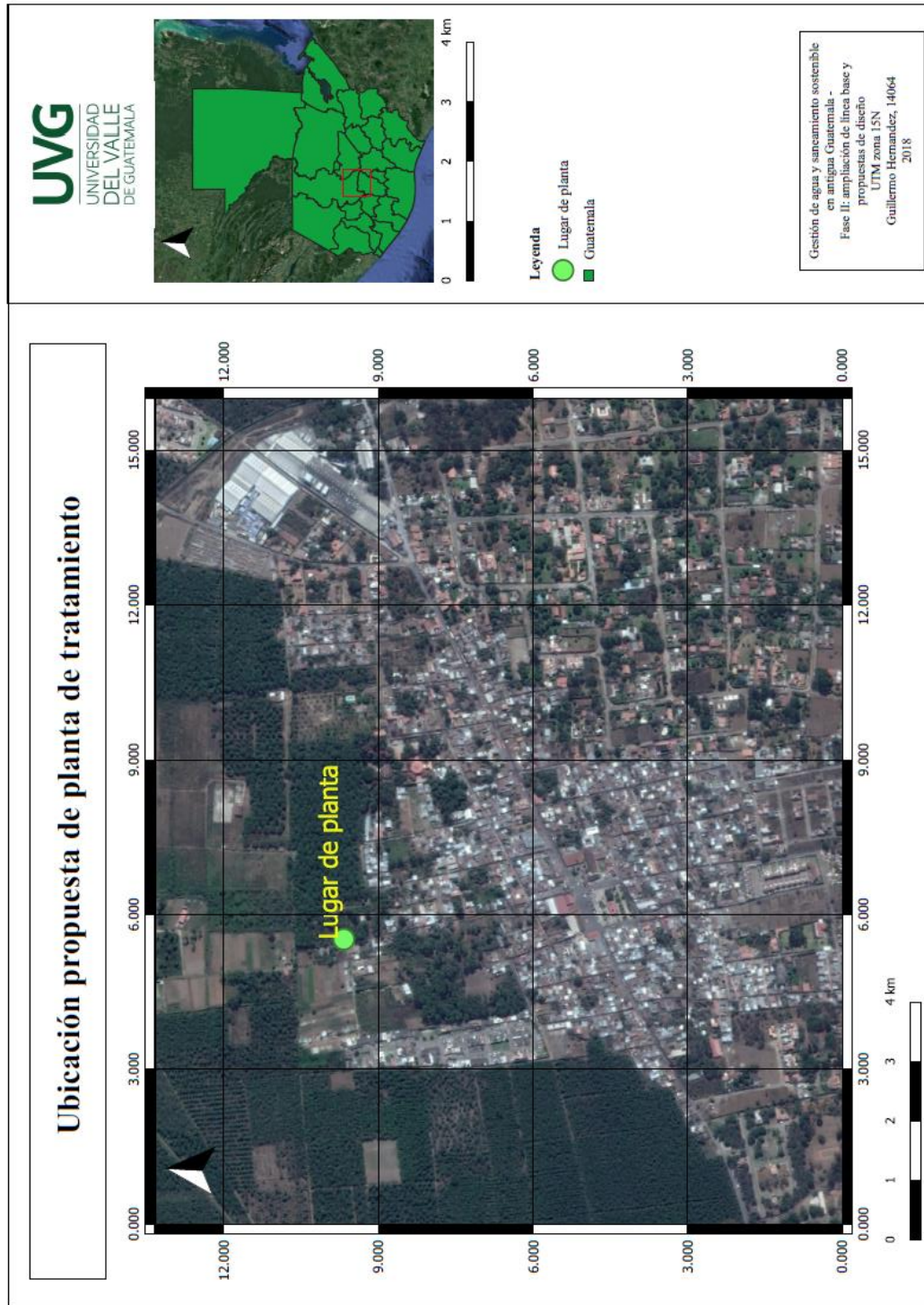
Cálculo del golpe de ariete		
V flujo	0.02	m/s
K	2.07E+04	Kg/m <sup>3</sup>
E	3.00E+04	Kg/m <sup>3</sup>
Diámetro nominal de tubería (Di)	6	in
Espesor de la tubería ( e )	0.204	in
$\alpha$	254.62	m/s
$\Delta P$ ariete	0.51	m
Conclusión	La tubería seleccionada soporta la presión de diseño	

Fuente: (Ana Isabel Ruano Fuentes)

E. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Pedro las Huertas, Antigua Guatemala

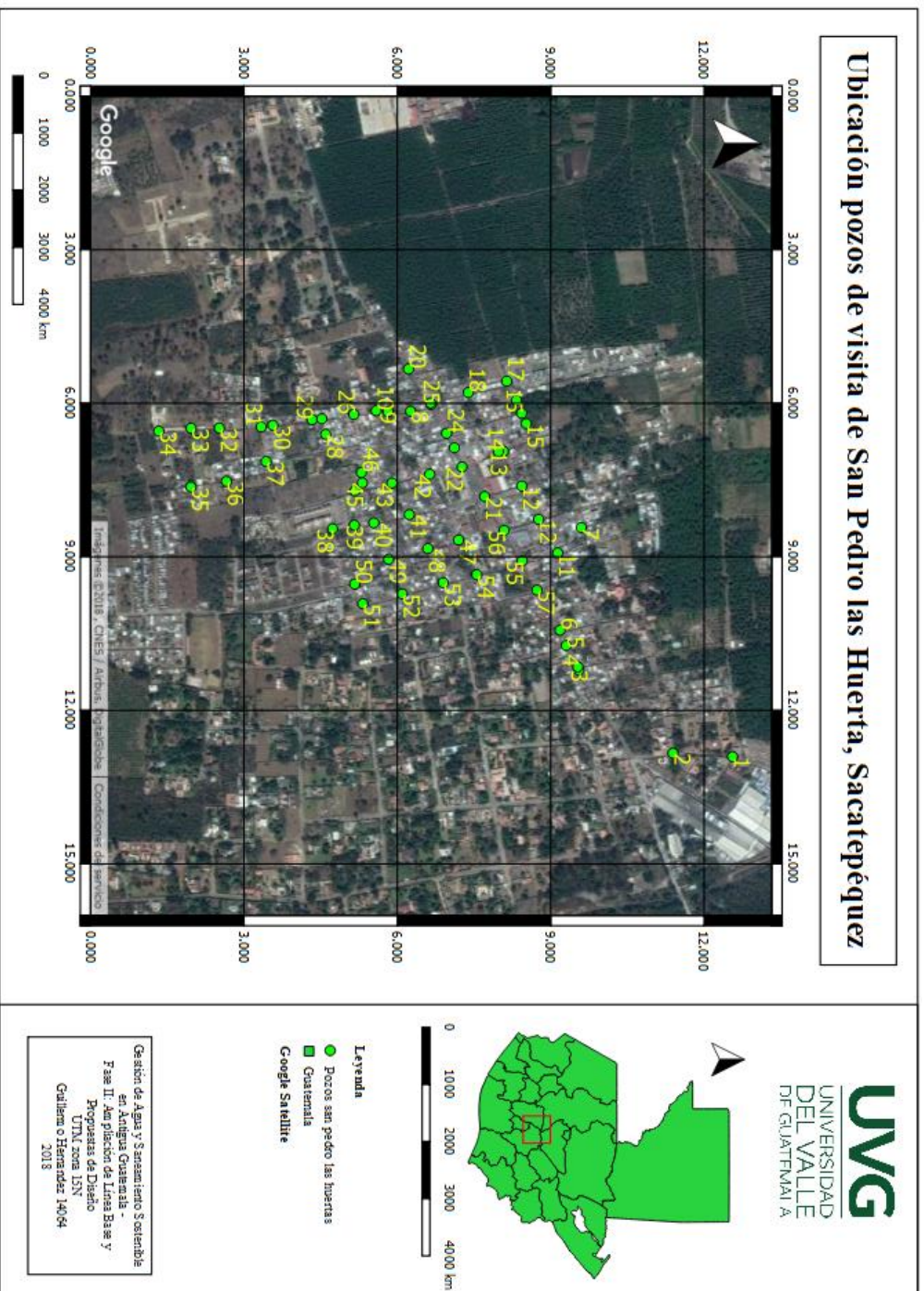
1. Mapa temático

Figura 89. Mapas temáticos de ubicación de pozos de visita



Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)


Figura 90. Mapa temático de ubicación propuesta de planta de tratamiento.



Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)


2. Fichas técnicas

Cuadro 218. Ficha técnica pozo 1

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	1
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°32'6.94"N
Longitud	90°44'6.43"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	57cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	108cm
Salida	128cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 219. Ficha técnica pozo 2

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	2
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°32'3.14"N
Longitud	90°44'6.52"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	50cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	140cm
Salida	145cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 220. Ficha técnica pozo 3

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	3
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'57.09"N
Longitud	90°44'12.04"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	80cm
Diámetro interno	64cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	170cm
Salida	176cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 221. Ficha técnica pozo 4

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	4
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'57.02"N
Longitud	90°44'12.25"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	62cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	130cm
Salida	170cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 222. Ficha técnica pozo 5

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	5
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'56.27"N
Longitud	90°44'13.67"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	-
Escaleras	-
Cotas Inver	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 223. Ficha técnica pozo 6

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	6
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'55.87"N
Longitud	90°44'14.69"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	80cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	184cm,186cm
Salida	190cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 224. Ficha técnica pozo 7

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	7
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'57.24"N
Longitud	90°44'21.50"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	80cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	210cm
Salida	215cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 225. Ficha técnica pozo 8

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	8
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'46.25"N
Longitud	90°44'29.23"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	155cm
Salida	178cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 226. Ficha técnica pozo 9

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	9
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'44.80"N
Longitud	90°44'29.20"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	155cm
Salida	178cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 227. Ficha técnica pozo 10

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	10
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'44.04"N
Longitud	90°44'29.27"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	81cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	174cm
Salida	230cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 228. Ficha técnica pozo 11

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	11
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'55.72"N
Longitud	90°44'19.82"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	280cm
Salida	290cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 229- Ficha técnica pozo 12

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	12
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'54.50"N
Longitud	90°44'22.05"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	200cm,210cm
Salida	240cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 230. Ficha técnica pozo 12A

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	12A
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'53.41"N
Longitud	90°44'24.26"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	140cm,166cm
Salida	180cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 231. Ficha técnica pozo 13

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	13
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'51.91"N
Longitud	90°44'26.56"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	57cm
Salida	160cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 232. Ficha técnica pozo 14

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	14
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'52.23"N
Longitud	90°44'26.57"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	97cm
Salida	144cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 233. Ficha técnica pozo 15

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	15
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'53.70"N
Longitud	90°44'28.41"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	76cm
Salida	80cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 234. Ficha técnica pozo 15A

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	15A
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'53.40"N
Longitud	90°44'29.10"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	67cm
Salida	72cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 235. Ficha técnica pozo 16

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	16
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'53.06"N
Longitud	90°44'29.95"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	-
Cotas Inver	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 236. Ficha técnica pozo 17

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	17
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'52.44"N
Longitud	90°44'31.23"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	102cm
Salida	154cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 237. Ficha técnica pozo 18

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	18
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'49.97"N
Longitud	90°44'30.47"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	143cm
Salida	146cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 238. Ficha técnica pozo 19

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	19
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'47.54"N
Longitud	90°44'29.78"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	154cm
Salida	173cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 239. Ficha técnica pozo 20

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	20
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'46.12"N
Longitud	90°44'32.03"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	86cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	-
Cotas Inver	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 240. Ficha técnica pozo 21

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	21
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'51.02"N
Longitud	90°44'23.57"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	-
Cotas Inver	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 241. Ficha técnica pozo 22

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	22
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'49.56"N
Longitud	90°44'25.53"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	84cm,480cm,510cm
Salida	515cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 242. Ficha técnica pozo 23

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	23
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'49.07"N
Longitud	90°44'26.80"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	*
Cotas Inver	
Entrada	*
Salida	*
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 243. Ficha técnica pozo 24

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	24
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'48.57"N
Longitud	90°44'27.76"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	158cm
Salida	162cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 244. Ficha técnica pozo 25

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	25
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'47.59"N
Longitud	90°44'29.68"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	165cm,210cm
Salida	214cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 245. Ficha técnica pozo 26

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	26
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'42.60"N
Longitud	90°44'29.01"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	145cm
Salida	155cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 246. Ficha técnica pozo 27

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	27
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'40.54"N
Longitud	90°44'28.72"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	107cm, 115cm
Salida	117cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 247. Ficha técnica pozo 28

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	28
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'40.79"N
Longitud	90°44'27.70"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	105cm
Salida	105cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 248. Ficha técnica pozo 29

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	29
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'39.91"N
Longitud	14°31'39.91"N
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	130cm
Salida	140cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 249. Ficha técnica pozo 30

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	30
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'37.39"N
Longitud	90°44'28.29"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	135cm
Salida	140cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 250. Ficha técnica pozo 31

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	31
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'37.39"N
Longitud	90°44'28.29"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	134cm,142cm,154cm
Salida	164cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 251. Ficha técnica pozo 32

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	32
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'33.95"N
Longitud	90°44'28.11"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	54cm
Salida	120cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 252. Ficha técnica pozo 33

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	33
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32.13"N
Longitud	90°44'28.10"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	72cm
Diámetro interno	45cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	70cm
Salida	73cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 253. Ficha técnica pozo 34

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	34
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'30.05"N
Longitud	90°44'27.90"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	72cm
Diámetro interno	45cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	77cm
Salida	82cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 254. Ficha técnica pozo 35

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	35
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32.12"N
Longitud	90°44'24.20"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	67cm,85cm
Salida	95cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 255. Ficha técnica pozo 36

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	36
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'34.40"N
Longitud	90°44'24.20"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	94cm,168cm
Salida	180cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 256. Ficha técnica pozo 37

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	37
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'36.96"N
Longitud	90°44'25.89"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	90cm
Salida	97cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 257. Ficha técnica pozo 38

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	38
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'41.24"N
Longitud	90°44'21.42"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	132cm
Salida	157cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 258. Ficha técnica pozo 29

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	39
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'42.64"N
Longitud	90°44'21.66"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	*
Cotas Inver	
Entrada	*
Salida	*
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 259. Ficha técnica pozo 40

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	40
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'43.89"N
Longitud	90°44'21.81"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	128cm
Salida	138cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 260. Ficha técnica pozo 41

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	41
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'46.17"N
Longitud	90°44'22.36"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	275cm
Salida	295cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 261. Ficha técnica pozo 42

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	42
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'47.49"N
Longitud	90°44'25.05"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	256cm
Salida	266cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 262. Ficha técnica pozo 43

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	43
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'45.06"N
Longitud	90°44'24.46"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	175cm
Salida	180cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 263. Ficha técnica pozo 44

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	44
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'42.67"N
Longitud	90°44'23.94"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	187cm
Salida	192cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 264. Ficha técnica pozo 45

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	45
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'43.15"N
Longitud	90°44'24.47"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	70cm
Salida	72cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 265. Ficha técnica pozo 46

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	46
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'43.09"N
Longitud	90°44'25.16"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	No
Cotas Inver	
Entrada	*
Salida	* sin función
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 266. Ficha técnica pozo 47

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	47
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'49.34"N
Longitud	90°44'20.68"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	*
Cotas Inver	
Entrada	*
Salida	*
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 267. Ficha técnica pozo 48

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	48
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'47.36"N
Longitud	90°44'20.11"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	210cm,215cm
Salida	220cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 268. Ficha técnica pozo 49

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	49
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas Geográficas	
Latitud	14°31'44.84"N
Longitud	90°44'19.40"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diametro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	140cm,150cm
Salida	200cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 269. Ficha técnica pozo 50

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	50
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'42.66"N
Longitud	90°44'17.75"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	118cm
Salida	126cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 270. Ficha técnica pozo 51

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	51
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'43.17"N
Longitud	90°44'16.45"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	150cm
Salida	155cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 271. Ficha técnica pozo 52

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	52
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'45.72"N
Longitud	90°44'17.10"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	238cm,240cm
Salida	245cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 272. Ficha técnica pozo 53

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	53
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'48.35"N
Longitud	90°44'17.84"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	125cm,127cm
Salida	132cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 273. Ficha técnica pozo 54

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	54
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'50.52"N
Longitud	90°44'18.37"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	190cm
Salida	195cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 274. Ficha técnica pozo 55

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	55
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'53.44"N
Longitud	90°44'19.29"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	127cm
Salida	132cm
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 275. Ficha técnica pozo 56

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	56
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'52.27"N
Longitud	90°44'21.31"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	265cm
Salida	276cm
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

Cuadro 276. Ficha técnica pozo 57

FICHA TÉCNICA	
Número de pozo	57
Aldea	San Pedro Las Huertas
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'54.39"N
Longitud	90°44'17.34"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro externo	84cm
Diámetro interno	60cm
Escaleras	Sí
Cotas Inver	
Entrada	118cm,135cm
Salida	140cm
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Guillermo Javier Hernández Girón)

F. Diseño de abastecimiento y distribución de agua potable de la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala

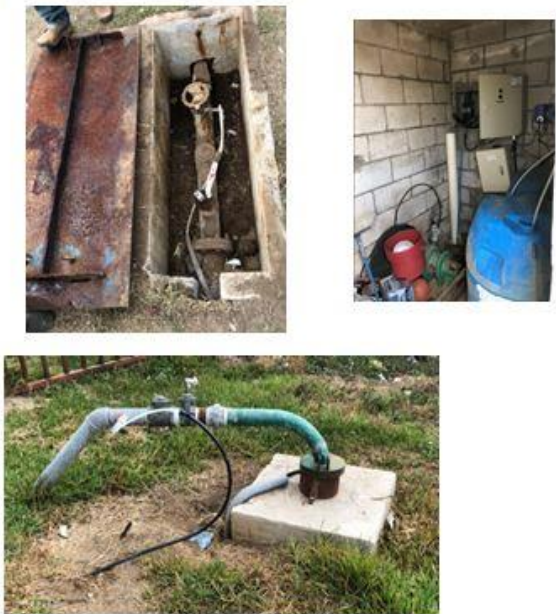

1. Fichas técnicas

Cuadro 277. Ficha técnica S. Juan el Obispo 1 La Cuchilla

Aldea	San Juan el Obispo	Departamento	Sacatepequez
Población	4423	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Técnico	Luis Jolón
Nombre	S. Juan el Obispo 1 La Cuchilla	Coordenadas WGS 84	
Caudal (Gl/min)	121	Latitud	14.5236388880
Potencia (HP)	40	Longitud	90.72630556
Presión (psi)	ND	Coordenadas UTM	
Horas de Servicio Diario	13	Northing	1606878.069
M. línea de entrada	HG	Easting	745038.069
M. línea de impulsión	PVC	Altitud (m)	1606
D. Línea de Entrada (pulg)	3	Destino	Tanque de Don Mario
D. Línea de Impulsión (pulg)	2	Nivel estático	60
Imágenes		Nivel dinámico	200
		Observaciones	
		Niveles altos de corrosión en la tubería y llave.	
		Ubicación Geográfica	
			




Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 278. S. Juan el Obispo 2 Cementerio

Aldea	San Juan el Obispo	Departamento	Sacatepequez	
Población	4423	Municipio	Antigua Guatemala	
Área	Urbana	Técnico	Alfonso Pchiya	
Nombre	S. Juan el Obispo 2 Cementerio	Coordenadas WGS 84		
Caudal (Gl/min)	209	Latitud	14.5238888900	
Potencia (HP)	25	Longitud	90.7316944	
Presión (psi)	ND	Coordenadas UTM		
Horas de Servicio Diario	20	Northing	1606899.9600	
M. línea de entrada	HG	Easting	744457.0279	
M. línea de impulsión	PVC	Altitud (m)	1601	
D. Línea de Entrada (pulg)	3	Destino	Tanque de Doña Celia	
D. Línea de Impulsión (pulg)	3 y se convierte en 4	Nivel estático	ND	
Imágenes			Nivel dinámico	ND
Observaciones				
La entrada al lugar no esta bien cerrado, a veces se entran personas a dormir. Tiene un by pass improvisado hacia tanque que abastece San Pedro el Alto. Lleno de vegetación.				
Ubicación Geográfica				
				






Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Cuadro 279. Tanque de Don Mario

Aldea	San Juan el Obispo	Departamento	Sacatepequez
Población	4423	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Ubicación	San Juan del Obispo
Nombre	Tanque de Don Mario	Coordenadas WGS 84	
Largo (m)	10.00	Latitud	14.50583333
Ancho (m)	5.00	Longitud	90.72812889
Profundidad (m)	2.65	Coordenadas UTM	
Volumen (m <sup>3</sup> )	132.50	Northing	1606750.052
V.T. Cloro (m <sup>3</sup> )	ND	Easting	744841.9189
Imágenes		Altitud (m)	1622
		Origen	S. Juan del Obispo 1 La Cuchilla
		Destino	Tanque Cisterna de Don Mario
		Observaciones	
		Se observan algunas fugas de agua. Ramas encima del poso. Tapadera esta rota.	
		Ubicación Geográfica	
			

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

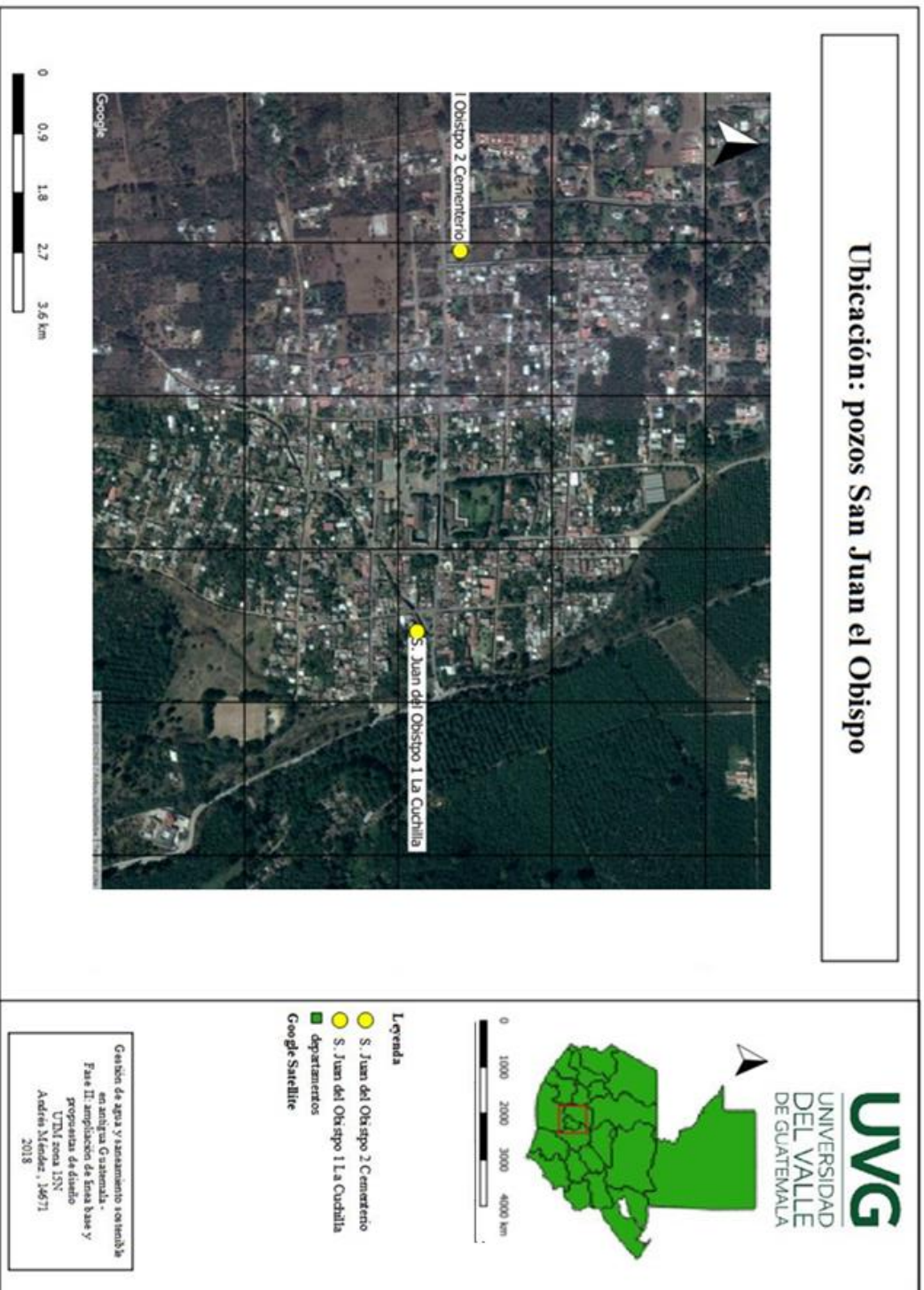
Cuadro 280. Tanque de Doña Celia

Aldea	San Juan el Obispo	Departamento	Sacatepequez
Población	4423	Municipio	Antigua Guatemala
Área	Urbana	Ubicación	San Juan del Obispo
Nombre	Tanque de Doña Celia	Coordenadas WGS 84	
Largo (m)	9.90	Latitud	14.5171111100
Ancho (m)	4.90	Longitud	90.72905556
Profundidad (m)	2.65	Coordenadas UTM	
Volumen (m <sup>3</sup> )	128.55	Northing	1606429.333
V.T. Cloro (m <sup>3</sup> )	1.20	Easting	744746.262
Imágenes		Altitud (m)	1661
		Origen	S. Juan del Obispo 2 Cementerio
		Destino	Tanque Cisterna de Doña Celia
 		Observaciones	
		Tanque con agua de lluvia estancada. Rebalse cubierto por vegetación y sin protección. Tapadera rota y en muy mal estado.	
		Ubicación Geográfica	
			

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

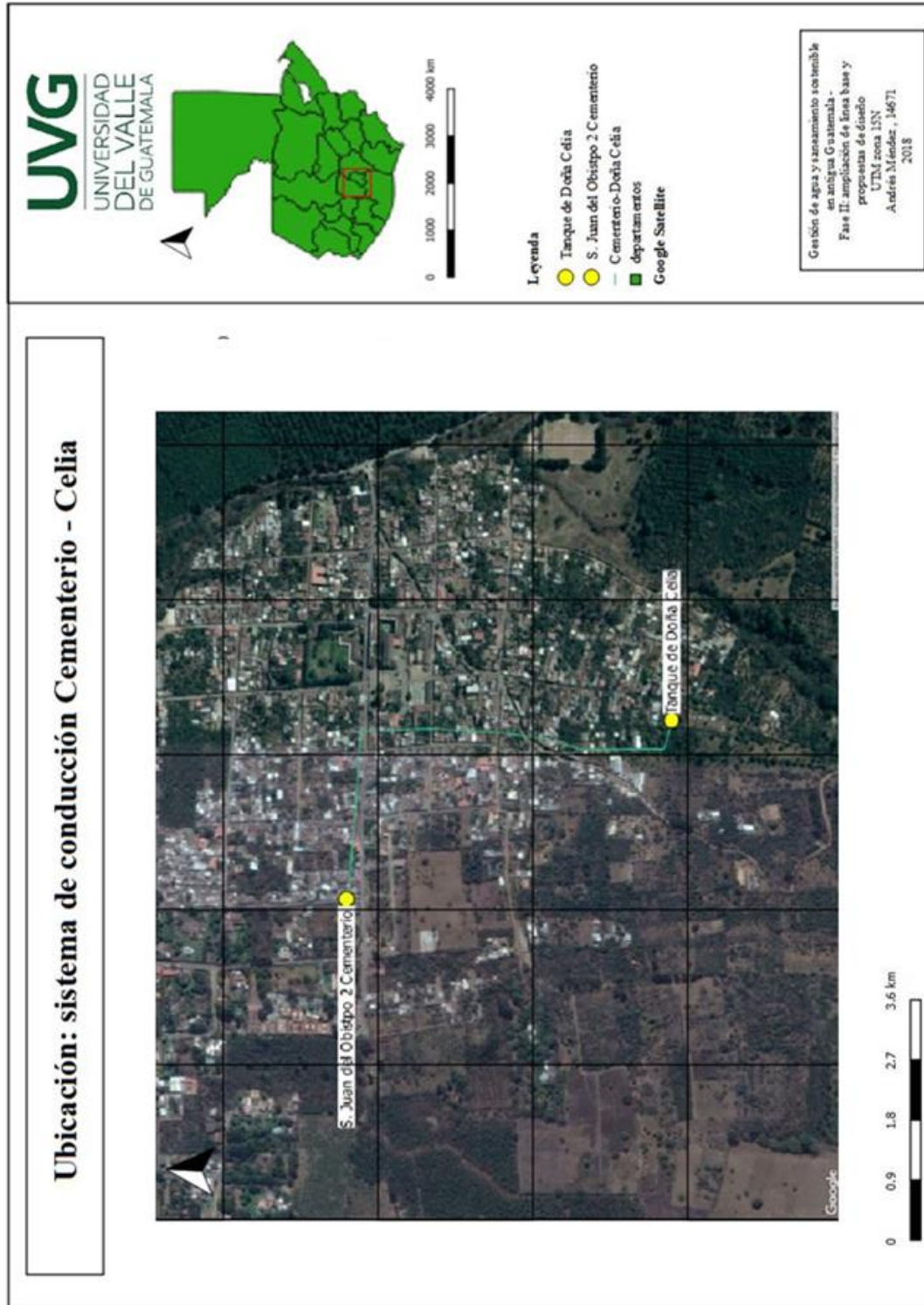
2. Mapas temáticos

Figura 91. Mapa temático de la ubicación de los pozos



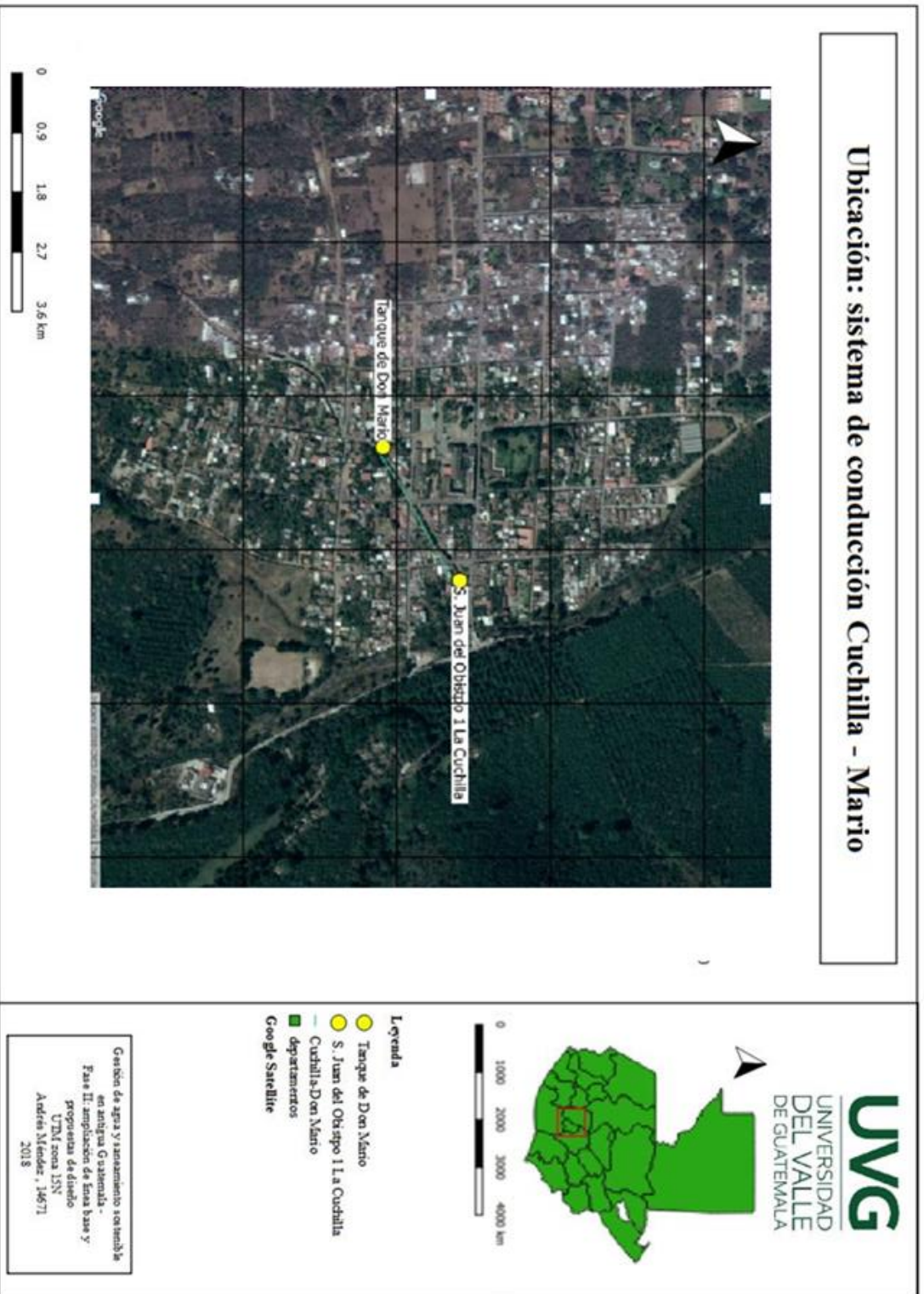
Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Figura 92. Mapa temático de sistema de conducción cementerio - Celia



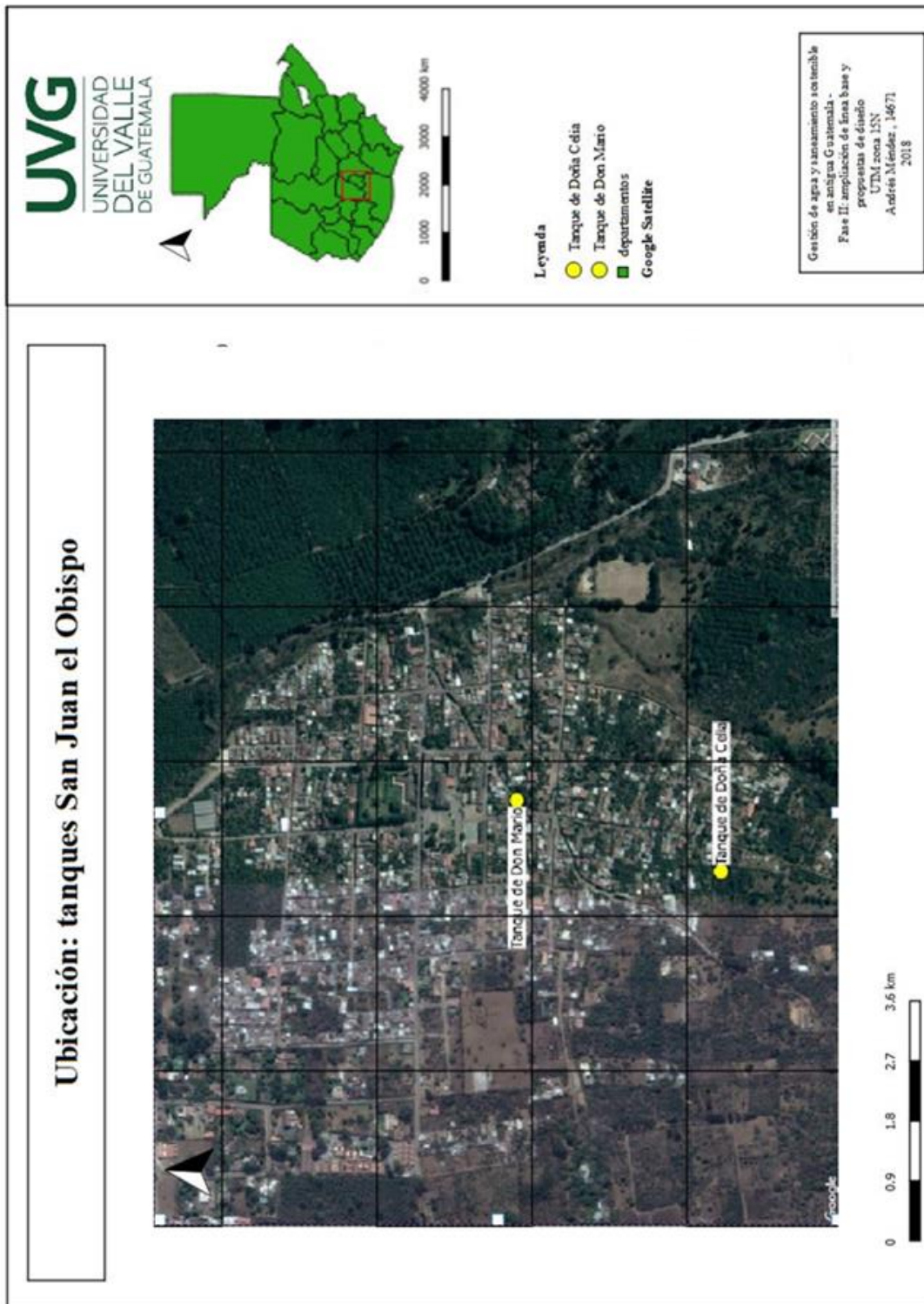
Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Figura 93. Mapa temático de sistema de conducción cuchilla - Mario



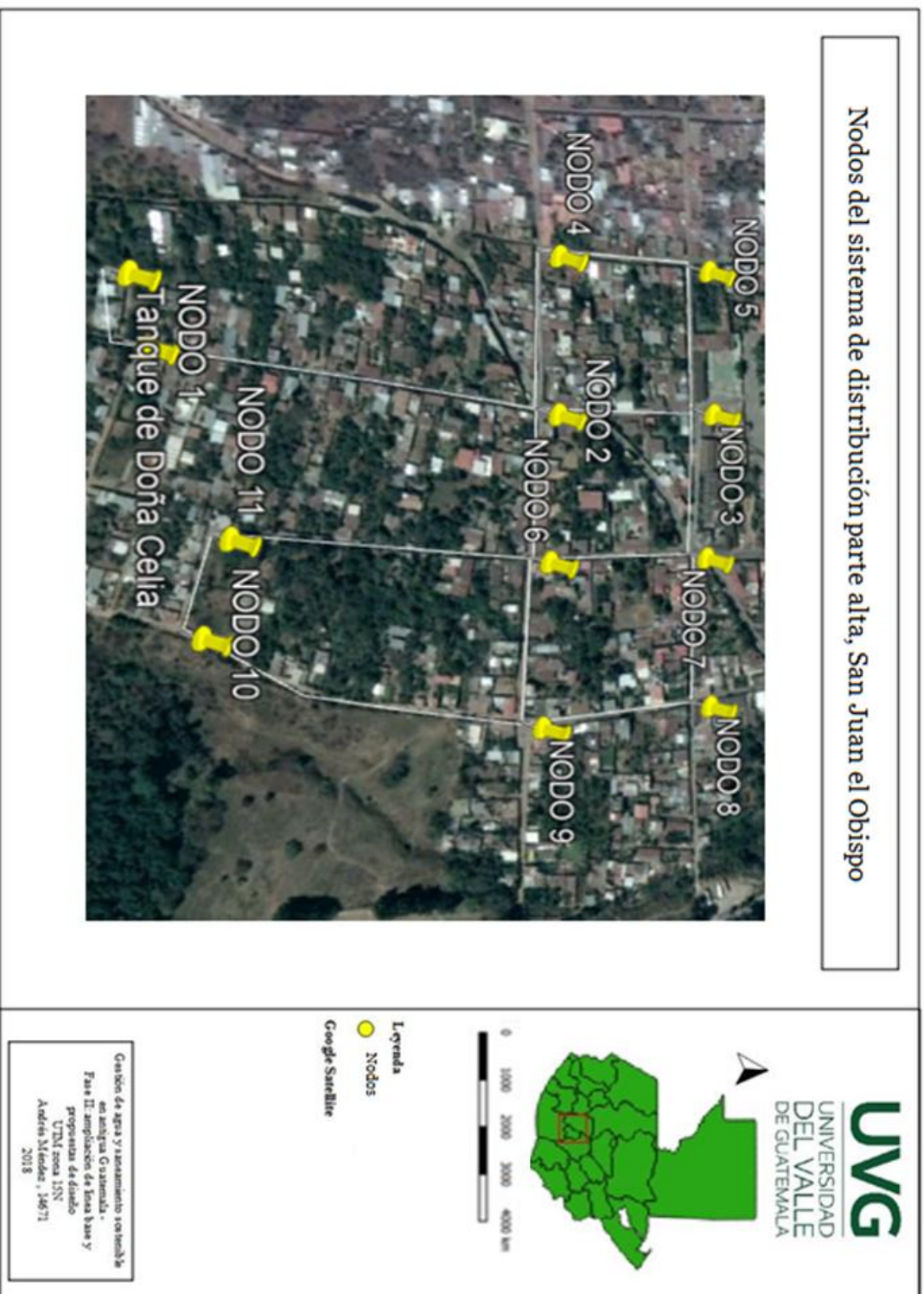
Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Figura 94. Mapa temático de ubicación de tanques



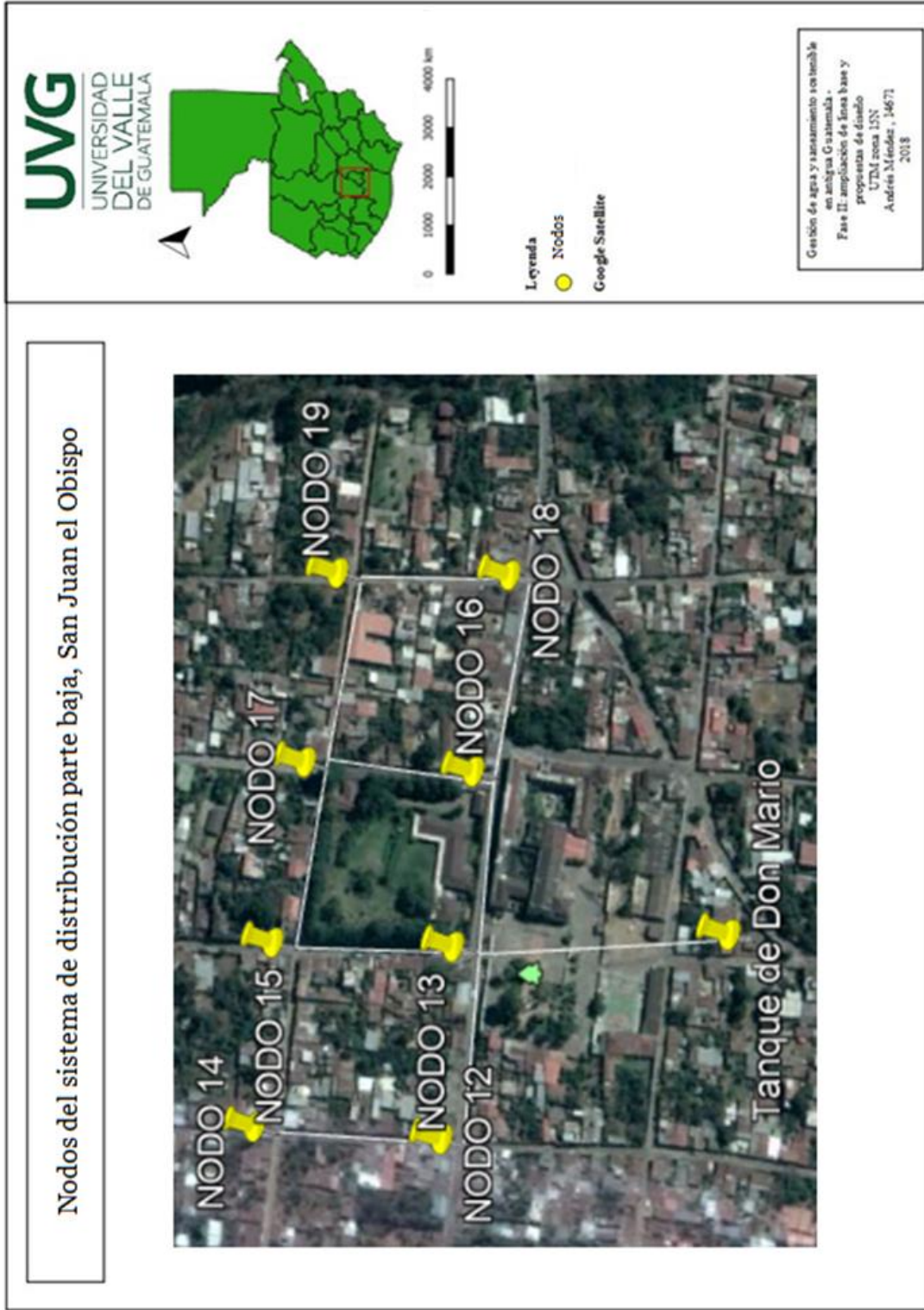
Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Figura 95. Mapa temático de nodos del sistema de distribución



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

Figura 96. Mapa temático de nodos del sistema de distribución



Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)

3. Plano de distribución

Fuente: (Andrés Méndez Goyzueta)



Figura 97. Sistemas de distribución Parte Baja y Parte Alta.

G. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea San Juan del Obispo, Antigua Guatemala.

1. Información inicial

Cuadro 281. Valores requeridos para distintas etapas

<b>Etapa</b>	<b>Uno</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
<b>Etapa</b>	<b>Dos</b>				
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
<b>Etapa</b>	<b>Tres</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
<b>Etapa</b>	<b>Cuatro</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006)

2. Fichas técnicas

Cuadro 282. Ficha técnica del pozo 1.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	1
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32"N
Longitud	90°43'40"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.70
Salida	2.00
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 283. Ficha técnica del pozo 2.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	2
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'30"N
Longitud	90°43'39"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Escaleras	SÍ
Cotas Invert	
Entrada	1.73
Salida	1.86
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 284. Ficha técnica pozo 3

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	3
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'28"N
Longitud	90°43'39"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.82
Salida	1.9
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 285. Ficha técnica pozo 4

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	4
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'26"N
Longitud	90°43'43"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	SÍ
Cotas Invert	
Entrada	1.75
Salida	1.85
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 286. Ficha técnica pozo 5

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	5
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'25"N
Longitud	90°43'38"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Escaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.1
Salida	2.3
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 287. Ficha técnica pozo 6

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	6
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'22"N
Longitud	90°43'38"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 288. Ficha técnica pozo 7

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	7
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'22"N
Longitud	90°43'39"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 289. Ficha técnica pozo 8

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	8
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'22"N
Longitud	90°43'40"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.7
Salida	1.85
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 290. Ficha técnica pozo 9

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	9
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'20"N
Longitud	90°43'41"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	SI
Cotas Invert	
Entrada	1.45
Salida	1.38
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 291. Ficha técnica pozo 10

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	10
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'19"N
Longitud	90°43'42"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	


Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 292. Ficha técnica pozo 11

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	11
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'16"N
Longitud	90°43'46"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.30, 1.20, 1.20
Salida	1.45
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 293. Ficha técnica pozo 12

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	12
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'19"N
Longitud	90°43'44"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	Sí
Cotas Invert	
Entrada	1.57
Salida	1.70
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 294. Ficha técnica pozo 13

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	13
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'16"N
Longitud	90°43'45"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 295. Ficha técnica pozo 14

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	14
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'18"N
Longitud	90°43'43"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 296. Ficha técnica pozo 15

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	15
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'19"N
Longitud	90°43'43"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.55
Salida	1.6
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 297. Ficha técnica pozo 16

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	16
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'19"N
Longitud	90°43'48"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.1
Salida	2.14
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 298. Ficha técnica pozo 17

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	17
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'20"N
Longitud	90°43'45"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2
Salida	2.3
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 299. Ficha técnica pozo 18

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	18
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'24"N
Longitud	90°43'45"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.9
Salida	3.2
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 300. Ficha técnica pozo 19

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	19
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'25"N
Longitud	90°43'49"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.50, 1.75, 1,75
Salida	2.6
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 301. Ficha técnica pozo 20

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	20
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'27"N
Longitud	90°43'49"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.90, 150
Salida	3
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 302. Ficha técnica pozo 21

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	21
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'31"N
Longitud	90°43'50"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.30, 1.10
Salida	3.35
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 303. Ficha técnica pozo 22

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	22
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32"N
Longitud	90°43'50"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	-
Cotas Invert	
Entrada	-
Salida	-
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 304. Ficha técnica pozo 23

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	23
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32"N
Longitud	90°43'53"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.4
Salida	1.65
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 305. Ficha técnica pozo 24

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	24
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'25"N
Longitud	90°43'54"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.7
Salida	1.8
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 306. Ficha técnica pozo 25

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	25
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'29.06"N
Longitud	90°43'45.87"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.3
Salida	1.95
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 307. Ficha técnica pozo 26

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	26
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'32.56"N
Longitud	90°43'46.10"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	2.1
Salida	2.34
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Cuadro 308. Ficha técnica pozo 27

<b>FICHA TÉCNICA</b>	
Número de pozo	27
Aldea	San Juan del Obispo
Coordenadas geográficas	
Latitud	14°31'29.17"N
Longitud	90°43'49.36"O
Características	
Tapadera	Concreto
Diámetro Externo	85cm
Excaleras	NO
Cotas Invert	
Entrada	1.25, 1.40
Salida	2.2
Fotografía de tapadera	
	

Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

3. Análisis de costos

Cuadro 309. Costos de planta de tratamiento San Juan El Obispo

PROYECTO:	PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUA RESIDUAL
UBICACIÓN:	ALDEA SAN JUAN DEL OBISPO
MUNICIPIO:	ANTIGUA GUATEMALA
DEPARTAME	SACATEPEQUEZ
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2018

**1 TRABAJOS PRELIMINARES**

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Materiales para bodega	1	Global		Q8,000.00
Trazo y replanteo topográfico	1	Global		Q10,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q18,000.00</b>

MANO DE OBRA	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Mano de obra calificada	Global	1		Q3,000.00
Mano de obra no calificada	Global	1		Q2,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q5,000.00</b>
10% imprevisto				Q300.00
<b>TOTAL M.O.</b>				<b>Q3,300.00</b>

35% COSTO DIRECTO		Q21,300.00
35% COSTO INDIRECTO		Q7,455.00
<b>TOTAL RENGLON</b>		<b>Q28,755.00</b>

**2 EXCAVACION**

245 m<sup>3</sup>

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Uso de maquinaria pesada; excavado	m3	245	Q80.00	Q19,600.00
Material Selecto	m3	25	Q105.00	Q2,572.50
Transporte	m3	245	Q15.00	Q3,675.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q25,847.50</b>

MANO DE OBRA	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Excavación (afinamiento del terreno)	Global	1		Q2,000.00
Relleno y Compactación	m3	25	Q50.00	Q1,250.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q3,250.00</b>
10% imprevisto				Q325.00
<b>TOTAL M.O.</b>				<b>Q3,575.00</b>

35% COSTO DIRECTO		Q29,422.50
35% COSTO INDIRECTO		Q10,297.88
<b>TOTAL RENGLON</b>		<b>Q39,720.38</b>

**3 CAJA DE ENTRADA CON REJILLAS 1 unidad**

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Caja de entrada de concreto de 1.3 x1.3 m x 1 m, grosor 0.15 m. Reforzada con hierro No. 3 a cada 20 cm ambos sentidos y reja. Se incluye tubería y válvula para By-pass por mantenimiento.	1	Global	Q4,500.00	Q4,500.00
			TOTAL	Q4,500.00

MANO DE OBRA	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Mano de obra calificada	1	Global	1000	Q1,000.00
			TOTAL	Q1,000.00
			10% imprevistos	Q100.00
			TOTAL M.O.	Q1,000.00
			COSTO DIRECTO	Q5,500.00
			35% COSTO INDIRECTO	Q1,925.00
			TOTAL RENGLON	Q7,425.00

**4 DESARENADOR 1 unidad**

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Caja desarenadora de concreto armado. Reforzada con hierro No. 3 a cada 20 cm ambos sentidos	1	Global	Q18,000.00	Q18,000.00
			TOTAL	Q18,000.00

MANO DE OBRA	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Mano de obra calificada	1	Global	1000	Q1,000.00
			TOTAL	Q1,000.00
			10% imprevistos	Q100.00
			TOTAL M.O.	Q1,000.00
			COSTO DIRECTO	Q19,000.00
			35% COSTO INDIRECTO	Q6,650.00
			TOTAL RENGLON	Q25,650.00

**5 REACTOR**

**130 m<sup>3</sup>**

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Reactor de concreto, 4000 psi arma	m3	130	Q2,100.00	Q273,000.00
Acero de refuerzo grado 40 No. 4	Ton	50	Q7,700.00	Q385,000.00
Incluye uso de formaleta fenolica pa	m2	308	Q350.00	Q107,646.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q765,646.00</b>

MANO DE OBRA	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
Mano de obra calificada para la fund	m3	130	Q1,000.00	Q130,000.00
Mano de obra para armado de acero	ton	50	Q6,000.00	Q300,000.00
Mano de obra para colocación y reti	m2	308	Q120.00	Q36,907.20
Mano de obra para acabados interior	Global	1	Q17,500.00	17500
<b>TOTAL</b>				<b>Q484,407.20</b>
10% imprevistos				Q48,440.72
<b>TOTAL M.O.</b>				<b>Q484,407.20</b>

COSTO DIRECTO	Q1,250,053.20
35% COSTO INDIRECTO	Q437,518.62
<b>TOTAL RENGLON</b>	<b>Q1,687,571.82</b>

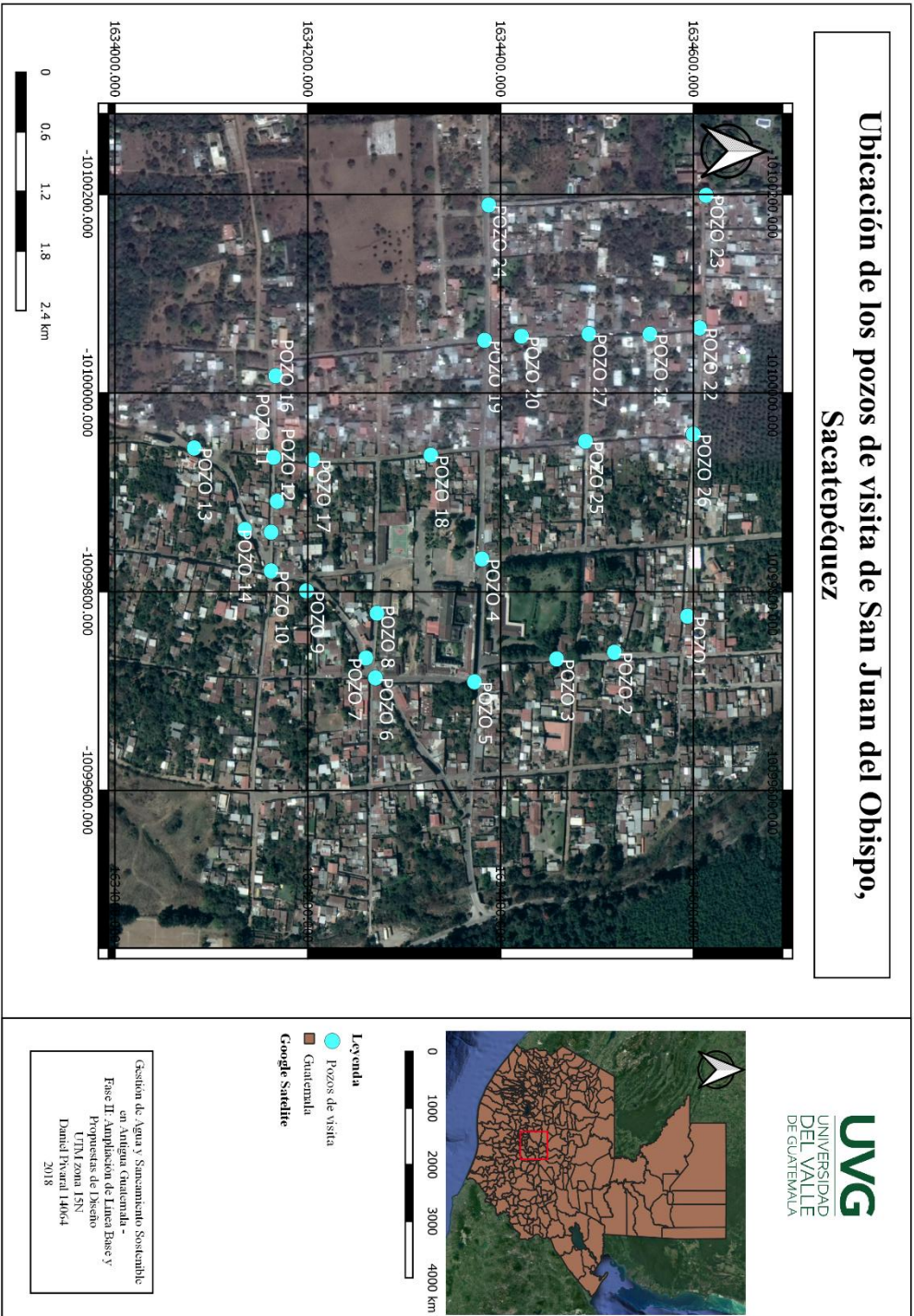
**6 RESUMEN DE RENGLONES**

MATERIALES	Unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTAL
TRABAJOS PRELIMINARES		1		Q28,755.00
EXCAVACION		1		Q39,720.38
CAJA DE ENTRADA CON REJILLA		1		Q7,425.00
DESARENADOR		1		Q25,650.00
REACTOR		1		Q1,687,571.82
<b>TOTAL</b>				<b>Q1,789,122.20</b>

Elaboración: Cesar Daniel Pivaral Vivar

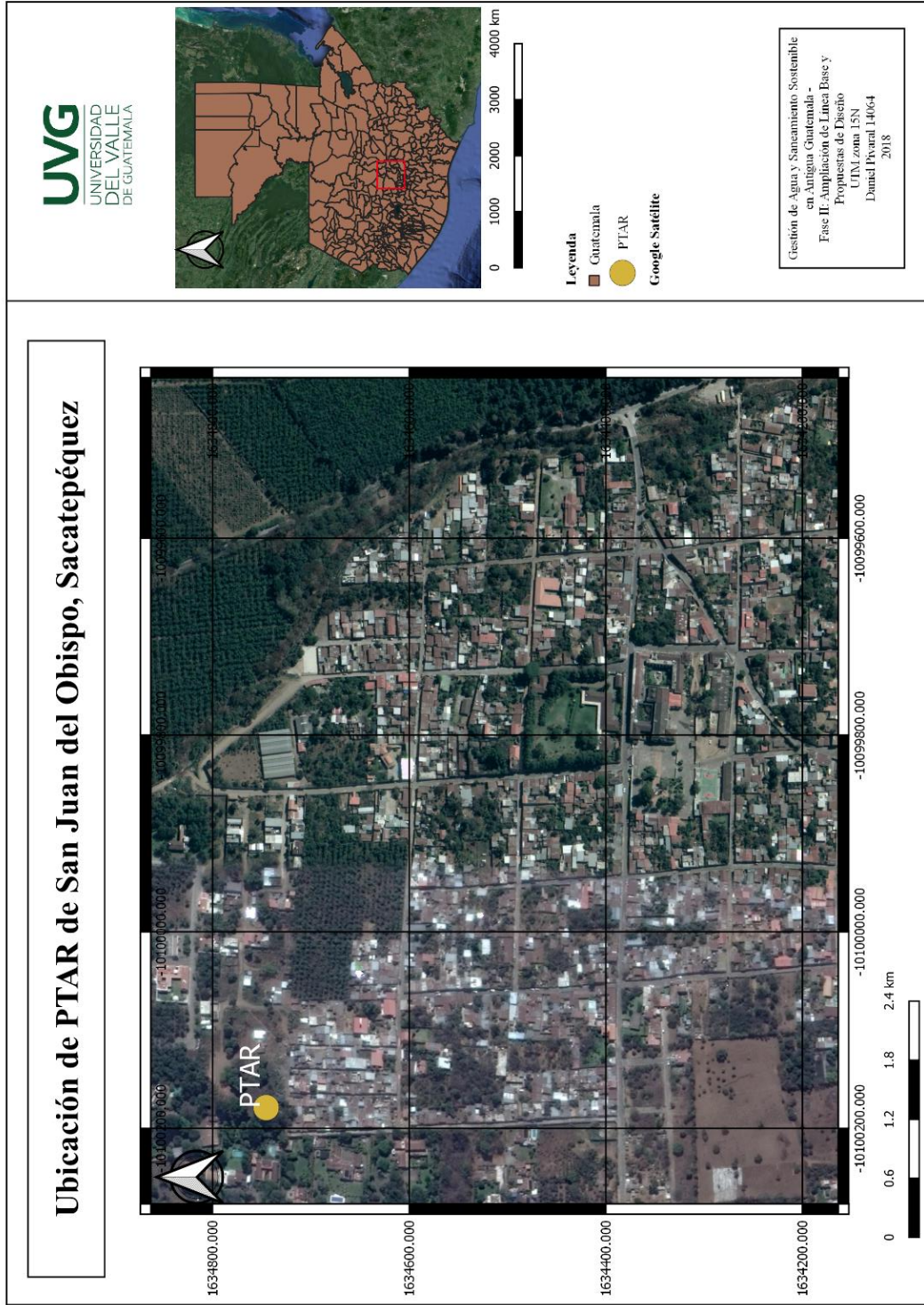
4. Mapas temáticos

Figura 98. Ubicación de los pozos de visita de San Juan del Obispo, Sacatepéquez



Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)

Figura 99. Ubicación de la PTAR propuesta



Fuente: (Cesar Daniel Pivaral Vivar)



## X. GLOSARIO

### A

**ACETATO:** al que se forma al mezclar el ácido acético con alguna base.

**ÁCIDO ACÉTICO:** es una sustancia que se consigue en forma de ion acetato y es la que le da al vinagre su característico olor y sabor.

**ÁCIDO BUTÍRICO:** ácido graso, manifestado en forma de ésteres en ciertos aceites vegetales y en determinadas grasas animales.

**ÁCIDO HIPOCLOROSO:** el cloro actúa con el estado de oxidación +1. Su fórmula química es HClO.

**ÁCIDO PROPIÓNICO:** ácido carboxílico monopólico, se presenta como un líquido incoloro, corrosivo y es miscible en agua.

**ÁCIDO SULFÚRICO:** compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa.

**ACIDOGÉNESIS:** proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía.

**ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES:** constituyen productos de fermentación animal, principalmente hidratos de carbono.

**AGUA INSALUBRE:** agua contaminada por presencia de materiales tóxicos y organismos perjudiciales para la salud.

**ALTURA DINÁMICA:** altura debida a la velocidad.

**ALTURA ESTÁTICA:** la diferencia de altura entre el punto de toma de agua y donde se entrega.

**ALTURA MANOMÉTRICA:** es la altura total que debe vencer una bomba para elevar el caudal de explotación a través de una conducción desde un nivel inferior a otro superior.

**ANAEROBIOS FACULTATIVOS:** bacterias que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

## B

**BACILO GRAMNEGATIVO AEROBIO:** son aquellos que no fijan el violeta de genciana porque poseen la capa de lipopolisacárido y alcoholismo o diabetes.

**BACILO GRAMPOSITIVO AEROBIO:** microorganismos no patógenos, prevaecientes en el suelo, el agua y el aire.

**BACTERIAS FACULTATIVAS:** bacterias que pueden adaptarse para crecer y metabolizar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

**BACTERIAS METALOGÉNICAS:** bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forma metano.

## C

**CAJA ROMPE PRESIÓN:** estructuras pequeñas que disminuyen la presión hidrostática a la presión atmosférica. Se aplican en líneas de conducción y redes de distribución cuando el desnivel entre el punto de llegada y punto de salida es grande.

**CAUDAL:** cantidad del fluido que circula a través de un tiempo específico.

**CAUDAL DE EXPLOTACIÓN:** parámetro determinado en campo y de forma experimental para determinar el caudal a utilizar para el pozo excavado.

**CAUDAL MÁXIMO DIARIO:** caudal de demanda máxima que se presenta en un día del año.

**CAUDAL MÁXIMO HORARIO:** corresponde al caudal de demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo.

**CLORO RESIDUAL:** cantidad de cloro remanente presente en el agua luego del proceso de desinfección.

**CLOROFENOLES:** grupo de sustancias químicas que se forman al agregar cloros al fenol.

**COLECTOR:** tubería que recibe y conduce las aguas negras de la población al lugar de descarga

**CONCRETO:** material obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de agua, cemento, arena y piedrín

**CONEXIÓN DOMICILIAR:** instalación que permite el uso de múltiples chorros y servicios básicos dentro de la vivienda.

**CONEXIÓN PREDIAL:** un solo chorro instalado en la parcela o terreno fuera de la vivienda.

**CONTROLADOR DE CAUDAL:** dispositivo con el cual se controla la cantidad de caudal que pasa por un área en específico.

**COTA INVERT:** cota de la parte inferior interna de la tubería

## D

**DEM:** siglas referentes a Digital Elevation Model en inglés. Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Es una representación 3D de la superficie terrestre.

**DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN:** embalse que se construye para captar el excedente de agua en época lluviosa y así mantener un caudal mínimo que pueda satisfacer la demanda en época seca.

**DERIVA:** relación entre los desplazamientos relativos de cada piso de una edificación para la altura de entrepiso de cada uno de estos.

**DESINFECCIÓN:** proceso de purificación de agua para consumo humano, por medio del cual se hace una reducción de organismos patógenos.

**DIHIDRÓGENO:** molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno; a temperatura ambiente es un gas inflamable, incoloro e inodoro.

**DIÓXIDO DE CARBONO:** el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro, denso y poco reactivo, está compuesto de un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. PTAR – planta de tratamiento de agua residual.

**DRENAJES:** controlan las condiciones de flujo de agua y mejoran

## E

**ENDÓGENO:** algo que se origina o nace en el interior.

**EPANET:** es un programa para el análisis de redes de distribución de agua potable.

**ESTEQUIOMETRÍA:** cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.

**ETABS:** Sus siglas en inglés son Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems, programa para el análisis y diseño estructural de edificaciones.

## F

**FENOL:** compuesto aromático derivado del benceno, el hidrocarburo aromático más simple, que se forma al agregar un grupo hidróxido a un carbono para reemplazar un hidrógeno.

**FILTRO PERCOLADOR:** es un filtro biológico que opera bajo condiciones aeróbicas, en el cual se deja caer el agua de desecho sobre el filtro, el cual al pasar por los poros del filtro en donde la materia orgánica es degradada.

## G

**GERMICIDA:** destruye las bacterias.

## H

**HIDRÓGENO:** primer elemento de la tabla periódica. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas, H<sub>2</sub>.

**HIDROLAVADORA:** máquinas capaces de rociar agua a alta presión para la limpieza de elementos, utilizan hasta un 80% menos de agua.

**HIDRÓLISIS:** reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar unión de otra especie química.

**HIPERTERMÓFILO:** organismos cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra estrictamente por encima de los 80°C.

**HIPOCLORITO DE CALCIO:** compuesto químico cuya fórmula es Ca(ClO)<sub>2</sub>. Es utilizado para tratamiento de aguas contra bacterias, algas, moho, hongos y microorganismos. Tiene una apariencia granulosa, de color beige claro.

**HIPOCLORITO DE SODIO:** compuesto químico, fuertemente oxidante de fórmula NaClO. Contiene cloro en estado de oxidación +1. Se utiliza como desinfectante, además destruye colorantes por lo que se utiliza también como blanqueador.

## I

**INTENSIDAD DE LLUVIA:** precipitación que se da en determinado tiempo.

## L

**LLENACÁNTAROS:** grifo de agua disponible para el uso comunitario.

## M

**MESÓFILAS:** bacteria que descompone la materia orgánica a temperaturas que oscilan entre 30 y 40 °C.

**METANO:** gas incoloro, inflamable, no tóxico, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>. Se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica.

**METANOGENESIS:** producción de metano por los microorganismos.

**MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS:** métodos instrumentales empleados en química basados en la interacción de radiación con otras partículas para identificar la concentración de alguna sustancia.

**MICROBIANO:** referencia a un conjunto de microbios.

**MOTOBOMBA:** máquina que se utiliza en circunstancias en las que se necesita mover una gran cantidad de agua de forma, rápida y eficiente.

## N

**NODO:** es un punto de conexión en el que concluyen varios elementos hidráulicos.

## P

**PENDIENTE MÁXIMA:** mayor pendiente que se puede utilizar en el diseño del proyecto y está determinada por la configuración del terreno.

**PENDIENTE MÍNIMA:** menor pendiente que se asume para la funcionalidad del drenaje.

**PÉRDIDAS LOCALES:** pérdidas de energía debido a accesorios, tales como codos, válvulas y otros.

**PÉRDIDAS POR FRICCIÓN:** pérdidas de energía debido a la fricción entre el líquido y las paredes de la tubería.

**POZO DE ABSORCIÓN:** agujero excavado en el suelo, generalmente relleno con piedras, que facilita la infiltración del agua en el suelo.

**POZO DE VISITA:** accesorio de un sistema de alcantarillado por donde se accede al colector y ayuda para brindarle Accesorio del sistema de alcantarillado que permite el acceso al colector y la realización de mantenimiento del sistema

**PRESIÓN:** fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

## Q

**QGIS:** Quantum Geographic Information System. Software para sistema de información geográfica.

**QUEMADOR:** dispositivo que facilita la mezcla de un combustible y un comburente, en el cual se produce la combustión, que generalmente utiliza combustible gaseoso

## R

**RAFA:** siglas para Reactor Anaerobio de Flujo ascendente

**RAP:** reactor anaerobio de flujo a pistón

**RIGIDEZ:** capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.

**RUGOSIDAD:** conjunto de variaciones en una superficie. Este parámetro afecta las pérdidas por fricción ya que entre más rugoso sea el material, más pérdidas de fricción va a tener el agua.

## S

**SEDIMENTACIÓN:** es la materia que luego de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo por su mayor densidad.

**SGSL:** siglas para Separador gas, sólido, líquido.

**SHAPE O CAPA:** formato de archivo informático que almacena entidades geométricas de los objetos para su aplicación en programas de Sistemas de Información geográfica.

**SIG:** Sistema de Información Geográfica.

**SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA:** conjunto de obras, equipos, materiales, personal y acciones de administración, operación y mantenimiento para la distribución de agua para consumo humano, a través de conexiones domiciliarias, prediales, llenacántaros y tanques o pilas públicas.

**SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN:** es un sistema compuesto por tuberías y nodos que tiene como función llevar agua potable del tanque cisterna a los puntos de consumo.

**SUMIDERO:** rejilla en un canal por donde se sumen las aguas de lluvia o residuales.

## T

**TAMIZADO:** es la acción de hacer que alguna sustancia atraviese un tamiz que permite separar las partículas más grandes de otras más pequeñas.

**TRH:** siglas para Tiempo de retención hidráulico, el cual es el tiempo en el que tarda una partícula en llegar de un punto a otro.

## U

UASB: reactor anaerobio de flujo ascendente, por sus siglas en ingles Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UTM: Universal Transverse Mercator, sistema de coordenadas internacional. A Guatemala le corresponde UTM Z15N y UTM Z16N.

## V

VÁLVULA DE AIRE: válvula que permite remover el aire disuelto del agua dentro de la tubería. Se ubican en las partes más elevadas del sistema de tuberías ya que ahí se concentra el aire disuelto en forma de burbujas.

VÁLVULA DE PURGA: válvula que permite remover material de arrastre y sedimento de la línea de conducción. Se ubican en las partes más bajas de la línea.

VERTEDERO SUTRO: el vertedero sutro es un elemento para controlar la cantidad de caudal que pasa a través de un área determinada.

VISCOSIDAD: resistencia a corte de un fluido. Es la resistencia hacia un flujo ante la aplicación de fuerza.