

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL RÍO SANTA CATARINA COMO
BASE PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES DE
CONTAMINACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL
ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY (AMM)**

PRESENTA

ING. GLENDA ELENA MARTÍNEZ QUIROGA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

SEPTIEMBRE, 2018



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL RÍO SANTA CATARINA
COMO BASE PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS
AMBIENTALES DE CONTAMINACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE
MONTERREY (AMM)**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAestrÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA

ING. GLENDA ELENA MARTÍNEZ QUIROGA

Vo. Bo.

**Dr. Héctor de León Gómez
Director de Tesis**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**TESIS
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL RÍO SANTA CATARINA COMO BASE
PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES DE
CONTAMINACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA
METROPOLITANA DE MONTERREY (AMM)**

**PRESENTA
ING. GLENDA ELENA MARTÍNEZ QUIROGA**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Vo. Bo.

COMITÉ DE REVISIÓN DE TESIS

Dr. Héctor de León Gómez

Director de Tesis

Dr. Fabiola Yépez Rincón

Co-Director de Tesis

Dr. Antonio Cardona Benavides

Co-Director de Tesis

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

SEPTIEMBRE, 2018

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, por ser quien me guía y permitirme llegar hasta este punto y concluir a pesar de toda dificultad. Le agradezco por todo el amor y la misericordia que me ha brindado hasta el día de hoy.

A mi madre Martha por siempre estar conmigo a lo largo de todos estos años, por darme tanto amor y apoyo, y jamás dejarme... ¡gracias!

A Sebastián por estar en todo momento para darme su apoyo, motivación y palabras de aliento, en las buenas y en las no tan buenas... ¡gracias!

A mis hermanos Uriel y Grecia por su comprensión, así como a mi padre Felipe, por ser parte de mi vida.

A mis compañeros de maestría y de generación, que fueron gran compañía durante este proceso, en especial a Mitzy, Saraí, Aurora, Francisco y Juan José...que no solo fueron compañeros si no amigos.

A mi tía Tabita por formar parte del camino y a Luis Mario por integrarse para brindarme su bonita compañía durante este trayecto... ¡gracias!

Al Dr. Héctor de León Gómez por ser director y asesor de mi tesis y contribuir con sus comentarios y observaciones al presente trabajo. Así como a la Dra. Fabiola Yépez por sus valiosas sugerencias, y su interés al coasesorarme a lo largo del este trabajo. Al Dr. Benavides por su apoyo con la revisión final y formar parte de mi comité de evaluación.

Al M.I. Javier Bermúdez y Nelly, por su disposición a brindar su ayuda o algún comentario para enriquecer ... ¡gracias!

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante el desarrollo de mis estudios y a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por la oportunidad.

A mis padres Martha y Felipe por su amor y contribuir a la realización de este trabajo con el traslado durante las salidas a campo, a Sebastián, Uriel y a los estudiantes de servicio Guillermo y Eduardo por acompañarme durante los largos y pesados recorridos por el Río. Su apoyo fue fundamental en este trabajo... ¡gracias!

A mis amigas a pesar de la distancia...Angélica, Dorina y Lucy.

*Acuérdate de tu creador en los días de tu juventud, antes de que vengas los días malos, y lleguen los años de los cuales digas: No tengo en ellos contentamiento.
Eclesiastés 12:1.*

CONTENIDO	PÁGINA
NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
SUMMARY	XVIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El agua como recurso	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.2.1 Situación del suministro de agua en el AMM	2
1.2.2 Estudios previos a nivel local.....	4
1.2.3 Estudios previos a nivel nacional.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.4.3 Metas	6
CAPÍTULO 2	7
GENERALIDADES	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Fisiografía	8
2.3 Clima.....	8
2.3.1. Temperatura.....	9
2.3.2. Precipitación y Evaporación	9
2.4 Hidrología	10
2.5 Hidrogeología	11
2.6 Geología.....	12
2.6.1 Geología Regional.....	12
2.6.2 Geología local	13
CAPÍTULO 3	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Ciclo Hidrológico	15
3.2. Formación de las Terrazas.....	16
3.3. Acuífero y tipos de acuífero	18

3.4. Conductividad Hidráulica (K)	19
3.5. Conceptos clave, descargas y contaminación del agua y medio físico	25
CAPÍTULO 4	27
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	27
4.1 Metodología	29
4.1.1. Carta geológica.....	29
4.1.2. Perfiles geológicos	30
4.1.3. Cartas piezométricas	30
4.1.4. Conductividad hidráulica	33
4.2. Geología del área de estudio.....	39
4.2.1. Geología del Cuaternario	39
4.2.2 Geología del Cretácico	81
4.3. Perfiles Geológicos.....	86
4.3.1 Perfil Santa Catarina.....	86
4.3.2 Perfil San Pedro Garza García I	89
4.3.3 Perfil San Pedro Garza García II	91
4.3.4 Perfil Monterrey I	93
4.3.5 Perfil Monterrey II	95
4.3.6. Perfil Guadalupe.....	97
4.4 Hidrogeología.....	100
4.4.1 Carta Piezométrica.....	100
4.4.2 Conductividad hidráulica	102
4.3 Resultados y Discusiones.....	104
CAPÍTULO 5	106
CARTA DE DOCUMENTACIÓN DE DESCARGAS DEL RÍO SANTA CATARINA ..	106
5.1. Metodología.....	106
5.2. Clasificación de las fuentes contaminantes.....	107
5.2.1. Basureros / Tiraderos clandestinos	116
5.2.2. Aguas residuales	117
5.2.3. Tiraderos de Escoria.....	122
5.2.4. Otros.....	122
5.3. Áreas contaminantes y de descargas de los cuatro municipios	124
5.3.1. Fuentes contaminantes y descargas en Santa Catarina	124
5.3.2. Fuentes contaminantes en San Pedro Garza García.....	125
5.3.3. Fuentes contaminantes y descargas en Monterrey	129

5.3.4 Fuentes contaminantes y descargas en Guadalupe.....	130
CAPÍTULO 6	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
6.1. Conclusiones.....	132
6.2. Recomendaciones.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución general del agua en el planeta Tierra (modificado de SEMARNAT, 2012)	1
Figura 2. Mapa de localización del Río Santa Catarina y área de estudio en escala 1:150,000 (Elaboración propia, a partir de imagen Esri, 2018).....	7
Figura 3. Grafica de Temperatura Media Anual (Fuente: CONAGUA, 2017).....	9
Figura 4. Gráfica de Precipitación Total Anual. (Fuente: CONAGUA, 2017).	10
Figura 5. Grafica de Evaporación Total Anual (Fuente: CONAGUA, 2017).	10
Figura 6. Trayecto general del Río Santa Catarina. Tomada de Ferrino-Fierro, et al. 2010.	11
Figura 7. El ciclo del agua (Modificado de Vera y Camilloni, 2007)	16
Figura 8. Formación de terrazas, cuando una corriente produce erosión en la vertical a través de un aluvión previamente depositado. Adaptada de Tarbuck y Lutgens, 2005.	17
Figura 9. Vista de las partes y composición de las terrazas, ejemplificadas en el Río Santa Catarina en Monterrey: 1- Llanura de inundación; 2- Terraza: Compuesta por la superficie plana (2a) y escarpe (2b).....	17
Figura 10. Terrazas clasificadas acorde a la topografía: a) terrazas pares muestran superficies planas al mismo nivel en ambos lados del canal; b) terrazas impares encontradas a diferentes elevaciones de un lado del canal al otro.....	18
Figura 11. Tipos de acuíferos: a) De poros, el agua se mueve en los poros. b) De grietas, el agua se mueve en las fracturas abiertas. c) Cárstico, el agua se mueve en los huecos cársticos de diámetros variables. Modificado de Werner, 1996 y Collazo-Caraballo et al, 2012).....	19
Figura 12. Clasificación de terrenos por permeabilidad (Elaboración propia de Custodio y Llamas, 1998).	24
Figura 13. Contaminación de un acuífero por lixiviados de residuos sólidos depositados en superficie (Porrás et al. 1985).	26
Figura 14. Vista oblicua del centro de Monterrey: a) años 30's b) año 2016 (Adecuado de CONAGUA, 2011 y <i>Google Earth</i>)	27
Figura 15. Comparación de las planicies de inundación de los años 1942, 1953, 1969 y 1971. a) Zona UDEM; b) Confluencia del Arroyo El Obispo; c) Puente Atirantado–Miravalle; d) Gonzalitos–V. Carranza; e) V. Carranza –Cuauhtémoc; f) Cuauhtémoc–Condominios Constitución; g) Condominios Constitución –Fundidora; h) Fundidora –Puente. Guadalupe y g) Puente Guadalupe – Puente Azteca. (Adaptado de CONAGUA, 2011).	28
Figura 16. Mapa de ubicación de los aprovechamientos hidráulicos seleccionados (Elaboración propia a partir de imagen Esri, 2018)	31

Figura 17. Medición de los niveles estáticos con sonda acústica Solinst en pozo Suachiate II.....	32
Figura 18. Aprovechamientos hidráulicos considerados dentro del área de estudio.	32
Figura 19. Obtención de las muestras.....	34
Figura 20. Preparación de la muestra: a) Cuarteo y formación de cono de muestra. b) Cuarteo a partir del nuevo cono y toma de muestra a partir de cuadrantes opuestos.	35
Figura 21. Separación en tamices por tamaños de partículas.	35
Figura 22. a) cuarteo mecánico; b) lavado de muestra; c) secado en el horno.....	36
Figura 23. 1) Datos de la abertura de las mallas (mm), 2) porcentaje que pasa por los tamices de la muestra, 3) peso inicial de la muestra y 4) temperatura.	37
Figura 24. Procesamiento y obtención de datos: 5) “Start” para correr el programa, 6) “Input Prep.” Para gráfica y estimación de datos, 7) “Do all” para poner en marcha el conjunto de funciones de la hoja.....	38
Figura 25. a) Composición general de T1SC. b) Cambio en la composición de la T1SC.	40
Figura 26. a) Composición general de la T2SC y T2SC cubierta por escombros (recuadro rojo), y b) Composición general de la T2SC.....	41
Figura 27. a) Distribución alterna de la T2SC, y b) Graveros consolidados de la T2SC.	41
Figura 28. a) Composición general de la T3SC, y b) T3SC con contenido de residuos sólidos.	42
Figura 29. a) y b) T4SC en contacto con la Formación Méndez.	42
Figura 30. Carta Geológica Río Santa Catarina I	42
Figura 31. Carta Geológica Río Santa Catarina II	43
Figura 32. Carta Geológica Río Santa Catarina III	44
Figura 33. Carta Geológica Río Santa Catarina IV	45
Figura 34. Carta Geológica Río Santa Catarina SC-SP	46
Figura 35. a) Composición general de T1SP, y b) Composición general de la T1SP con basura.	48
Figura 36. a) Composición general de la T1SP en zona de aporte, y b) Aumento de contenido de graveros del arroyo “El Obispo” y cantos rodados de la T1SP en la zona	48
Figura 37. a) Composición general de la T2SP; b) Zona expuesta de la T2SP; c) Graveros arenosos arcillosos de la T2SP afectadas por la D23 y d) Graveros arenosos arcillosos de la T2SP.....	49
Figura 38. T2SP cubierta por relleno de construcción y escombros.....	50
Figura 39. Zona de la T3SP expuesta.....	50

Figura 40. Composición general de la T4SP a un costado de la av. Dr. Ignacio Morones Prieto	51
Figura 41. Carta Geológica Río Santa Catarina SP	51
Figura 42. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY I.....	52
Figura 43. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY II.....	53
Figura 44. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY III.....	54
Figura 45. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY IV.....	55
Figura 46. a) Gravas arenosas con cantos rodados de la T1MTY y, b) Contacto entre la T1MTY y la Fm. Méndez.	57
Figura 47. a) Composición general de la T2MTY y Terraza 3 Monterrey (T3SMTY) b) T2MTY en cruce de la Av. Cuauhtémoc.....	58
Figura 48. a) Composición general de la T3Mty en campo y b) Av. Constitución sobre T3Mty (recuadro rojo).	58
Figura 49. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY I.....	58
Figura 50. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY II.....	59
Figura 51. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY III.....	60
Figura 52. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY IV	61
Figura 53. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY V	62
Figura 54. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VII	63
Figura 55. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VII	64
Figura 56. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VIII	65
Figura 57. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE I	66
Figura 58. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE II	67
Figura 59. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE III	68
Figura 60. a) Distribución general de la T1Gpe y, b) T1Gpe en zona del B148.....	70
Figura 61. a) Gravas arenosas de la T2Gpe expuesta, y b) T2Gpe expuesta en sitio de la D134.	71
Figura 62. a) Composición general de la T2Gpe, y b) Alteración en la T3Gpe	71
Figura 63. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE I.....	71
Figura 64. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE II.....	72
Figura 65. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE II.....	73
Figura 66. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE IV	74
Figura 67. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE V	75
Figura 68. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VI	76

Figura 69. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VII	77
Figura 70. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VIII	78
Figura 71. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VII	79
Figura 72. a) Calizas y lutitas de la Fm. San Felipe. b) Calizas de la Fm. San Felipe aflorando sobre lecho del río.....	81
Figura 73. Formación Méndez aflorando en contacto con la T2SC.	82
Figura 74. a) Lutitas de la Fm. con la T4SP y b) Lutitas intemperizadas de la Fm. Méndez en contacto Méndez en Santa Catarina.	82
Figura 75. a) Fm. Méndez en estado intemperizado en San Pedro Garza García, y b) segundo afloramiento de la Fm. Méndez en San Pedro Garza García.	83
Figura 76. a) Fm. Méndez a 150 m. aprox. Antes con sedimento de la T2Mty. y, b) Lutitas de la Fm. Méndez en contacto de la av. Gonzalitos.....	84
Figura 77. Fm. Méndez en estado intemperizado con caliche en sitios: a) Teatro Monterrey, b) Cuauhtémoc, c) Hospital IMSS sector 4 y d) av. Pedro Martínez.	84
Figura 78. Lutitas de la Fm. Méndez en estado intemperizado en contacto con la T1Gpe.	85
Figura 79. Lutitas de la Fm. Mendez en contacto con la T1Gpe.....	85
Figura 80. Lutitas de la Fm. Méndez en contacto con la T1Gpe.....	86
Figura 81. Puntos de ubicación del perfil Santa Catarina I, escala 1:10,00 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).....	86
Figura 82. Perfil Geológico A-A' Santa Catarina I.....	88
Figura 83. Puntos de ubicación del perfil San Pedro Garza García I, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).	89
Figura 84. Perfil Geológico B-B' San Pedro Garza García I	90
Figura 85. Puntos de ubicación del perfil San Pedro Garza García II, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).	91
Figura 86. Perfil Geológico C-C' San Pedro Garza García II	92
Figura 87. Puntos de ubicación del perfil Monterrey I, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).....	93
Figura 88. Perfil Geológico D-D' Monterrey I.....	94
Figura 89. Perfil E-E', Monterrey, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).	95
Figura 90. Perfil Geológico E-E' Monterrey II	96
Figura 91. Gravas de escoria sobre la T1Mty.....	97
Figura 92. Ubicación de perfil Guadalupe, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).....	97
Figura 93. Perfil Geológico F-F'Guadalupe	99

Figura 94. Mapa con Carta piezométrica referida al mes de marzo de 2018.....	100
Figura 95. Base de datos de descargas a partir de <i>Google Earth</i> , zona de límite municipal entre Monterrey y Guadalupe.....	106
Figura 96. Carta de descargas en el municipio de Santa Catarina y San Pedro..	107
Figura 97. Carta de descargas en el municipio de San Pedro y Monterrey.	108
Figura 98. Carta de descargas I en el municipio de Monterrey.....	109
Figura 99. Carta de descargas II en el municipio de Monterrey.....	110
Figura 100. Carta de descargas I en el municipio de Monterrey y Guadalupe.....	111
Figura 101. Carta de descargas II en el municipio de Monterrey y Guadalupe....	112
Figura 102. Carta de descargas I en el municipio de Guadalupe.	113
Figura 103. Carta de descargas II en el municipio de Guadalupe.	114
Figura 104. Tiradero municipal a la intemperie de Guadalupe	116
Figura 105. Contaminación del agua superficial por el contacto con los residuos de basura.	117
Figura 106. a) Descarga D75 en el río; b) Residuos de la D75 en el río.....	118
Figura 107. Descarga D108 en el Río Santa Catarina.....	119
Figura 108. a) Descarga D78d con coloraciones café y rojizas y b) Alteración en la T2Mty, producto del contenido en la descarga D78d.	120
Figura 109. Descarga D112 de agua residual con afectación en la composición de la terraza (Tomada de: De León-Gómez, 2015).	121
Figura 110. a) Descarga D128 en la T2 del río y, b) Coloración rojiza en los sedimentos de la T2.....	121
Figura 111. Tiradero de escorias (T152) por el margen derecho del Río Santa Catarina, Guadalupe.....	122
Figura 112. Derrame de drenaje sanitario vertido directamente hacia el río (O26).123	
Figura 113. Derrame de aguas en el colector San Pedro Garza García sobre el río.124	
Figura 114. a) Descargas vertidas directamente de asentamiento irregular hacia el río y b) Conexión de la descarga D12 directamente hacia el río.	125
Figura 115. Tiraderos de basura B151 y B152 (a) y (b),respectivamente, con vertimiento y quema de basura.	125
Figura 116. a) Abundante vegetación en el sitio de la D15 y b) Descarga D15 en la T2. a) Abundante vegetación en el sitio de la D15 y b) Descarga D15 en la T2.	126
Figura 117. Descargas D18 y D33 con presencia de abundante vegetación.....	127
Figura 118. a) Descarga D24 hacia el río y b) Descarga D47 sobre el río.....	127
Figura 119. a) Sitio de aporte del arroyo “El Obispo” arroyo al hacia el río, y b) Vertimiento de residuos líquidos del río Santa Catarina.....	128

Figura 120. a) Basura esparcida cercana al sitio de la D38 y b) Basura extendida a través de la T1.....	128
Figura 121. a) Descarga de aguas residuales D49 y b) Aguas negras” provenientes de la D49.....	129
Figura 122. a) Descarga cuádruple D68cy b) Aguas residuales de la D68c.	130
Figura 123. a) Residuos líquidos de la D68c y b) Tortuga sin vida en sitio de descarga D68c.....	130
Figura 124. a) Aparente descarga de residuos fecales y b) Residuos fecales en descarga de agua residual D91.....	131
Figura 125. Descarga de agua residual D91.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población total del AMM por municipio (Fuente INEGI, 2015).....	2
Tabla 2. Denominación de clasificación de partículas (ASTM).	20
Tabla 3. Ecuaciones seleccionadas relacionadas con la conductividad hidráulica, con porosidad y tamaño de grano efectivo (Vukovic y Soro, 1992).....	22
Tabla 4. Aprovechamientos hidráulicos con sus respectivas coordenadas, elevación del terreno, niveles estáticos tomados en campo y niveles piezométricos obtenidos...	33
Tabla 5. conductividades hidráulicas estimadas a partir de los métodos de análisis granulométrico.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de análisis granulométricos y conductividad hidráulica de las muestras.....	139
ANEXO 2. Base de datos de las descargas en el río en el municipio de Santa Catarina.....	155
ANEXO 3. Base de datos de las descargas en el río en el municipio de San Pedro.....	161
ANEXO 4. Base de datos de las descargas en el río en el municipio de Monterrey.....	172
ANEXO 5. Base de datos de las descargas en el río en el municipio de Guadalupe.....	186

NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS

a	años
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
°C	Grados Centígrados
DEHP	di(2-etilhexil) ftalato
Fm.	Formación
GPS	Geoposicionador satelital
Km	kilómetros
LCGN	Llanura Costera del Golfo Norte
m	metros
m ³	metros cúbicos
mm	milímetros
msnm	metros sobre nivel del mar
m/día	metros por día
N.L.	Nuevo León
NOM	Norma Oficial Mexicana
RH	Región Hidrológica
seg.	segundo
SIG	Sistema de Información Geográfica
SMOr	Sierra Madre Oriental
%	Por ciento
T1SC	Terraza 1 Santa Catarina
T2SC	Terraza 2 Santa Catarina
T3SC	Terraza 3 Santa Catarina
T4SC	Terraza 4 Santa Catarina
T1SP	Terraza 1 San Pedro Garza García
T2SP	Terraza 2 San Pedro Garza García
T3SP	Terraza 3 San Pedro Garza García
T4SP	Terraza 4 San Pedro Garza García
T1MTY	Terraza 1 Monterrey
T2MTY	Terraza 2 Monterrey
T3MTY	Terraza 3 Monterrey
T1GPE	Terraza 1 Guadalupe
T2GPE	Terraza 2 Guadalupe
T3GPE	Terraza 3 Guadalupe
UTM	Universal Transverse Mercator
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DIN	Deutsches Institut für Normung (Organismo nacional de normalización de Alemania)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
SGM	Servicio Geológico Mexicano
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
UASLP	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
UNAM	Universidad Autónoma de México

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo, siendo importante conocer el medio por el cuál se conduce. El abastecimiento de agua para grandes ciudades como Monterrey y su área metropolitana (AMM), es considerado como un problema a resolver, en el que se busca continuamente soluciones para abastecer a futuras generaciones, considerando el acelerado crecimiento poblacional, el incremento en la demanda de agua y en ciertos casos su manejo inadecuado. Lo anterior, contribuye a la vulnerabilidad de la calidad y cantidad del agua, vertiendo aguas residuales sobre cauces superficiales, como el Río Santa Catarina; dichas descargas alteran la calidad del agua destinada para fines de uso potable ya que este río aporta sus escurrimientos al río San Juan y este a su vez a la presa El Cuchillo, que representa la fuente principal de abastecimiento de agua potable para el AMM. A partir de fases diagnósticas se han identificado concentraciones de contaminantes, entre ellos contaminantes emergentes y metales pesados, sin embargo, hasta el día de hoy no se cuenta con estudios geológicos detallados de la zona, por lo que el presente estudio evalúa la caracterización geológica en la porción del río que atraviesa el AMM.

El objetivo general de la presente investigación, fue llevar a cabo la caracterización geológica de las formaciones geológicas y las terrazas aluviales presentes en la zona de estudio para identificar el medio físico por el cual se conduce el agua superficial y subterránea, su hidrodinámica y obtener la documentación de las fuentes contaminantes.

A través de metodologías geológicas, hidrogeológicas y de documentación, se llevaron a cabo trabajos de campo, cartografía geológica de las terrazas y formaciones, así como la documentación de descargas como fuentes contaminantes para obtener la carta geológica escala 1:3,000 y la carta de descargas escala 1:10,000. Además se realizó una campaña de medición del nivel estático en época ordinaria para obtener la carta piezométrica. Se obtuvieron muestras de los sedimentos aluviales que constituyen a las terrazas para obtener la granulometría a través del programa HydrogeoSieveXL V 2.0 y a la vez su conductividad hidráulica (K).

Dentro de los resultados obtenidos se identificaron las terrazas T1, T2, T3 y T4 , así como las Formaciones geológicas Méndez y San Felipe. Se obtuvo la dirección de flujo del agua subterránea de W a E con un gradiente piezométrico medio de 0.00651. Se calcularon valores de conductividad hidráulica entre 2.4 y 8.7×10^4 m/día. Por otro lado, se identificaron 154 fuentes contaminantes hacia el río en el área de estudio.

Con el conocimiento de las cartas geológicas, los perfiles geológicos, la carta piezométrica y carta de descargas se da a conocer un panorama general de la situación actual de la zona del Río Santa Catarina y el medio por el cual se conduce el agua y contaminantes contenidos en ella, como base para futuras evaluaciones y estudios ambientales con relación al abastecimiento y la calidad del agua para el AMM.

ABSTRACT

Water is a vital resource for human beings and essential for urban development. Hence, it is a priority to characterize the medium whereby water is conducted. Water supply for the Metropolitan Area of Monterrey (AMM, by its acronym in Spanish) is considered a topic of increasing importance; several sectors of society continue to search for alternatives to guarantee the supply for future generations. Factors like the accelerated population growth, increase in water demand, and in certain cases, management deficiencies augment the complexity of the problem. In turn, such factors alter the quality and quantity of water. Such is the case of Santa Catarina River where, the dumping of sewage on the course of the river and contaminant discharge have deteriorated the quality of water destined for potable use. Runoffs from Santa Catarina River converge into the San Juan River and these in turn flow to El Cuchillo dam, which represents the main source of potable water for AMM. Previous studies from diagnostic phases have identified concentrations of diverse contaminants. Among these, emergent contaminants and heavy metals have been identified. However, as of today there are no detailed geologic studies of the area, and therefore this work presents the first geologic characterization of the Santa Catarina River through the portion inside AMM.

The general objective of the present investigation was to conduct a geologic characterization of the found geologic formations and the alluvial terraces present in the zone of study in order to identify the physical medium for which the water is conducted at surface and underground, its hydro-dynamic and document contaminant sources across the River.

Through geologic and hydrogeologic methodologies, field work was conducted to generate geologic cartography of the terraces and geologic formations, and in turn, document discharge of contaminant sources in order to obtain a geologic chart scale 1:3,000 and the discharge chart scale 1:10,000. In addition, a measurement campaign was conducted in order to obtain the static level in ordinary epoch, so piezometric chart could be generated. Samples of the alluvial sediments of the terraces were collected in order to know the soil granulometry and consequently, estimate hydraulic conductivity (K).

Between results obtained, river terraces T1, T2, T3, T4 were identified, as well as geologic formations Mendez and San Felipe. Direction of underground water flow was obtained from West to East and with a mean piezometric gradient of 0.00651. Hydraulic conductivity estimated from granulometric studies yielded a wide range of values between 2.4 and 8.7×10^{-4} m/day. On the other hand, in the study area this work found 154 contaminant sources towards the River.

Through geologic charts, geologic profiles, piezometric chart and a contaminant sources chart this investigation introduces general view of the situation in the area of the Santa Catarina River; and the medium through which water and contaminants are conducted. This study lays down the basis for future assessments and environmental studies related to the supply and quality of the water in the AMM.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 El agua como recurso

El agua es fundamental dentro de los procesos tanto ambientales como sociales, y es indispensable para el surgimiento y desarrollo de la vida; a pesar de que cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, se debe considerar que, del volumen total, el 97.5% es agua salada contenida en océanos y mares, mientras que alrededor del 2.5% restante es agua dulce o de baja salinidad, esta última a su vez contenida en glaciares (1.72%), permafrost (0.02%), aguas subterráneas (0.75%) y aguas superficiales (0.01%) (Figura 1) (Mazari-Hiriart, 2003; SEMARNAT, 2012).

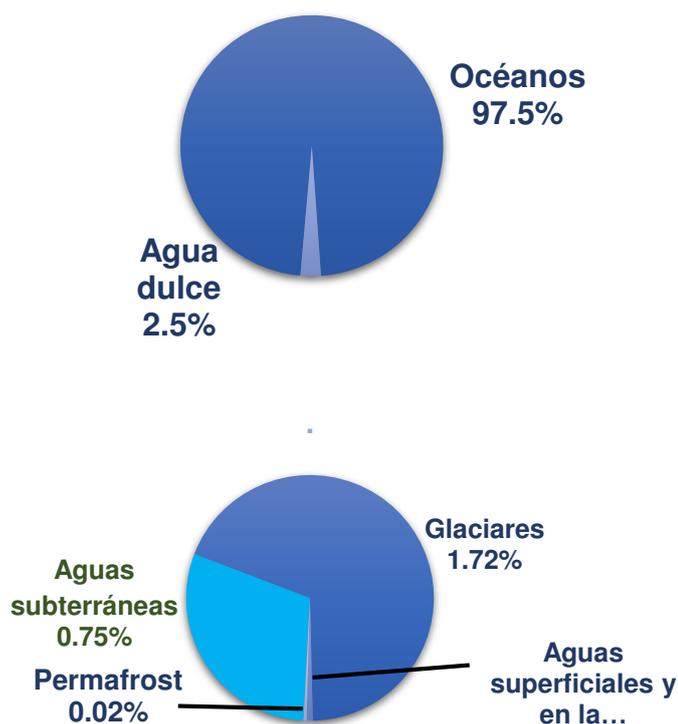


Figura 1 Distribución general del agua en el planeta Tierra (modificado de SEMARNAT, 2012)

A lo anterior debe añadirse, que el descuido de las personas al cuidado del medio ambiente y la gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas ha repercutido en parte al deterioro de la calidad de los diferentes

cuerpos de agua y conlleva que tal recurso que beben millones de personas se vea peligrosamente contaminado químicamente, dependiendo el origen y concentración. México, así como muchos otros países, enfrenta grandes problemas por la disminución de disponibilidad del agua en las zonas más pobladas, así como por la creciente contaminación de los cuerpos de agua que sirven como fuente de abastecimiento (OMS,2017; Olmos-Ramos *et al.*, 2003).

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) no es excepción a la problemática anterior, ya que a pesar de ser considerada uno de los centros de crecimiento y de producción más importantes del país, continúa enfrentándose a procesos de crecimiento acelerado, lo que repercute en la necesidad de abastecimiento adecuado de agua (en volumen y calidad), lo que implica la búsqueda de alternativas de abastecimiento y grandes inversiones por parte de las autoridades (SAyDM; Sánchez de Llanos *et al.*, 2015).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Situación del suministro de agua en el AMM

El AMM cuenta con 4,383,451 millones de habitantes (*Tabla 1*), considerando que al año 1997 se contaba con 3,5 millones (INEGI, 2015) se percibe que, junto con la población, hay cada vez más aumento en la necesidad de cubrir la demanda de agua para sus diversos fines.

Municipio	Población
Apodaca	597,207
Cadereyta Jiménez	95,534
García	247,370
General Escobedo	425,148
Guadalupe	682,880
Juárez	333,481
Monterrey	1,109,171
San Nicolás de los Garza	430,143
San Pedro Garza García	123,156
Santa Catarina	296,954
Santiago	42,407
Total AMM	4,383,451

Tabla 1 Población total del AMM por municipio (Fuente INEGI, 2015).

El abastecimiento de agua para grandes ciudades como lo es Monterrey (y su área metropolitana), es considerado como uno de los problemas significativos a resolver y en los que se busca continuamente buscar soluciones para futuras generaciones, considerando que el AMM se encuentra en una zona semidesértica, en la que se tiene acelerado crecimiento poblacional e incremento en la demanda de agua para usos domésticos e industriales, en ciertos casos, manejándose inadecuadamente los recursos hidráulicos (de la Garza, 1988; Alva, 1997; SAyDM, 2011; Mora, 2017).

El agua suministrada al Área Metropolitana de Monterrey se extrae de dos fuentes: Superficiales y Subterráneas (en aproximadamente mismos porcentajes de abastecimiento). Las primeras, constituidas por 3 presas de almacenamiento (*El Cuchillo, La Boca y Cerro Prieto*), mientras las segundas constituidas por 46 pozos profundos (*Mina, Buenos Aires y AMM*), 50 someros (*AMM*), 1 manantial (*La Estanzuela*), 3 túneles (*Cola de Caballo I y II, y San Francisco*) y una galería filtrante (*La Huasteca*), (SAyDM, 2017).

Sin embargo, el crecimiento de la población contribuye a la vulnerabilidad de su calidad, descargando aguas residuales de distintos orígenes sobre cauces superficiales y al subsuelo, como es en el caso del Río Santa Catarina. El papel que desempeña el medio físico natural comprendido por el marco geológico, hidrogeológico e hidrogeoquímico es importante, ya que estos pueden ser determinantes en el grado de protección o susceptibilidad que presente el medio acuífero con respecto a la influencia de estos contaminantes en la calidad del agua subterránea; por lo esencial que es el agua como recurso, es importante conocer el medio por el cual ésta se conduce, ya que es bien sabido que algunos contaminantes pueden infiltrarse y llegar a la zona de saturación y contaminar las aguas subterráneas (Lizárraga-Mendiola, 2003).

En estudios anteriores, se han presentado casos en los que se reporta contaminación en las aguas del Río Santa Catarina, lo cual genera preocupación debido a las posibles infiltraciones a la parte subterránea (que forma parte de las fuentes de agua subterráneas) de la cual se abastece a parte de la población a través de pozos hidráulicos, además de los escurrimientos del mismo río que van a dar a la presa El Cuchillo, siendo esta una de las principales fuentes superficiales para abastecer al AMM, añadiendo que de los contaminantes encontrados van más allá de los contaminantes básicos tratados en las plantas potabilizadoras como lo son los contaminantes emergentes y metales pesados (Puente-Martínez, 2017; Ramírez-Gallegos, 2017); cabe mencionar que los contaminantes básicos son los compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales (NOM-001-ECOL-1996). Considerando lo anterior, se parte para ubicar y recopilar las posibles fuentes de contaminación

hacia el río (descargas de distintos tipos), así como identificar y caracterizar el medio geológico e hidrogeológico en el que se encuentran.

1.2.2 Estudios previos a nivel local

- Diversas investigaciones geológicas e hidrogeológicas se han desarrollado en distintos puntos dentro del AMM, las cuales tienen como objetivo un mejor entendimiento de la interacción entre estas disciplinas. Sin embargo, específicamente en la zona del río Santa Catarina se reporta escasa información geológica, salvo las cartas proporcionadas por INEGI, siendo la de mayor escala 1: 50,000 (G14C25, ed. 1976 y G14C26, ed. 1977) y del SGM que abarca solamente la parte inicial de la zona de estudio (C14-C25 Garza García). A nivel secundario, CONAGUA (2015) reporta la situación general del acuífero de área metropolitana de Monterrey.
- El Instituto Nacional de Ecología (1988), reporta la existencia de contaminación del agua de las corrientes principales de la cuenca del río San Juan, sobrepasándose límites de calidad requeridos para diversos usos destinados (según reglamento para la prevención y control de la contaminación, 1973).
- Alva Niño (1995), proporciona una carta Ingeniero-Geológica del AMM como base para un mejor manejo de los acuíferos, necesario para la gran actividad que hay en una ciudad como lo es Monterrey.
- Alva Niño (1997), llevó a cabo un estudio geológico – hidrogeológico de la región Noreste (Sierra las Mitras-Cerro el Topo-Cerro el Durazno) de Monterrey, Nuevo León, haciendo una evaluación de los acuíferos presentes.
- Flores Laureano (1997), evaluó la calidad del agua del río San Juan mediante la identificación de contaminantes, y el análisis de las variaciones espaciales y temporales, en que dentro de los resultados de los parámetros evaluados para consumo de agua potable (según NOM-127-SSA-1994, normas de la Organización Mundial de la Salud y de la Comunidad Económica Europea) se excedieron 19 de 24 parámetros analizados presentando mayores valores de coliformes fecales, coliformes totales, color, turbiedad, aluminio, fierro y cadmio y así como menores de plomo, cromo, mercurio, nitritos, pH, entre otros.
- CONAGUA (2011), elaboró un proyecto sobre problemáticas del Río Santa Catarina sobre riesgos y agua con base a los acontecimientos ocurridos durante el huracán Alex.
- Georecursos Ambientales Sostenibles (2016), dentro de una fase diagnóstica identificó en ciertos puntos del Río Santa Catarina

concentraciones de ciertos contaminantes emergentes y metales pesados en el agua y sedimentos.

- Puente Martínez (2017), en su trabajo determina probables fuentes de contaminantes emergentes cercanas al Río Santa Catarina que pueden degradar la calidad del agua y su posible movilización por medio de SIG.
- Ramírez Gallegos (2017), realiza la caracterización hidrogeoquímica de metales pesados en el Río Santa Catarina, registrando presencia de algunos metales en diversas concentraciones, atribuyéndolo a la influencia que tienen descargas de agua residual sin previo tratamiento en la zona.

1.2.3 Estudios previos a nivel nacional

- Galván Mancilla (1996), elaboró la cartografía hidrogeológica de la terraza baja entre Hualahuises y Linares, N.L por la escasa información existente en ese tiempo y con el fin de proporcionar información geológica e hidrogeológica detallada como apoyo en la optimización y mejora del aprovechamiento y manejo del agua subterránea como recurso.
- Lizárraga Mendiola *et al.*, (2006) realizó el análisis y evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y comunidad de La Petaca de Linares Nuevo León.
- Arango Guevara *et al.*, (2007) realizó la actualización geológica y evaluación Geológico-Ambiental de la Cuenca del Río Chichimequillas como instrumento en el ordenamiento territorial y sustrato para el desarrollo de actividades humanas.
- De León- Gómez *et al.*, (2015) investiga sobre la calidad de aguas naturales afectadas por la contaminación de los lixiviados generados en el relleno sanitario municipal de Linares, Nuevo León basado en métodos geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos para identificar agentes externos al medio natural.

1.3 Hipótesis

A través de la caracterización geológica se identificará el medio físico por el cual se conduce el agua y contaminantes de manera superficial y subterránea, que pudiesen seguir alterando la calidad del agua del Río Santa Catarina y la presa El Cuchillo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

El objetivo del presente trabajo es llevar a cabo la caracterización geológica de las Formaciones geológicas y las terrazas aluviales presentes en la zona de estudio del Río Santa Catarina para identificar el medio físico por el cual se conduce el agua superficial y subterránea, así como realizar la documentación de las fuentes contaminantes en el río.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los tipos de terrazas aluviales (distribución y composición) y formaciones geológicas (Fm. Méndez y San Felipe) presentes en la zona de estudio del RSC.
- Recopilar y generar información granulométrica de las terrazas del río.
- Generar una base de datos con la ubicación y características de pozos de extracción próximos al área de estudio (buffer de 500 m), el estatus en el que se encuentran y medir sus niveles estáticos.
- Generar la base de datos que identifique y clasifique las fuentes contaminantes presentes a lo largo del río Santa Catarina, incluyendo los ductos de descargas y/o filtrados, así como tiraderos de basura y escoria.

1.4.3 Metas

- Obtener la carta geológica del cuaternario y terrazas del río en escala 1:3,000 y perfiles geológicos en sitios de interés.
- Obtener valores de estimación de conductividad hidráulica de las terrazas del río a partir de su granulometría.
- Obtener la carta piezométrica para la configuración de las isolíneas piezométricas y determinar las direcciones de flujo correspondiendo a tiempo ordinario.
- Obtener la carta de las descargas y/o filtraciones actuales hacia el Río Santa Catarina.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.1. Área de estudio

El río Santa Catarina se localiza dentro del Estado de Nuevo León, en las entidades de Santiago, San Pedro Garza García, Santa Catarina, Monterrey, Guadalupe y Cadereyta Jiménez.

La zona de estudio, con más de 30 km a lo largo del cauce del río se encuentra limitada entre las coordenadas UTM 354399E; 2838144N y 383554E; 2841438N (Figura 1).; esta porción del río del área de estudio inicia al suroeste saliendo de la zona de la Huasteca, atravesando los municipios de Santa Catarina, San Pedro Garza García, Monterrey y concluyendo hacia el este en Guadalupe cerca de la caseta de autopista Guadalupe-Reynosa; la zona considerada comprende cada lado partiendo del cauce principal del Río Santa Catarina, el cual se encuentra principalmente limitado entre las avenidas Dr. Ignacio Morones Prieto y Constitución.

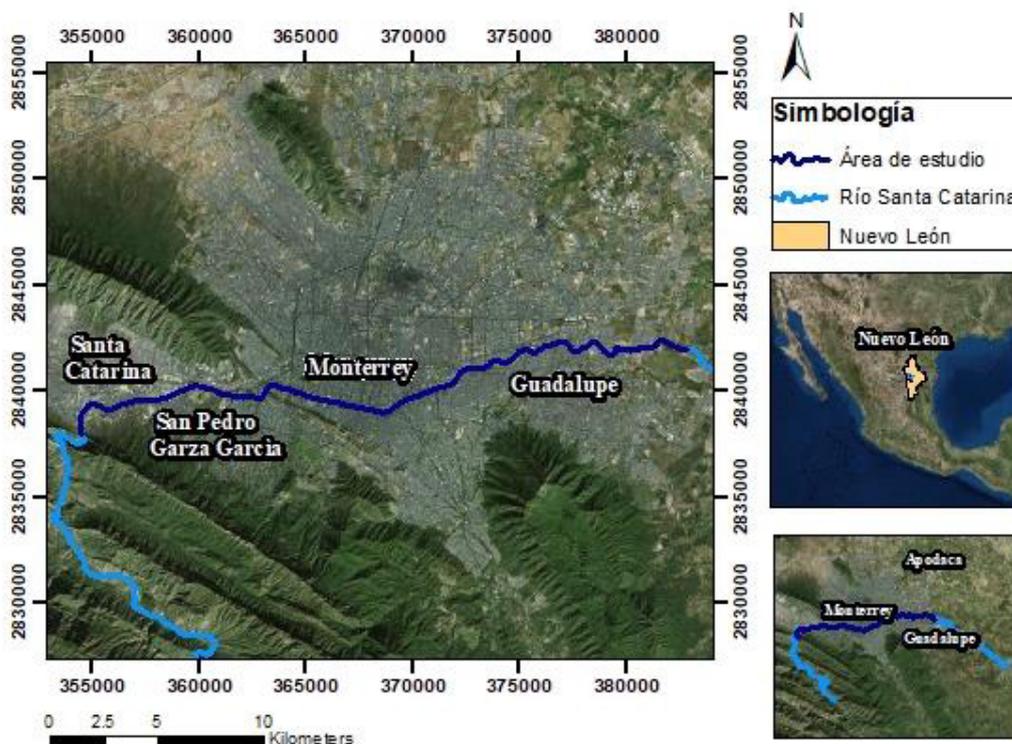


Figura 2. Mapa de localización del Río Santa Catarina y área de estudio en escala 1:150,000 (Elaboración propia, a partir de imagen Esri, 2018).

2.2. Fisiografía

El área de estudio se ubica dentro de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental (SMOr) y Llanura Costera del Golfo norte (LCGN); la SMOr es una cadena montañosa con dirección noroeste-sureste compuesta principalmente por una gruesa secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas del Mesozoico y cuyo relieve es debido a su misma deformación, al haber sido levantadas, comprimidas y transportadas hacia el noreste formando pliegues y cabalgaduras por los esfuerzos de la Orogenia Laramide durante el Paleoceno tardío-Eoceno temprano; cuenta con más de 800 km de longitud y de 80 a 100 km de amplitud, que se extiende paralela al golfo de México desde la frontera norte del estado de Nuevo León hasta el Sistema Neovolcánico Transmexicano; la SMOr a su vez, se encuentra dividida en ocho subprovincias de las cuales en dos de ellas (Sierras y Llanuras Coahuilenses y Gran Sierra Plegada) se encuentra el área de estudio (INEGI; Padilla y Sánchez, 1985; Lugo, 1990; Eguiluz, 2000; INEGI, 2008). Por otro lado, la LCGN emergió en la era Cenozoica y sus llanuras están formadas por materiales marinos cubiertos por un delgado aluvión, y en México abarca parte de los estados de Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí y Veracruz; se encuentra dividida en cuatro subprovincias de las cuales solo una de ellas (Llanuras y Lomeríos) abarca la zona de estudio (INEGI, 2008).

2.3 Clima

El AMM presenta un clima riguroso, con variaciones frecuentes, aunque en general considerado como clima seco y semiseco. Es caracterizado por el hecho de que la evaporación excede a la precipitación (por lo que, por lo regular ésta no es suficiente para mantener corrientes de agua permanente), la cual por lo general es escasa, aunque registrándose en ciertas regiones anualmente valores de 800 mm con valores medios entre 300-600 mm. (García-Quintero, 2008; Esparza-Hernández, 2014; CONAGUA, 2015; INEGI, 2017).

Mediante los parámetros climatológicos proporcionados por CONAGUA (sede Monterrey N.L.), y considerando la información disponible de los últimos 30 años, se elaboraron gráficas anuales de temperatura, precipitación, evaporación e hidrometría; tales datos obtenidos de las estaciones climatológicas con datos disponibles más cercanas: Monterrey (19049), Santa Catarina (19058), Topo Chico (19061), Los Lerma (19150) y Cadereyta (19008).

Es importante considerar el clima actual para la interpretación geológica, ya que el desarrollo, extensión, duración y destrucción de los rasgos geomorfológicos requieren de ciertas condiciones climatológicas. En el caso del intemperismo por ejemplo, juega un papel importante en la formación de los rasgos geológicos; la

humedad y el calor propician la descomposición de las rocas y por otro lado, el frío y condiciones de aridez lo obstaculizan (Longwell y Flint, 1983; de León-Gutiérrez, 1999).

2.3.1. Temperatura

Considerando la estación Meteorológica Monterrey (con más datos disponibles), muestra que desde 1986 a 2017, se observa una gran variación con respecto a la temperatura media anual, siendo los años 1986 con 21.4, 1997 con 21.5, 2004 con 22.45°C y 2007 con 22.50°C los que presentaron la temperatura más baja, mientras que las temperaturas más altas se presentaron en los años 1999, 2009, 2012 y 2011 con 23.9, 24.03, 24.4, 24.7°C respectivamente (Figura 3).

Cabe señalar que la temperatura media anual ha sido de 23°C, registrándose la mayor temperatura media anual en el año 2011 con 24.7°C, año en el que se atribuye uno de los fenómenos de sequía (sequia extraordinaria) con gran impacto tanto agrícola, ganadero y socioeconómico de la región (Martínez-Solís, 2016).

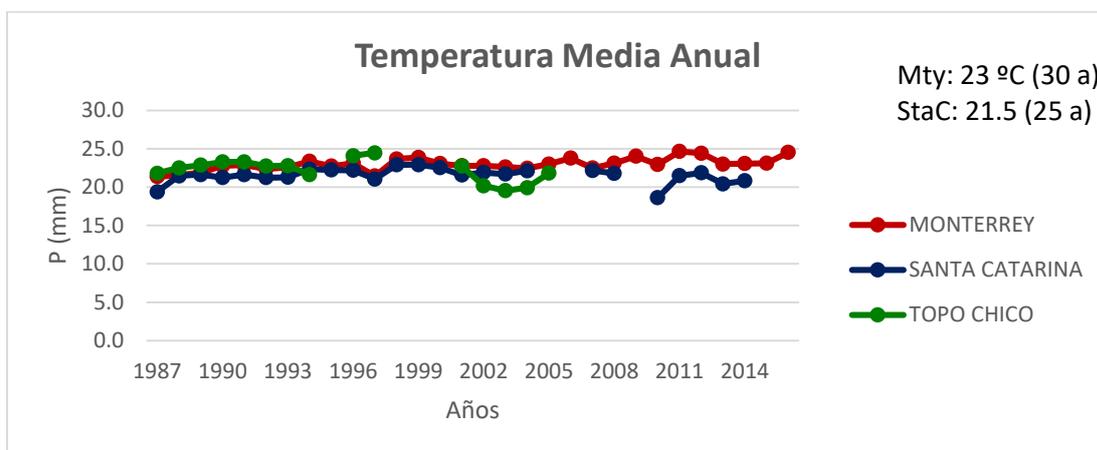


Figura 3. Grafica de Temperatura Media Anual (Fuente: CONAGUA, 2017).

2.3.2. Precipitación y Evaporación

En el caso del análisis de precipitación y evaporación del AMM se observa que la evaporación sobrepasa los milímetros anuales de precipitación. En las gráficas se pueden observar variación a lo largo de los 30 años, con precipitaciones medias anuales (Figura 4) que en general, van desde 400 a 700 mm, siendo los años con mayor precipitación 2010, 2003, 2004 y 2005 con 1498.25, 1196.30, 1033 y 1012.91 mm respectivamente, que incluyen los años de ocurrencia de fenómenos como Emily (2005) y Alex (2010) con un promedio anual de 1033 mm

y 1498.25 mm respectivamente, tales eventos aún recordados estableciendo un referente sobre los umbrales máximos de precipitación y escurrimiento que se pueden esperar en la región (CONAGUA, 2011). Por otro lado, los años con menor precipitación anual fueron 2009, 2011 y 2012 con 464.47, 407.1 y 466.80 mm respectivamente.

En cuestión de la evaporación (Figura 5), las mayores se presentaron en 1989, 1996 y 2011, con 2528.63, 2724.77 y 2346.86 mm respectivamente; mientras que los años con menor evaporación fueron 1990 con 1402.64, 2007 con 1559.28 y 2015 con 1575.73 mm.

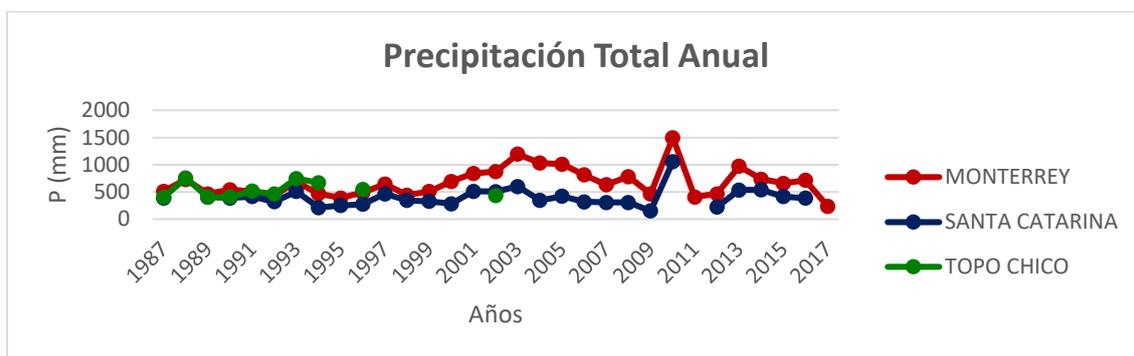


Figura 4. Gráfica de Precipitación Total Anual. (Fuente: CONAGUA, 2017).



Figura 5. Gráfica de Evaporación Total Anual (Fuente: CONAGUA, 2017).

2.4 Hidrología

El río Santa Catarina, así como su cuenca hidrológica forman parte de la Sub Región Hidrológica Río San Juan, localizada en la parte sur de la Región Hidrológica 24 “Bravo- Conchos”, dentro del estado de Nuevo León (CONAGUA,2011; Aguilar Martínez, 2014).

El río Santa Catarina nace aproximadamente a 35 km al sur de Monterrey, en la Sierra de San José, cerca de los límites de Coahuila; sigue su trayecto en

dirección SE-NW y a la altura del municipio de Santa Catarina y San Pedro Garza García, N. L., fluye hacia el oriente continuando hacia la ciudad de Monterrey, N. L. Por su margen derecha recibe la aportación del río La Silla para pasar por el municipio de Guadalupe y finalmente continuar hacia el poblado de Cadereyta de Jiménez (Figura 6), desembocando por la margen izquierda del río San Juan, el cual es uno de los afluentes más importantes de este último, que, al recibir otros afluentes, fluye a la presa El Cuchillo. Por margen derecha este a su vez recibe a otros ríos (entre ellos río Ramos, Garrapatas, Pión y Mohinos), finalmente desembocando en la presa Marte R. Gómez en el estado de Tamaulipas (INE, 1988; Fuentes-Mariles *et al.*, 2014).

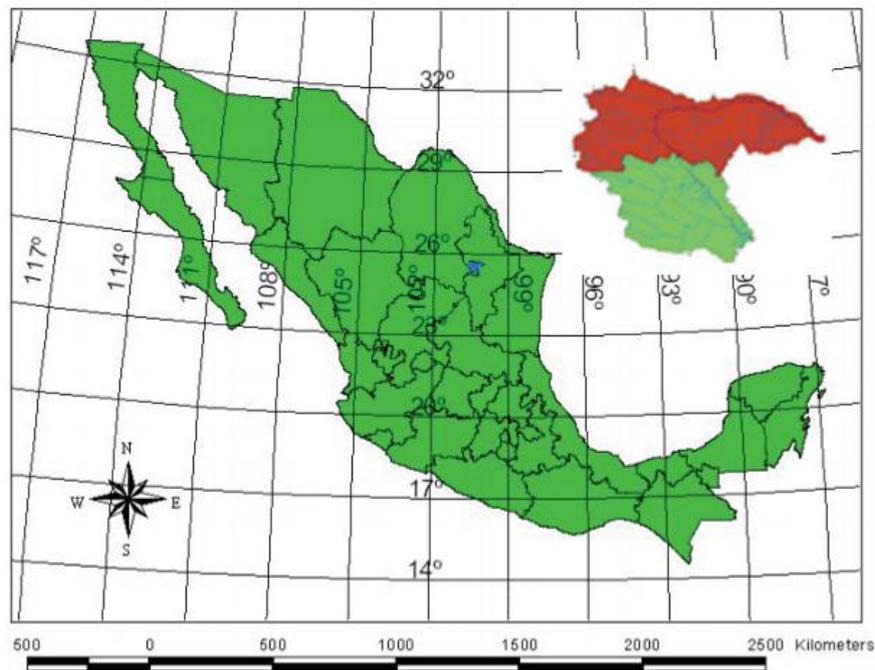


Figura 6. Trayecto general del Río Santa Catarina. Tomada de Ferrino-Fierro, *et al.* 2010.

2.5 Hidrogeología

El área metropolitana de Monterrey se encuentra en la Región Hidrológica “Río Bravo” en el cual se efectúa explotación de agua subterráneas, siendo esta fuente la que abastece aproximadamente en un 50% de agua para el AMM, siendo el otro 50% de fuentes superficiales. Algunos de los acuíferos que abastecen al AMM son el acuífero Área Metropolitana de Monterrey, Campo Buenos Aires, Mina, manantial La Estanzuela, entre otros. En este caso el área de estudio se encuentra dentro del acuífero AMM, dentro del cual hay perforación de pozos someros y profundos que van desde no más de 100 hasta 700 y 1000 m (SAyDM, 2017).

El sistema acuífero de Monterrey es un sistema donde intervienen varias unidades hidrogeológicas de diferentes ambientes de depósito que interactúan para formar una sola unidad hidrogeológica, constituida por un acuífero contenido en lutitas intemperizadas (alteradas), conglomerados y sedimentos aluviales, que funciona como acuífero libre y cuya base consiste en lutitas de la Formación Méndez.

En general, el sistema de flujo de las aguas subterráneas es de Oeste-Este, donde las corrientes controlan el flujo, ya sea aportando o recibiendo agua del acuífero. La variación en los comportamientos de los ríos tiene que ver con cambios de permeabilidad y probablemente con cambios en los espesores de los sedimentos fluviales y de los espesores que se encuentran fracturados de las lutitas. En el caso del Río Santa Catarina, el cambio de comportamiento se llega a observar cerca del Parque Fundidora con la existencia de una noria con producción de 190 lps y espesor saturado del orden de 100 m, por otro lado, en la parte sur, a partir de la altura de la Av. Churubusco se aprecia que existe aportación de agua del acuífero hacia el Río, esto evidenciado debido al brote de agua en la zona (CONAGUA, 2015).

2.6 Geología

2.6.1 Geología Regional

El Noreste de México es caracterizado por la predominancia de rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, las cuales yacen sobre un basamento de edad Paleozoico y Precámbrico. La SMOr se encuentra constituida principalmente por una gran secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas de origen Mesozoico con plegamientos alargados y cabalgados por esfuerzos máximos de la Orogenia Laramide durante el Paleoceno Tardío- Eoceno Temprano. Esta cordillera presenta dos flexiones importantes en su estructura, una de ellas denominada la “Curvatura de Monterrey”, siendo esta de los rasgos fisiográficos más sobresalientes de la zona, con orientación general Este-Oeste. Esta estructura se encuentra conformada por extensos pliegues de gran amplitud y cabalgaduras y constituida en su mayoría de rocas de edad mesozoica variando del Triásico Tardío hasta el Cretácico Tardío, aunque en ciertas zonas las rocas se encuentran con intrusiones de plutones emplazados durante el Terciario medio (Morán-Zenteno, 1984; Padilla-Sánchez, 1985, Chavez *et al.*, 2011).

Durante el desarrollo paleogeográfico de la región, en el Jurásico superior actúa una transgresión marina al noreste de México con depósitos de mar abierto, manteniéndose tal sistema de sedimentación hasta el Cretácico Inferior, en el que posterior a este el ritmo de sedimentación cambia drásticamente debido al

aporte de sedimentos detríticos del Occidente causando una retirada paulatina de los mares durante el Cretácico Superior. A principios del Cenozoico se tienen las primeras manifestaciones orogénicas con aumento de sedimentos terrígenos en aguas profundas, siendo estas deformaciones el inicio de la historia continental del sector Noreste del país, dando origen a las cuencas sedimentarias “Burgos” y “Tampico-Misantla” durante el Terciario. Los depósitos terciarios ocurrieron dentro de una regresión con rumbo general hacia el Este, estratigráficamente las capas más antiguas yaciendo en la parte occidental mientras que las más jóvenes hacia el oriente, provocando un engrosamiento de sedimentos hacia tal dirección (López-Ramos, 1982; Padilla-Sánchez, 1985).

2.6.2 Geología local

En la zona de estudio, se encuentran diferentes unidades geológicas, con mayor distribución de manera general, las calizas, margas y lutitas de edad Cretácica y en menor proporción encontrándose rocas sedimentarias Jurásicas distribuidas en el sur-oriente y sur-occidente de la zona. Así mismo, se encuentran presentes depósitos aluviales distribuidos en la zona urbana, compuestos principalmente por gravas, arenas, limos y arcillas productos de la erosión de rocas consolidadas durante el Cuaternario y en menor proporción hacia el oriente y nor-oriente, sedimentos del Terciario (conglomerado polimíctico), (SGM, 2008 y Ramírez-Gallegos, 2017).

Las unidades documentadas específicamente en la zona de estudio comprenden desde el Cretácico Superior y se describen a continuación:

La Formación San Felipe, que fue nombrada por primera vez por Jeffreys (1910) cerca de la ciudad de Valles S.L.P., y a su vez descrita por MUIR (1936) como secuencia incompleta de calizas y lutitas.

Por otro lado, Padilla y Sánchez (1982 y 1985) describe a la Formación San Felipe con calizas margosas color gris intercaladas con lutitas, limolitas y característicos horizontes bentoníticos color verdoso. Esta descansa sobre la Formación Agua Nueva y subyace a la Formación Méndez.

La Formación Méndez, la cual fue nombrada por primera vez por Jeffreys (1910) para referirse las rocas lutitas que yacen en la Formación San Felipe ubicadas a 300 m. al Este de la estación Méndez en el estado de Veracruz, sobre el ferrocarril Tampico-San Luis Potosí. Los espesores varían, siendo muy irregulares y sus unidades inicialmente descritas fueron lutitas con bordes internos arcilloso a semi-margoso (SGM). A nivel regional la Formación Méndez se encuentra a nivel general constituida por una serie lutitas y margas color marrón oscuro a claro, con una estratificación delgada a laminar; son considerados como sedimentos pelágicos de plataforma somera (Padilla y Sánchez, 1982).

En contacto discordante sobre la Formación, se encuentran unidades sedimentarias aluviales con composición variada.

Los depósitos aluviales del Cuaternario yacen en contacto discordante con la roca base del Mesozoico. Estos sedimentos fueron depositados como terrazas durante cambios cíclicos de acumulación-erosión, los mas recientes siendo depositados como lecho de río en el Río Santa Catarina y La Silla. (Montalvo-Arrieta, et al., 2008).

Por lo tanto, en cuanto a los niveles de terraza, hay que considerar que, de los escalones de terraza, los más bajos representan lo más joven mientras que los más altos los más antiguos; y a nivel general, estos depósitos están conformadas principalmente por cantos rodados, gravas, arena gravosa, arenas, limos y arcillas en distintas distribuciones y mayormente no consolidados, en casos cementados con caliche; además, se han documentado espesores máximos de los depositos aluviales en las areas urbanas de Monterrey y Linares menores a 25 m (Gonzalez y Moñino, 2000; Montalvo-Arrieta, et al., 2008; Montalvo-Arrieta, et al., 2011).

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1. Ciclo Hidrológico

El agua en la Tierra se encuentra en constante cambio, no permanece estática de manera indefinida, esta puede cambiar incluso de un estado de materia a otro (sólido, líquido o gaseoso) dependiendo de las temperaturas y presiones a las que se encuentre y encontrarse en la atmósfera, superficie terrestre y en el suelo; Todas estas variaciones en las precipitaciones, en las aguas superficiales, y subterráneas son asociadas a oscilaciones parciales de un sistema complejo en el que todas las aguas circulantes de la tierra están incluidas e interrelacionadas, tal sistema es conocido universalmente como ciclo hidrológico (Davis et al, 1971; Tarbuck y Lutgens, 2005; Vera y Camilloni, 2007). El ciclo hidrológico (Figura 7) es un sistema impulsado por la energía del sol, en el que la atmósfera proporciona el nexo vital entre los océanos y los continentes.

Como se muestra en la Figura 7, el agua se evapora en la atmósfera desde el océano y continentes. Por su parte, el viento transporta este aire cargado de humedad a grandes distancias, hasta que las condiciones hacen que la humedad se condense (condensación,) en nubes y caiga como precipitación. Tal precipitación cae en el océano completando su ciclo listo para iniciar otro. Por otro lado, del agua que cae en el continente una parte penetra en el suelo (se infiltra) y se mueve hacia abajo, luego en dirección lateral llegando a lagos, ríos o directamente en el océano. Cuando la velocidad de caída de la lluvia es mayor que la capacidad del suelo para absorberla, el agua fluye sobre la superficie en lagos y corrientes, en un proceso comúnmente denominado escurrimiento. Gran parte del agua que se infiltra o se escurre acaba por encontrar la manera de volver a la atmósfera por medio de la evaporación desde el suelo, los lagos y las corrientes. También se debe considerar que una parte del agua infiltrada en el suelo es absorbida por las plantas, que posteriormente la liberan a la atmósfera llevando a cabo el proceso de transpiración. El efecto combinado entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por las plantas es definida como evapotranspiración (Werner, 1996; Tarbuck y Lutgens, 2005).

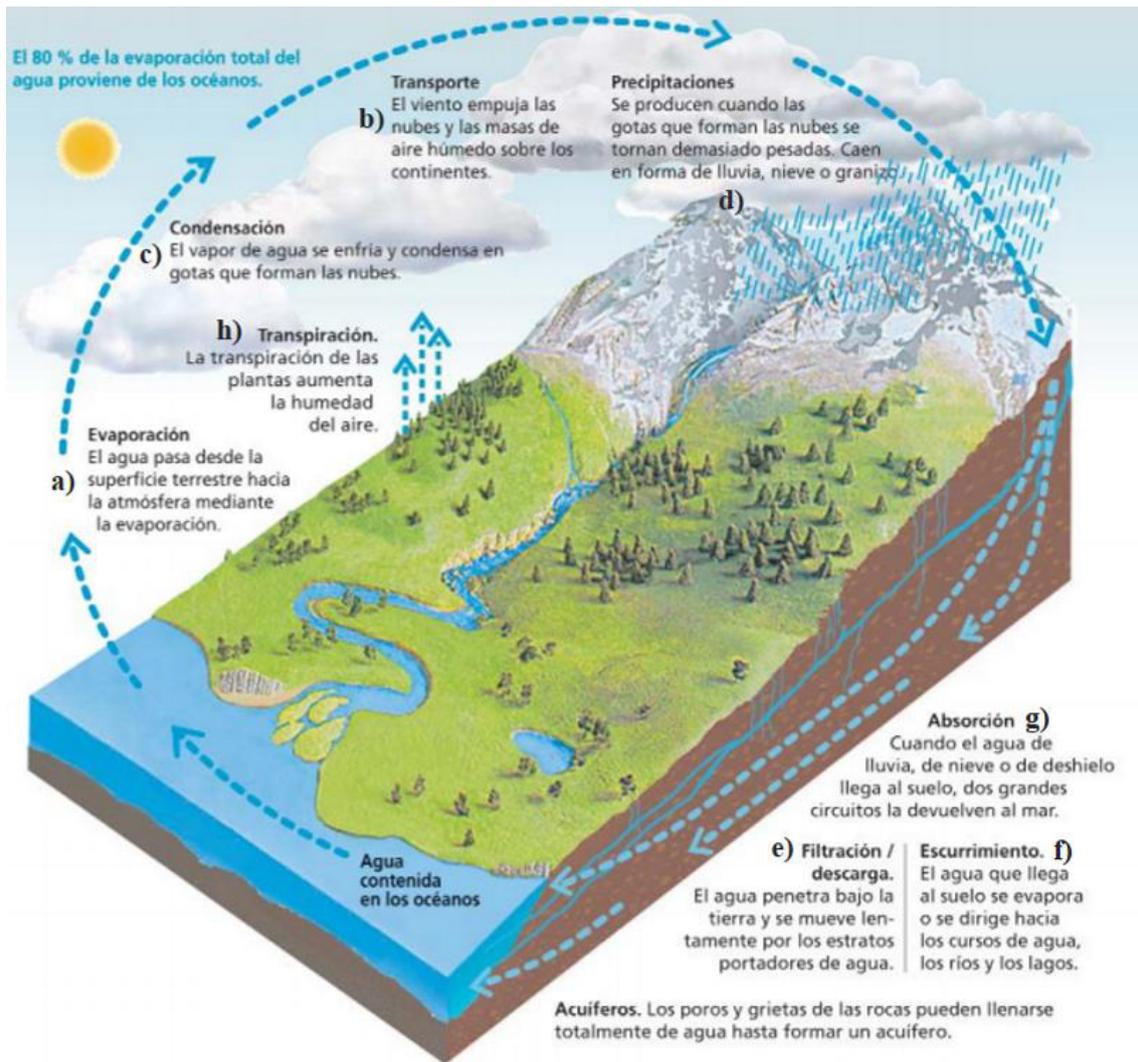


Figura 7. El ciclo del agua (Modificado de Vera y Camilloni, 2007)

3.2. Formación de las Terrazas

Las terrazas son estructuras generalmente en forma de escalón que se encuentran sobre una corriente y su planicie de inundación (Figura 8); pueden ser bancos cortados en la misma roca (en ciertos casos cubiertos por sedimentos) o pueden ser escalones formados en sedimentos por la depositación y subsecuente erosión; dicho de otra forma, una llanura de inundación a un nivel por debajo del anterior (De León-Gutiérrez, 1999; Tarbuck y Lutgens, 2005).

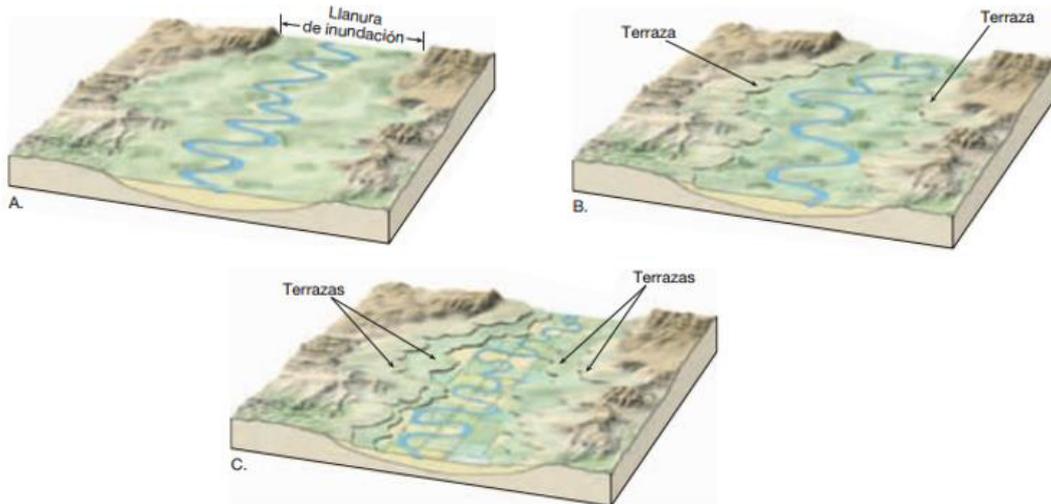


Figura 8. Formación de terrazas, cuando una corriente produce erosión en la vertical a través de un aluvión previamente depositado. Modificado de Tarbuck y Lutgens, 2005.

Topográficamente éstas están compuestas por una superficie plana que representa la formación de la planicie de inundación y una pendiente pronunciada llamada escarpe, que la conecta con cualquier superficie siguiente u otra terraza más joven (Figura 9).

Un factor distintivo en la formación de terrazas es que la superficie fue formada cuando el río se encontraba topográficamente a una elevación mayor con respecto a cierto punto del pasado. Desde esta perspectiva, la terraza es producto de la degradación del lecho en forma de canal y por lo tanto puede existir donde la degradación ha ocurrido (De León-Gutiérrez, 1999; Miller y Orbock-Miller, 2007).



Figura 9. Vista de las partes y composición de las terrazas, ejemplificadas en el Río Santa Catarina en Monterrey: 1- Llanura de inundación; 2- Terraza: Compuesta por la superficie plana (2a) y escarpe (2b).

Las terrazas pueden ser clasificadas genéticamente o con base a su topografía. De una perspectiva topográfica, las terrazas son comúnmente clasificadas como pares o impares. Donde las terrazas con ambos lados del canal son de la misma elevación y presuntamente de la misma edad, tales son consideradas pares. Si la elevación de las terrazas difiere de un lado del río del otro, estas son impares, normalmente formándose por la simultánea erosión lateral y vertical (Figura 10), (De León-Gutiérrez, 1999; Miller y Orbock-Miller, 2007).

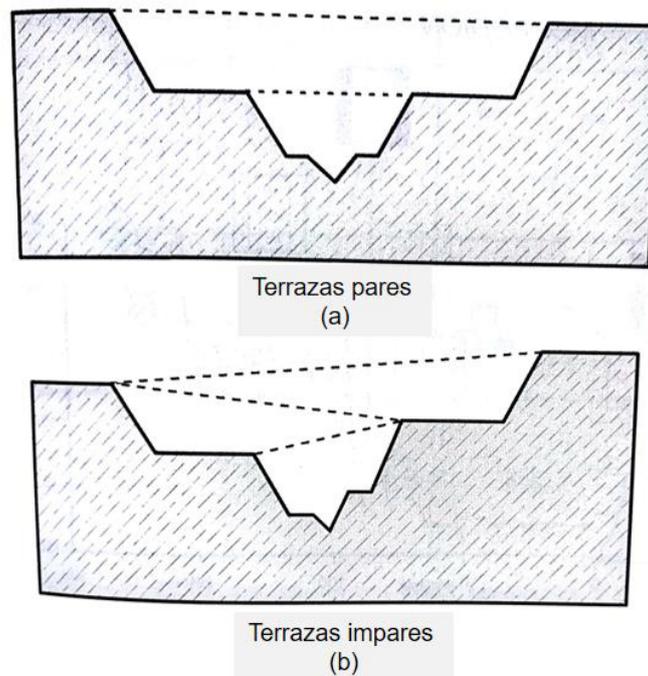


Figura 10. Terrazas clasificadas acorde a la topografía: a) terrazas pares muestran superficies planas al mismo nivel en ambos lados del canal; b) terrazas impares encontradas a diferentes elevaciones de un lado del canal al otro.

3.3. Acuífero y tipos de acuífero

El acuífero es toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiéndose extraer en cantidades significativas mediante distintas obras de captación (Collazo-Caraballo et al, 2012). Existen tres tipos principales de manera litológica en función del tipo de porosidad (Figura 11): Acuíferos de poros (Figura 11 a): Este tipo de acuíferos se trata en mayor parte de sedimentos sueltos como gravas o arenas que varían su composición y tamaño en función de su origen geológico (fluvial, eólico, lacustre, etc); usualmente son formaciones recientes de edad cuaternaria. Acuíferos de grietas o fisurado (Figura 11 b): Son rocas consolidadas como areniscas, calizas no carstificadas, basaltos, granitos u otras rocas extrusivas e intrusivas. La porosidad de estos acuíferos es debida a la presencia de zonas de alteración, fracturas, fallas, diaclasas, que son el medio por el cual circula y se almacena el agua. Cabe señalar que tales fracturas tienen que estar abiertas o comunicadas

para que el agua pueda circular. Acuíferos cársticos (Figura 11 c): Compuestos por rocas carstificadas como calizas, dolomías, yeso, donde la porosidad (huecos y cavernas) se desarrollan en forma secundaria por disolución del carbonato. En este acuífero el agua circula entre los huecos a mayor velocidad que los acuíferos anteriores (Werner, 1996; Collazo-Caraballo et al, 2012).

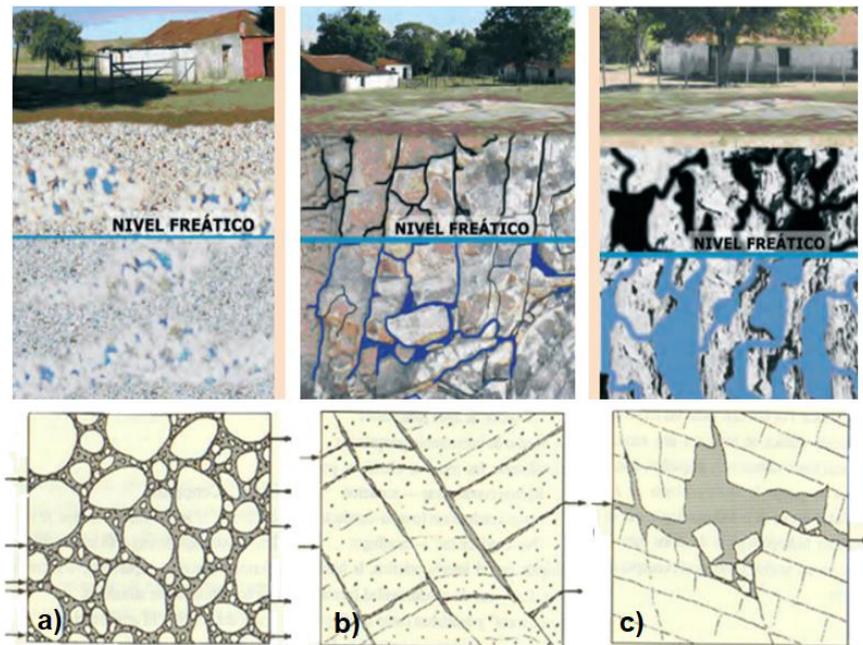


Figura 11. Tipos de acuíferos: a) De poros, el agua se mueve en los poros. b) De grietas, el agua se mueve en las fracturas abiertas. c) Cárstico, el agua se mueve en los huecos cársticos de diámetros variables. Modificado de Werner, 1996 y Collazo-Caraballo et al, 2012).

3.4. Conductividad Hidráulica (K)

La conductividad hidráulica es la determinante principal del movimiento del agua a través del sustrato, y se puede ver afectada por la estructura y el volumen de poro (Westholm, 2006).

Uno de los factores que más influye en la conductividad hidráulica (K) de un acuífero es la composición granulométrica. Por tanto, durante años se ha procurado generar estudios que puedan indicar la relación entre la granulometría del acuífero y su conductividad hidráulica. Para el cálculo de la conductividad hidráulica se han desarrollado métodos y fórmulas con base a curvas granulométricas acumulativas, obtenidas por análisis granulométricos de muestras de material de la zona de análisis. Como beneficios se pueden mencionar la simplicidad, bajos costos y un medio para identificar variaciones espaciales de K (Werner, 1988 y Devlin, 2015).

La distribución del tamaño del grano (granulometría) de un material, se determina haciendo pasar una cierta cantidad de material disgregado por una serie de tamices cuya malla va disminuyendo cada vez más, a su vez midiendo el peso del porcentaje de material (en seco) retenido en cada tamiz. Por tanto, las pruebas granulométricas permiten definir los porcentajes de partículas gruesas y finas existentes en el suelo, por medio de una serie de tamices standard, entre los más usados de la ASTM (American Standards for Testing Materials), (Custodio y Llamas, 1996). De las pruebas anteriores, se parte para clasificar el tamaño de las partículas como se muestra en la Tabla 2:

mm	Denominación
>64	Cantos rodados
16-64	Grava gruesa
8-16	Grava media
2-8	Grava fina
0.5-2	Arena gruesa
0.25-0.5	Arena media
0.063-0.25	Arena fina
0.016-0.0063	Limo gruesa
0.008-0.016	Limo medio
0.002-0.008	Limo fino
<0.002	Arcilla

Tabla 2. Denominación de clasificación de partículas (ASTM, 2011).

A nivel general, la curva granulométrica se representa en escala logarítmica y divisa los porcentajes acumulados de material que pasa por cierto tamiz.

Para la conductividad hidráulica de una mezcla litológica, la parte de grano fino es decisiva; para caracterizar esta parte se utiliza el diámetro efectivo d_{10} , obtenido por el valor del 10%. En la curva granulométrica también se puede medir el tamaño d_{50} que representa el tamaño para el que es retenido o pasa en 50% el material. La inclinación de las curvas (dispersión de tamaños) caracteriza la uniformidad de la muestra, representada por el coeficiente de uniformidad ($C_u = d_{60}/d_{10}$). No es sencillo relacionar el valor de conductividad hidráulica con las características del medio poroso, ya que el margen de variabilidad de la K , es mucho mayor por estar más afectada por pequeñas desviaciones de composición y puede variar con la orientación. Además, en un

medio heterogéneo es muy difícil asignar una permeabilidad la cual puede variar además con la dirección (Werner, 1988 y Custodio y Llamas, 1998).

Diversos autores han hecho propuestas de fórmulas con mayor o menor éxito, cuya expresión puede incluir datos tomados de la curva granulométrica. Cada autor sigue ciertas condiciones específicas para su aplicación (Tabla 3):

Fuente	N	$\varphi(n)$	d_e	Condiciones aplicables
Hazen	6×10^4	$[1+10(n-0.26)]$	d_{10}	$0.01 < d_{10} < 0.3$ cm $U < 5$
Hazen simplificada (Freeze y Cherry, 1979)	$10 \frac{\mu}{\rho g}$	1	d_{10}	Arena uniformemente gradada, $n=0.375$ $T=10^\circ\text{C}$
Slichter	1×10^2	$n^{3.287}$	d_{10}	$0.01 \text{ cm} < d_{10} < 0.5 \text{ cm}$
Terzaghi	10.7×10^{-3} granos suaves 6.1×10^{-3} granos gruesos	$(\frac{n-0.13}{\sqrt{1-n}})^2$	d_{10}	Suelo arenoso, arena gruesa
Beyer	$5.2 \times 10^{-4} \log \frac{500}{U}$	1	d_{10}	$0.006 \text{ cm} < d_{10} < 0.6 \text{ cm}$ $1 < U < 20$
Sauerbrei	$3.75 \times 10^{-5} \times \tau$	$\frac{n^3}{(1-n)^2}$	d_{10}	Arena y arena arcillosa $d_{10} < 0.05 \text{ cm}$
Kruger	4.35×10^4	$\frac{n}{(1-n)^2}$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Aw_i}{d_i}}$	Arena media $U > 5$ $T = 0^\circ\text{C}$
Kozeny-Carmen	8.3×10^3	$\frac{n^3}{(1-n)^2}$	$\frac{d_{10}}{1} \frac{1}{\frac{3 \Delta w}{2} \frac{1}{d_{10}} + \sum_{i=2}^n \Delta g_i \frac{d_i^{\beta} + d_i^{d'}}{2 d_i^{\beta} d_i^{d'}}$	Arena gruesa
Zunker	0.7×10^{-3} para no uniforme Arcilloso, granos angulares 1.2×10^{-3} para no uniforme 1.4×10^{-3} para uniforme Granos gruesos 2.4×10^{-3} para uniforme Arena, granos bien redondeados	$\frac{n}{(1-n)^2}$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \frac{d_i^{\beta} + d_i^{d'}}{d_i^{\beta} d_i^{d'}} \ln(\frac{d_i^{\beta}}{d_i^{d'}})}$	No fracciones mas finas que $d=0.0025 \text{ mm}$
Zamarin	8.65×10^3	$\frac{n^3}{(1-n)^2} C_n$ $C_n = (1.275 - 1.5n)^2$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \frac{\ln + (\frac{d_i^{\beta}}{d_i^{d'}})}{d_i^{\beta} - d_i^{d'}}$	Arenas gradadas grandes con no fracciones de $d < 0.00025 \text{ mm}$
USBR	$(4.8 \times 10^4)(10^{0.3})$	1.0	$d_{20}^{1.15}$	Arenas gradadas medias con $U < 5$; derivada de $T=15^\circ\text{C}$
Barr	$\frac{1}{(36)5c 2_s}$ $c 2_s=1$ para granos esféricos $c 2_s=1.35$ para granos angulares	$\frac{n^3}{(1-n)^2}$	d_{10}	No especificado
Alyamani and Sen	1300	1.0	$[l_0 + 0.025 (d_{50} - d_{10})]$	No especificado
Chapuis	$10 \frac{\mu}{\rho g}$	$10^{1.291-0.6435} \frac{e-n}{1-n} 8.3 \times 10^{(-1.31 \times \sigma^{\phi})}$	$d_{10} \left(\frac{10^{(0.5504-0.2937e)}}{2} \right)$	$0.3 < n < 0.7$ $0.10 < d_{10} < 2.0 \text{ m}$ $2 < U < 12$ $d_{10}/d_5 < 1.4$
Krumbein and Monk	7.1×10^6	$\sigma^{\phi} = \frac{d_{84} - d_{16}}{4}$ $\frac{d_{95} - d_{5}}{6.6}$	$2 \left(\frac{d_{16} + 0.50d + d_{84}}{3} \right)$	Arenas naturales con distribución de tamaño de grano log normal

Tabla 3. Ecuaciones seleccionadas relacionadas con la conductividad hidráulica, con porosidad y tamaño de grano efectivo (Vukovic y Soro, 1992).

La descripción de la simbología de la Tabla 3, es la siguiente:

*	indica que las formulas fueron tomadas de Vukovic y Soro (1992)
N	constante dependiente de las características del medio poroso
$\varphi(n)$	función de probabilidad
T	temperatura del agua (°C)
g	980 cm/s ²
ρ	$3.1 \times 10^{-8} T^3 - 7.0 \times 10^{-6} T^2 + 4.19 \times 10^{-5} T + 0.99985$
μ	$-7.0 \times 10^{-8} T^3 + 1.002 \times 10^{-5} T^2 - 5.7 \times 10^{-4} T + 0.0178$
τ	$1.093 \times 10^{-4} T^2 + 2.102 \times 10^{-2} T + 0.5889$
n	porosidad como fracción del volumen del acuífero
d_i^g	el máximo diámetro de grano en fracción <i>i</i>
d_i^d	el mínimo diámetro de grano en fracción <i>i</i>
d_{10}	tamaño de grano correspondiente a 10% del peso que pasa por el tamiz
d_{20}	tamaño de grano correspondiente a 20% del peso que pasa por el tamiz
d_{50}	tamaño de grano correspondiente a 50% del peso que pasa por el tamiz
d_{60}	tamaño de grano correspondiente a 60% del peso que pasa por el tamiz
d_i	media del diámetro del tamaño de grano de la fracción <i>i</i>
$d_{i\phi}$	media del diámetro del tamaño de grano de la fracción <i>i</i> en unidades de phi ($\phi = \frac{d_e}{d_0}$, d_e en mm, $d_0 = 1$ mm)
U	$\frac{d_{60}}{d_{10}}$
Δg_i	la fracción de masa que pasa a través del tamiz <i>i</i> y <i>i+1</i> donde <i>i</i> es el tamiz más pequeño
Δw_i	fracción del peso total de la muestra con identificador de fracción ' <i>i</i> '
I_o	intersección con x tamaño de grano de la curva de porcentaje de grano retenido en el eje aritmético y enfocándose en los datos debajo de 50% retenido

Para la obtención de valores de K, se estima a partir de la distribución de las curvas granulométricas usando 15 métodos diferentes, partiendo de la idea de que de incluyendo varios métodos, se amplía el análisis, ya que se provee una mejor indicación del rango de K que podría aplicarse. Los conceptos de elevada, buena y baja permeabilidad son con muy subjetivos y dependen del campo de trabajo del que se expresa. La Figura 12 presenta una clasificación útil para estos casos (Custodio y Llamas, 1998 y Devlin, 2015).

Permeabilidad m/día	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Calificación	Impermeables		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación del acuífero	Acuícludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero de regular a bueno		Acuífero excelente		
Tipo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava y arena Arena fina		Grava limpia		

Figura 12. Clasificación de terrenos por permeabilidad (Elaboración propia de Custodio y Llamas, 1998).

Además de los métodos descritos en el programa HydroGeoSieve XL v 2.0 (Devlin, 2015), otros autores (Rosas *et al.*, 2014, Vukovic *et al.*, 1992, y Aguilar, 2013) han seguido un enfoque similar para agrupar ecuaciones empíricas y comparar estimaciones de conductividad hidráulica obtenidas de análisis granulométricos. Rosas *et al.*, (2014) reconoce que la obtención de conductividad hidráulica por medio de pruebas de laboratorio sigue siendo un reto ya que las muestras están sujetas a heterogeneidad geológica, tamaño y forma de granos, así como la uniformidad de arreglos. Los autores mencionados reconocen también que hay variaciones en las medidas obtenidas por diferentes correlaciones empíricas. Sin embargo, de acuerdo con Devlin (2015), estas medidas representan un punto inicial atractivo para las investigaciones hidrogeológicas y métodos granulométricos como Slichter, Harleman y USBR pueden ser usados como una evaluación preliminar de K en ausencia de métodos confiables de campo (Biswal-Sabinaya *et al.*, 2018).

3.5. Conceptos clave, descargas y contaminación del agua y medio físico

Una descarga, es la acción de verter, infiltrar o depositar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua o intermitente, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación (NOM-001-ECOL-1996). Por su parte, las aguas residuales son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-002-ECOL-1996).

Identificar la situación y origen de las fuentes contaminantes es fundamental, ya que estas son las causantes de la contaminación del agua tanto superficial como subterránea, a través de basureros/tiraderos, descargas de aguas residuales, tiraderos de escoria, entre otros (Gómez y Ramírez, 2007).

La importancia de considerar las aguas residuales en este caso, radica a nivel superficial ya que al ser descargadas en el Río Santa Catarina van interactuando entre sí y el medio geológico hasta llegar a la presa El Cuchillo, destino final en el cual son almacenadas para posteriormente ser tratadas para el abastecimiento a la población del AMM (Ramírez-Gallegos, 2017). Además, a nivel subterráneo a pesar de ser considerado que este tipo de aguas son más aptas para consumo y diversos usos por su buena calidad al encontrarse protegidas frente a la contaminación a la que se encuentran las aguas superficiales (Davis y West, 1971; Estado Libre Asociado de PR, 2008), esta puede ser afectada, al ser disminuida tal protección por ejemplo por la contaminación originada en parte en los centros urbanos, por la práctica inadecuada de tratamientos de desechos industriales de basura, uso indiscriminado de detergentes, residuos de grasas de alimentos, infiltraciones de combustibles, producción de aguas residuales con tratamiento inadecuado, etcétera, lo que provoca graves daños ecológicos y contaminación de aguas subterráneas, ya sea por el arrastre de contaminantes desde la superficie del terreno por las aguas de infiltración o por la infiltración de aguas superficiales contaminadas desde ríos o acequias que son en general provocados por acciones humanas. Como el común ejemplo de casos de contaminación por lixiviados de residuos depositados en superficie (Figura 13), ya que, si los residuos acumulados contienen material soluble, éste será lixiviado por el agua de lluvia y será infiltrado hasta la zona saturada, incorporándose al flujo subterráneo, pudiendo llegar a las captaciones de aguas subterráneas (Porras, et al., 1985, Gómez y Ramírez, 2007).

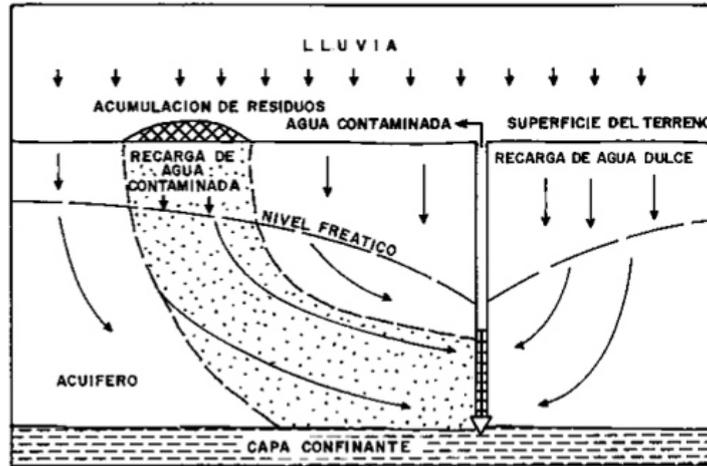


Figura 13. Contaminación de un acuífero por lixiviados de residuos sólidos depositados en superficie (Porrás et al. 1985).

En cuestión del agua subterránea se debe prestar atención a la prevención, ya que el flujo de aguas subterráneas y el transporte de contaminantes no son fáciles ni de observar ni de medir, ambos procesos suelen ser lentos. La contaminación del agua subterránea tiende a ser insidiosa y persistente, mientras que la recuperación de acuíferos una vez que han sido contaminados es excesivamente cara y técnicamente problemática (Foster et al., 1987).

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

El río Santa Catarina ha sufrido diversos cambios en su planicie en distintos tramos a lo largo del tiempo, influenciados por eventos antropogénicos por actividades como canalización, creación de vialidades, urbanización e invasiones del cauce (Figura 14 a y b).

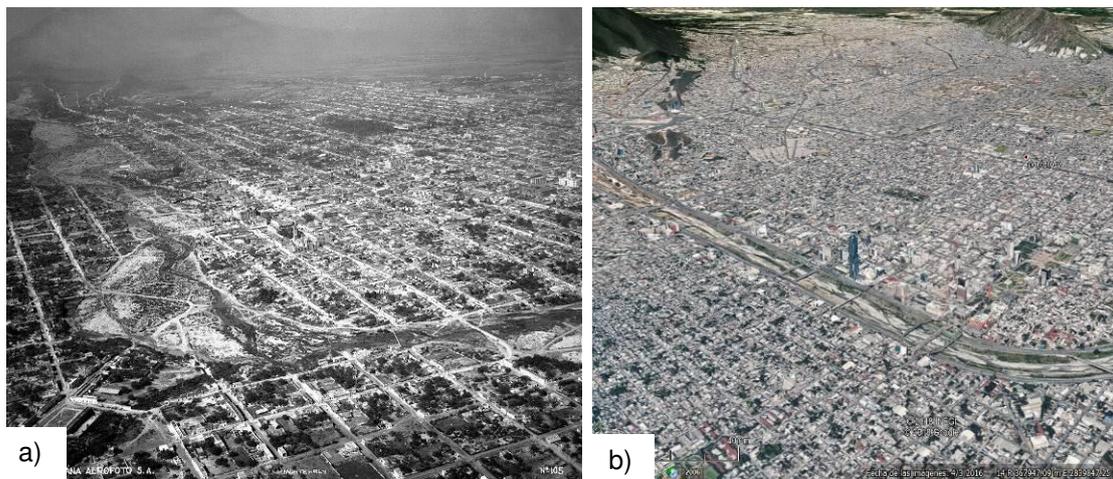


Figura 14. Vista oblicua del centro de Monterrey: a) años 30's b) año 2016 (Adecuado de CONAGUA, 2011 y Google Earth)

En la Figura 15 (a)-(g) se muestra la comparación de las planicies de inundación correspondientes en general a cuatro periodos. En 1942 mostrándose un río en condiciones de menor alteración humana, puesto a pesar del desarrollo en ambos márgenes, dichos asentamientos y construcciones no habían ocupado fuertemente el cauce del río, como se empezó a hacer en la década de 1950 por la presión de la demanda de crecimiento de la ciudad, y se sigue realizando hasta la actualidad (SDS, 2010 y CONAGUA, 2011).

El huracán Alex fue un evento representativo en el AMM en el 2010, ya que fue el causante de eventos extraordinarios de precipitación que ocasionaron escurrimientos importantes que crearon daños y remoción de vialidades, viviendas, puentes y alcantarillas. Por lo tanto, la estructura actual del Río es producto de eventos de la erosión en conjunto de actividades de reconstrucción a partir de este evento de tal magnitud.

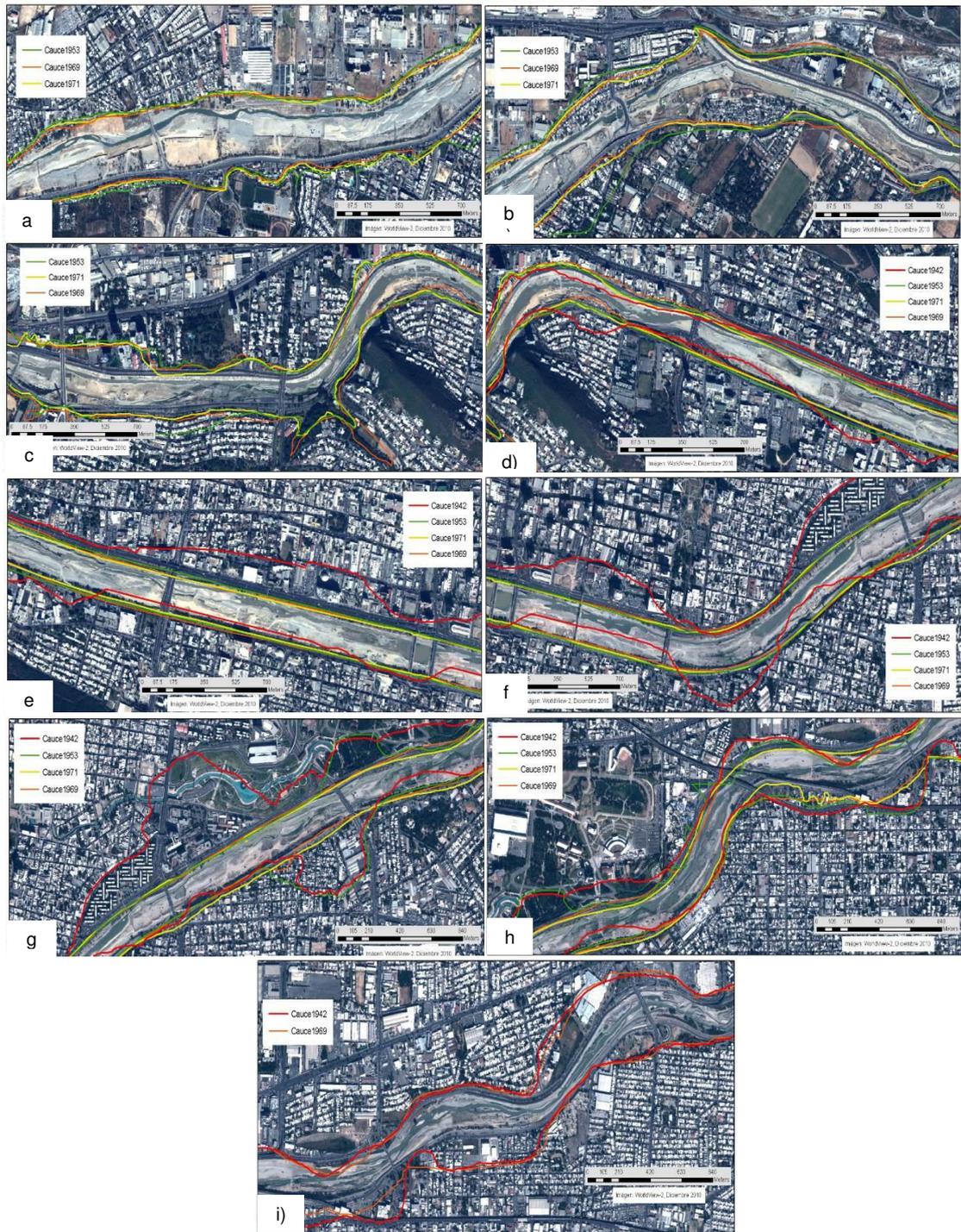


Figura 15. Comparación de las planicies de inundación de los años 1942, 1953, 1969 y 1971. a) Zona UDEM; b) Confluencia del Arroyo El Obispo; c) Puente Atirantado–Miravalle; d) Gonzalitos–V. Carranza; e) V. Carranza –Cuauhtémoc; f) Cuauhtémoc–Condominios Constitución; g) Condominios Constitución –Fundidora; h) Fundidora –Puente. Guadalupe y g) Puente Guadalupe – Puente Azteca. (Adaptado de CONAGUA, 2011).

En el presente capítulo se hace una documentación de cómo se encuentran actualmente conformadas las terrazas del Río Santa Catarina después del último evento que mayor impacto ha tenido en los últimos años, el Huracán Alex en

2010; además, se hace una documentación de la ubicación de distintas posibles fuentes contaminantes hacia el río, como descargas de distintos orígenes.

4.1 Metodología

La metodología consistió en trabajo de gabinete y de campo. Primeramente, se revisó y delimitó el área de estudio considerando seleccionar la zona principalmente influenciada por la urbanización del AMM.

Se realizaron visitas diagnósticas a campo para evaluar el panorama general de la zona. Posteriormente, partiendo de lo observado, en complemento con la herramienta *Google Earth* y partiendo de la planicie actual, se identificaron 4 niveles de terrazas según la clasificación de terrazas de la geología del Cuaternario, que va desde lo más reciente (Terraza 1) a lo más antiguo (Terraza 4). Para fines del presente trabajo se realizó una clasificación de las terrazas por zonas de municipios: Santa Catarina, San Pedro Garza García, Monterrey y Guadalupe.

Se realizó un recorrido completo del área por el cauce del río en las zonas con acceso, y por un costado de las avenidas en zonas sin acceso, identificando y documentando de acuerdo a la posibilidad de cada zona, como se encuentran actualmente conformadas las terrazas y descargas hacia el río como posible fuente contaminante tanto para la parte superficial, como subterránea.

4.1.1. Carta geológica

En conjunto al recorrido en campo, se complementó con la herramienta *Google Earth* para identificar la distribución y composición actual de las terrazas en la zona de estudio; a partir de lo anterior, se elaboró el mapa geológico escala 1:3,000 de la siguiente forma:

Se llevó a cabo el recorrido a lo largo del río, documentando en campo la distribución de las terrazas y de los puntos en los que se encuentran aflorando las Formaciones geológicas.

Por medio de fotointerpretación principalmente, se delimitaron las zonas de terrazas por medio de la creación de polígonos (en *Google Earth*) y complementado con descripciones generales en ciertas zonas (de ser posible), composición y distribución observadas en campo.

Los polígonos se agruparon en una carpeta según la terraza o formación dentro de la base de datos de *Google Earth*.

En el programa ArcGis 10.3 se pasó el archivo de los polígonos de *Google Earth* de KML (formato de *Google Earth*) a polígono en este mismo programa con la herramienta “KML to Layer”, del resultado extrayendo la capa (shape) para unirse a su vez con la herramienta “Dissolve” con el fin de crear uno solo a partir de un atributo en común, en este caso el nombre de la terraza o formación.

A su vez se cargó la base de datos de las descargas y conductividades hidráulicas (k) en formato .txt a partir de un archivo Excel para de este, extraer el “shape” (.shp). Por otro lado, las curvas de nivel y límites municipales se descargaron en formato .shp de la página oficial de INEGI.

4.1.2. Perfiles geológicos

Adicionalmente, se solicitó a CONAGUA datos de sondeos exploratorios realizados dentro del área de estudio; a partir de la información del material reportado en los sondeos, se realizó la reclasificación según la norma DIN4023 para fines de homogenizar los datos dentro del manejo de la información y la elaboración de los perfiles. A partir del último modelo de elevación digital del que se tiene información (CONAGUA, 2010) se llevaron a cabo secciones transversales en ciertas zonas del río, y a partir de ellas se realizaron los perfiles geológicos con los datos de los sondeos exploratorios previos, correlacionándolos entre sí, en zonas con falta de información, más en conjunto con la información de la distribución (considerando espesores) y la composición actual documentada en campo, para obtener la actualización aproximada general de la configuración de las terrazas en ciertas zonas. Los perfiles se llevaron a cabo de forma manual en hojas milimétricas, a partir de las cuales posteriormente, fueron digitalizados en el programa Canvas 12.

4.1.3. Cartas piezométricas

Las cartas piezométricas presentan la configuración espacial de un acuífero; estas presentan información sobre las direcciones de flujo de agua subterránea, que son importantes para el reconocimiento de caminos de contaminación, así como también son útiles para la obtención de los gradientes de flujo (Werner, 1996).

Para la elaboración de la carta, se solicitó de manera oficial, los aprovechamientos hidráulicos más próximos a la zona del Río Santa Catarina a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SAyDM).

Se seleccionó de tal base de datos los pozos más próximos a la zona del Río Santa Catarina, considerando un buffer (área de influencia) de 500 m. a partir del cauce del río, y los más cercanos en casos donde no los hubiera, lo anterior

maneándose en una base de datos en *Google Earth*; de la selección, se corroboró con SAYDM el estatus actual de los pozos, seleccionándose únicamente los pozos que contarán con acceso actualmente (Figura 16).

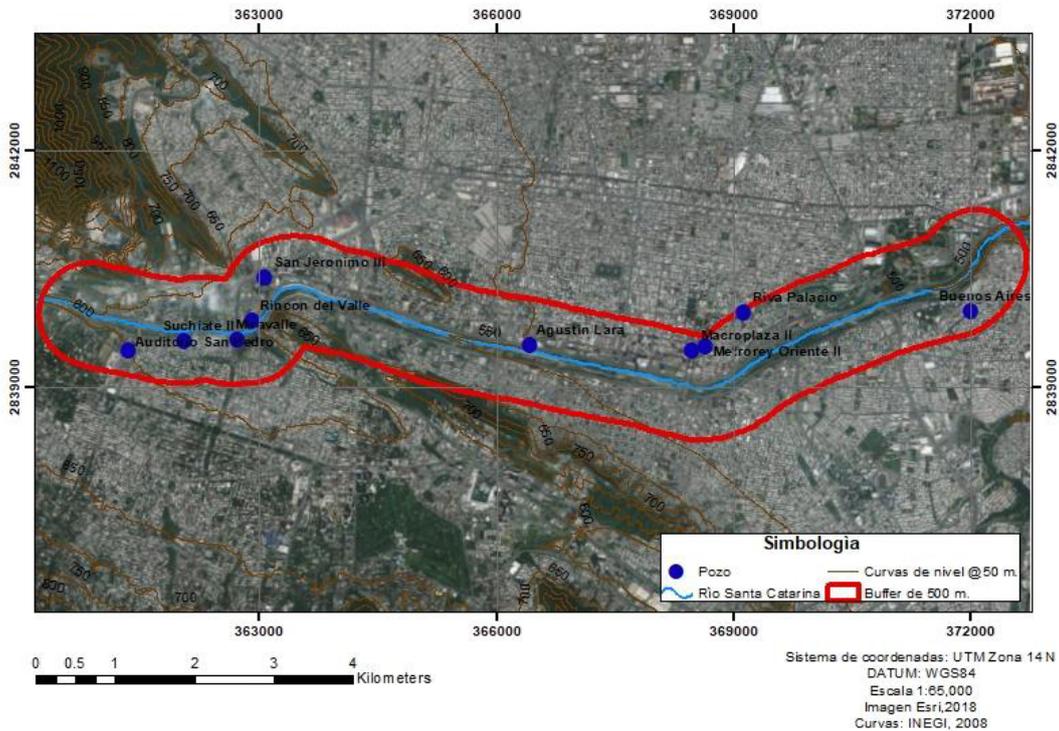


Figura 16. Mapa de ubicación de los aprovechamientos hidráulicos seleccionados (Elaboración propia a partir de imagen Esri, 2018)

Con el apoyo de una brigada asignada por SAYDM se realizó un recorrido por cada uno de los aprovechamientos con acceso existentes, conservando su misma clave de identificación. Durante el recorrido se tomaron datos de los pozos de la geoposición (UTM) y el nivel con respecto al nivel del mar con un sistema de geoposición geográfica (GPS marca GARMIN), además la situación del pozo (si se encuentra equipado o en funcionamiento) y los niveles estáticos midiéndose con una sonda acústica Solinst (Figura 17).



Figura 17. Medición de los niveles estáticos con sonda acústica Solinst en pozo Suachiate II.

De acuerdo a la distribución de los datos de pozos obtenidos se consideraron 10 pozos someros medidos (Figura 18) con datos de niveles estáticos.



Figura 18. Aprovechamientos hidráulicos considerados dentro del área de estudio

Considerando la ubicación de cada pozo, se partió de un modelo de elevación digital (CONAGUA, 2011) para la obtención de alturas en msnm de cada uno de ellos; con los datos de niveles estáticos medidos en campo se generaron los datos piezómetros (Tabla 4), el cual corresponde al nivel en el que se encuentra el agua subterránea con respecto al nivel del mar, calculándose a partir de la diferencia de la elevación del nivel del terreno y el nivel estático.

Clave	X (m E)	Y (m N)	Elevación del terreno (msnm)	Nivel estático (m)	Nivel piezométrico (m)
Auditorio San Pedro	361333	2839467	586	25.9	560.1
Suchiate II	362040	2839584	591	13.71	577.29
Miravalle	362713	2839600	600	11.36	588.64
San Jeronimo III	363067	2840398	600	27.85	572.15
Rincon del Valle	362900	2839849	596	20.97	575.03
Riva Palacio	369122	2839946	529	5.18	523.82
Metrorey Oriente II	368637	2839506	539	7.31	531.69
Macroplaza II	368466	2839459	588	10.15	577.85
Agustin Lara	366410	2839538	558	16.4	541.6
Buenos Aires	371994	2839963	519	10.36	508.64

Tabla 4. Aprovechamientos hidráulicos con sus respectivas coordenadas, elevación del terreno, niveles estáticos tomados en campo y niveles piezométricos obtenidos.

Con la obtención de los niveles piezométricos, se procede a la elaboración de la carta piezométrica a través de la metodología del triángulo hidrológico, el cual consta en la interpolación lineal de los niveles piezométricos entre dos puntos de diferente elevación, que se van ligando con puntos adyacentes, lo cual permite el trazo de las curvas piezométricas (Werner, 1996).

Para la carta digital, se utilizó el método de interpolación IDW, transfiriendo los datos piezométricos y de ubicación de cada pozo al programa ArcMap 10.3, a partir del cual se generó la interpolación y se generaron las isolíneas piezométricas a partir de esta a cada 3 m con la herramienta "Contour". Finalmente se dibujaron las líneas representativas de la red de flujo. En el presente trabajo se realizó la carta piezométrica correspondiente al mes de marzo del 2018, referida a temporada ordinaria.

4.1.4. Conductividad hidráulica

Para la obtención de los valores de conductividad hidráulica, se realizó una selección y levantamiento de 10 muestras de la terraza 2, terraza 3 y terraza 4 del río, considerando 22 muestras previas de la T1 (CONAGUA, 2011). De las muestras tomadas, se pretende obtener una porción de material con características representativas de cada zona. Considerando las muestras

alteradas (constituidas por material disgregado en el que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad), las muestras se envasan, identifican y transportan de la siguiente manera según la Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT): De manera superficial, se extrae la muestra a profundidades variables (no mayor a 0.5 m), eliminando el material ajeno y procurando descartar la parte intemperizada con alto contenido de materia orgánica. Se depositan 60 kilogramos aproximadamente del material extraído entre dos costales respectivamente identificados (Figura 19).



Figura 19. Obtención de las muestras.

En cuanto al trabajo de laboratorio, la preparación de las muestras consiste en extender la muestra total para posteriormente realizar el cuarteo formando un cono con la muestra para seccionarlo por cuadrantes (Figura 20 a), previamente revolviendo todo el material hasta llegar a un aspecto homogéneo traspaleando de un lugar a otro. Se procede a formar el cono, procurando una distribución uniforme. El material resultante del siguiente cono se dividirá y separará por cuadrantes, tomando y mezclando el material de dos cuadrantes opuestos (Figura 20 b), cuidando no perder el material fino de cada operación de cuarteo.

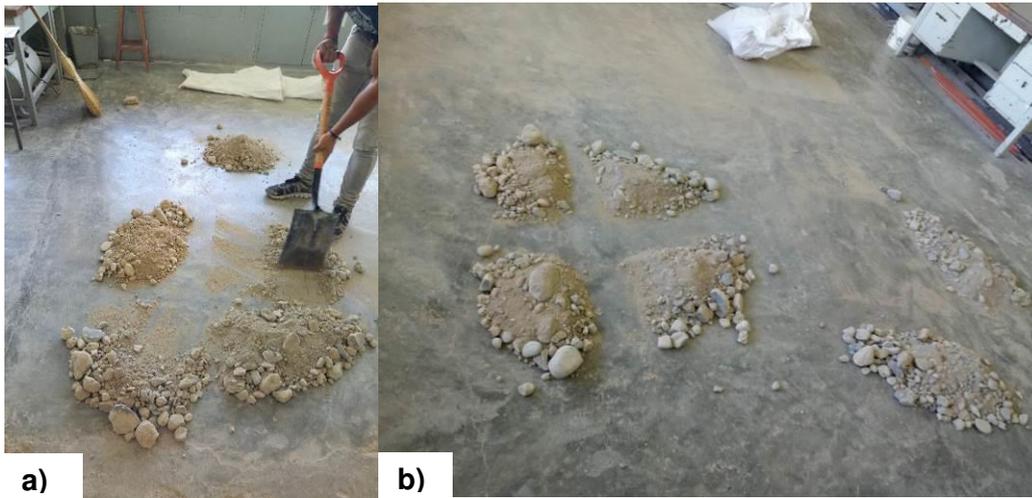


Figura 20. Preparación de la muestra: a) Cuarteo y formación de cono de muestra. b) Cuarteo a partir del nuevo cono y toma de muestra a partir de cuadrantes opuestos.

Posteriormente se realiza una determinación de la composición granulométrica mediante el uso de mallas, separando y clasificando por tamaños las partículas que componen el suelo, utilizando el procedimiento de cribado, es decir, haciendo pasar el material seleccionado y previamente pesado y preparado a través de un juego de tamices de aberturas cuadradas con numeración de 3" a 200 (Figura 21).



Figura 21. Separación en tamices por tamaños de partículas.

Para conocer con exactitud el material del tamiz 200, se realiza un cuarteo de manera mecánica (Figura 22 a) hasta obtener una muestra de +/- 250 g, la cual es sometida a un lavado previo colocándola en la malla y aplicando chorro de forma continua de tal manera que se propicie arrastre de la fracción fina, suspendiendo el lavado cuando el agua salga de manera clara sobre el vertedero (Figura 22 b). Esta muestra resultante se dejará escurrir para posteriormente dejar secar en el horno (Figura 22 c) a peso constante a una temperatura de

105°C (más menos 5°C), posteriormente se seca y extrae del horno, dejando enfriar a temperatura ambiente, registrando su peso.



Figura 22. a) cuarteo mecánico; b) lavado de muestra; c) secado en el horno.

De la muestra resultante seca y previamente pesada, se realiza un cribado de la parte fina a partir de los tamices del 10 al 200. Con los resultados obtenidos en el laboratorio se llenó el formato en el cual se registran los pesos del material retenido por cada malla y sus respectivos porcentajes.

Considerando los datos de las aberturas de los tamices y el porcentaje de material que pasa por cada uno de ellos, se ingresaron al programa de Excel HydrogeoSieveXL v2.0 para llevar a cabo el análisis granulométrico de cada muestra. A partir de estos datos se corrió el programa para obtener la estimación de la conductividad hidráulica calculada a partir de diferentes modelos de ecuación, cada uno con sus respectivas condiciones de aplicación según la composición de la muestra (Figura 23).

El programa HydrogeoSieveXL v2.0 contiene un total de 15 métodos para estimar la conductividad hidráulica para depósitos de arenas y gravas a partir de la distribución del tamaño de grano. El programa permite analizar los datos obtenidos de las anteriores pruebas de tamizado para así determinar la curva de distribución de granos, granulometría de muestras, y conductividad hidráulica por diferentes ecuaciones. Los beneficios de usar este programa son la simplicidad, el costo y la capacidad para identificar las variaciones en la conductividad hidráulica. Es bien sabido, que la conductividad hidráulica puede variar drásticamente y en varios órdenes de magnitud entre varios métodos, sin embargo, la ventaja de utilizar varios métodos para el cálculo de conductividad hidráulica es que es posible obtener un rango de valores cercanos al valor real. El programa realiza el cálculo con las 15 ecuaciones, pero determina que correlaciones son aplicables. Aquellas que pasan se muestran en el programa en conjunto con la media aritmética y la media geométrica. Para fines del presente análisis se usa la media geométrica, ya que es la menos sensible a los valores extremos.

Para iniciar el procesamiento de datos se presiona el botón “Start”, esta acción despliega un cuadro a tabla de datos de entrada que se completa haciendo clic en el botón “Input Prep.” para interpolar entre los puntos de datos con propósitos de graficar y estimar tamaños de grano característicos (tales como d10). Al seleccionar el botón “Do All” se pone en marcha todo el conjunto de funciones en la hoja, arrojando de entre los datos valores estimados de conductividad hidráulica (Figura 24).

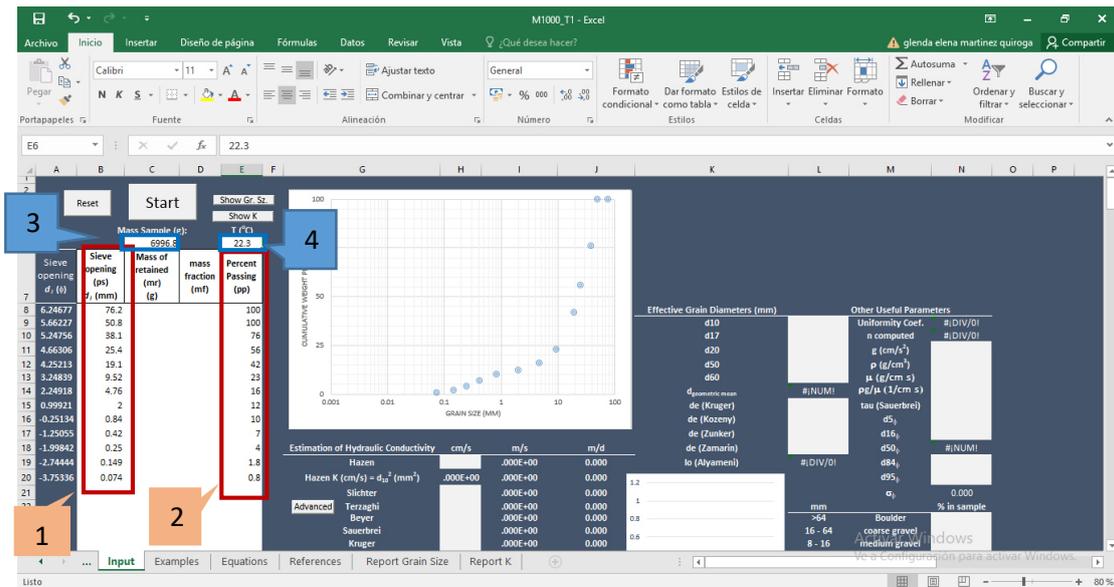


Figura 23. 1) Datos de la abertura de las mallas (mm), 2) porcentaje que pasa por los tamices de la muestra, 3) peso inicial de la muestra y 4) temperatura.

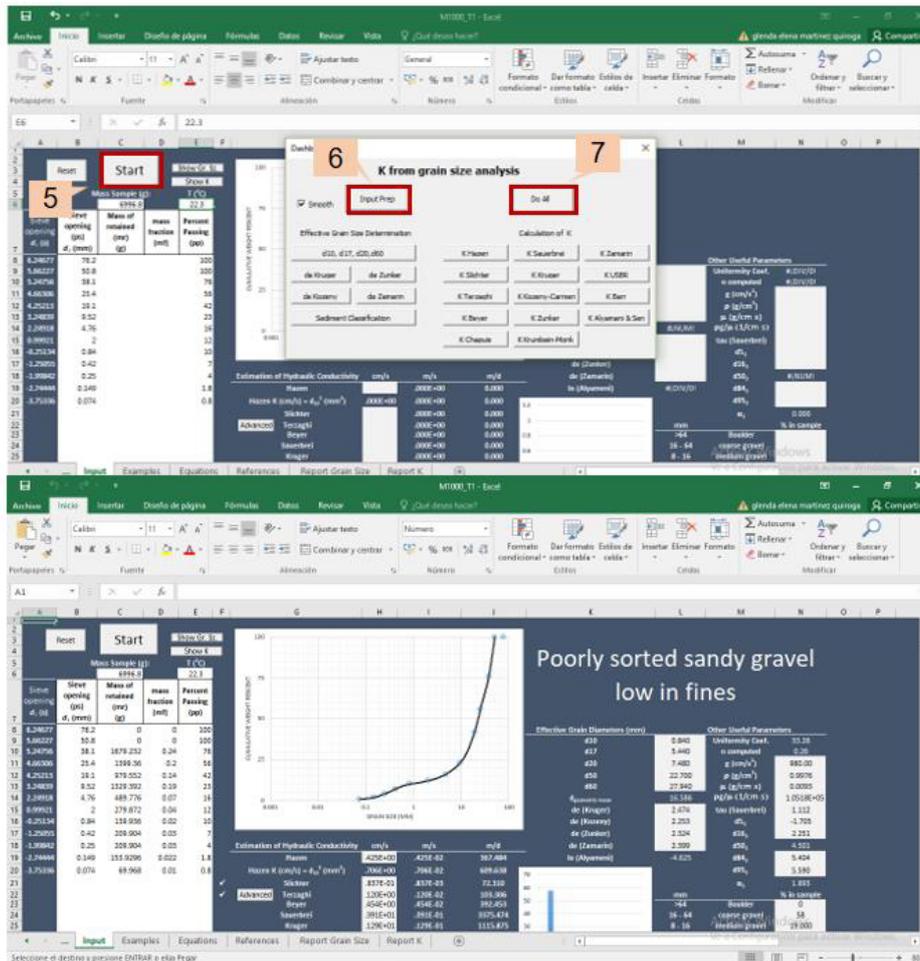


Figura 24. Procesamiento y obtención de datos: 5) “Start” para correr el programa, 6) “Input Prep.” Para gráfica y estimación de datos, 7) “Do all” para poner en marcha el conjunto de funciones de la hoja.

La herramienta HydrogeoSieveXL V 2.0 desarrollado por Devlin (2015) ha sido utilizado por Bentje et al. (2016) para analizar el transporte de contaminantes como nitrato y amonio, y comparar estimaciones de velocidad de flujo a partir de datos de tamaño de grano. Por otro lado, relacionado con el trabajo realizado de Devlin (2015) respecto a los métodos utilizados para obtener un parámetro de la conductividad hidráulica, Devlin et al. (2017) desarrolló la herramienta HydrogeoEstimatorXL para la interpretación de sistemas de flujo basados en información hidrogeológica de campo.

Por su parte, Jonas Thu (2016) utilizó la herramienta HydrogeoSieveXL v 2.0 para estimar conductividades hidráulicas y usar estos valores en el modelado de un acuífero. Frollini (2016) usó la citada herramienta para realizar una evaluación del comportamiento de disolución de contaminantes en el medio poroso. Russoniello et al. (2018) usó la herramienta HydrogeoSieveXL v 2.0 para comparar varias técnicas para estimar el intercambio béntico en estuarios. Okoyeh et al. (2018), Giacobone et al. (2018) y Biswal et al. (2018) usaron el

software para realizar estimaciones y evaluar la hidrogeoquímica de acuíferos. Finalmente, Fiandaca (2018) aplicó el programa para comparar las estimaciones con los datos obtenidos de registros durante la perforación de pozos (LWD o logging-while-drilling, por sus siglas en inglés).

4.2. Geología del área de estudio

Se generaron 30 cartas geológicas por municipios, en las cuales, a nivel general, se identificaron 4 niveles de terrazas que van desde la más joven (T1) hasta la más antigua (T4), además del contacto geológico discordante de las terrazas con las lutitas de la Fm. Méndez y las calizas, margas y lutitas de la Fm. San Felipe las cuales representan la base geológica de rocas consolidadas, lo anterior representado en los mapas geológicos.

En el presente apartado, se hace descripción de la distribución y composición actual de las terrazas en ciertas zonas del Río Santa Catarina, las cuales a partir de ortofotos digitales y modelos de elevación digital, se hace evidente la alteración y redistribución tanto natural como antropogénica que éstas sufrieron después del huracán Alex (INEGI, 2008; CONAGUA, 2011).

4.2.1. Geología del Cuaternario

4.2.1.1. Terrazas en Santa Catarina (TSC)

La **Terraza 1 Santa Catarina (T1SC)** se observa de la Figura 30 a la Figura 32. Esta terraza corresponde a la planicie de inundación reciente, dicho de otra forma, el lecho del río. Se encuentra conformada principalmente por gravas de diversos tamaños (Figura 25 a), iniciando con tamaños generales de 2 a 25 cm subangulosas a bien redondeadas y en otras zonas disminuyendo a gravas arenosas limosas, las gravas de 1 a 10 cm aproximadamente. La distribución espacial de los cantos rodados y las gravas va disminuyendo, tendiendo a ser mayor más cercana a la zona de aporte (saliendo de la Huasteca) a más arenosa gravosa con cantos rodados esporádicos en menor proporción y tamaño (Figura 25 b). En ciertos sitios de esta terraza se encuentra contacto con la Formación Méndez.

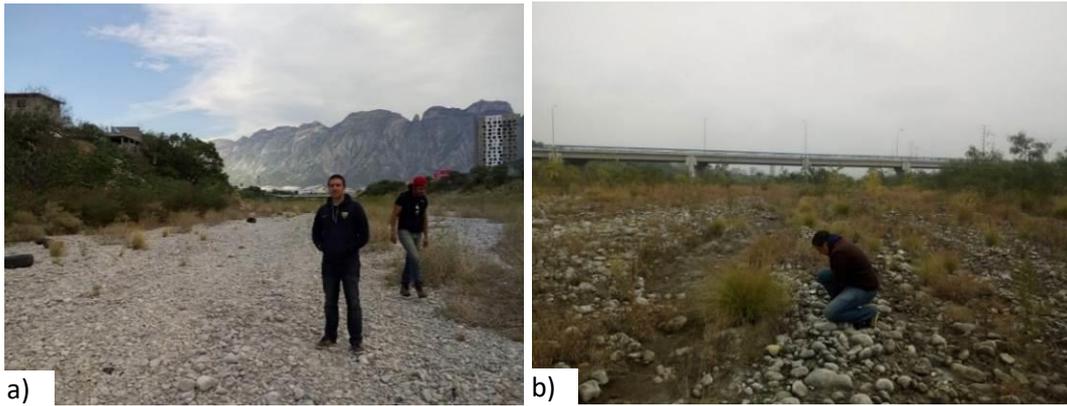


Figura 25. a) Composición general de T1SC. b) Cambio en la composición de la T1SC.

La **Terraza 2 Santa Catarina (T2SC)** se observa de la Figura 30 a la Figura 32. Esta presenta diversas variaciones, desde composición hasta espesores, ya que se encuentra expuesta ante constantes modificaciones antropogénicas, siendo cortada y alterada, hecho que sigue presente en esta misma terraza en el resto de las zonas por municipio.

La T2SC se encuentra conformada principalmente por gravas arenosas limosas (Figura 26 a), los espesores varían de 3 a 8 m aproximadamente, aunque es difícil precisar ya que hay casos en los que se llega a distinguir espesores aparentes por haber modificación, llevando a cabo caminos y asentamientos irregulares a través de o sobre estas mismas, mayormente sobre el margen izquierdo, mientras por el margen derecho predominan las modificaciones por la construcción y modificación de las avenidas y lo que estas conllevan. Precisamente se puede encontrar que en ciertas zonas sobre las terrazas se encuentra material de escombros, producto de actividades de construcción cercanas al río (Figura 26 b).

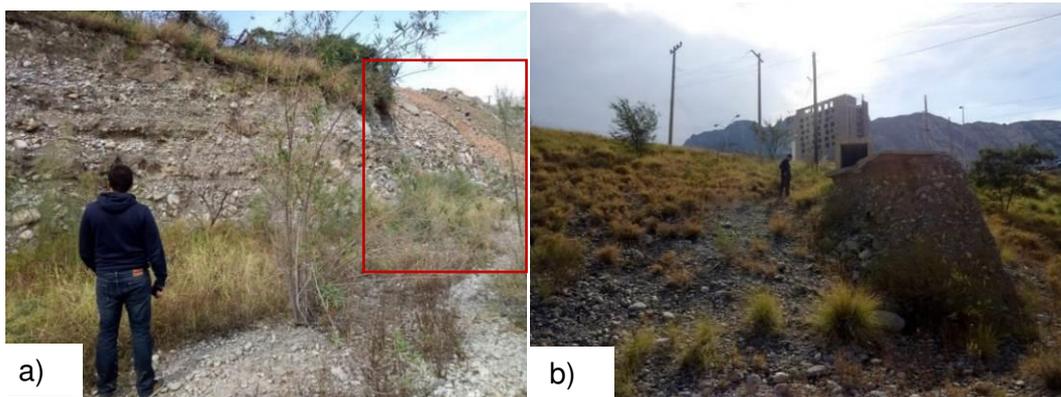


Figura 26. a) Composición general de la T2SC y T2SC cubierta por escombro (recuadro rojo), y b) Composición general de la T2SC.

En otras zonas de la T2, predominan los sedimentos arenosos limosos con contenido de grava de diversos tamaños y esporádicos cantos rodados (Figura 27 a) y en menor ocurrencia, se distinguen sitios en los cuales las gravas se encuentra de medianamente a completamente consolidadas (Figura 27 b). En cierto punto de esta terraza, aflora el contacto con la Formación Méndez.

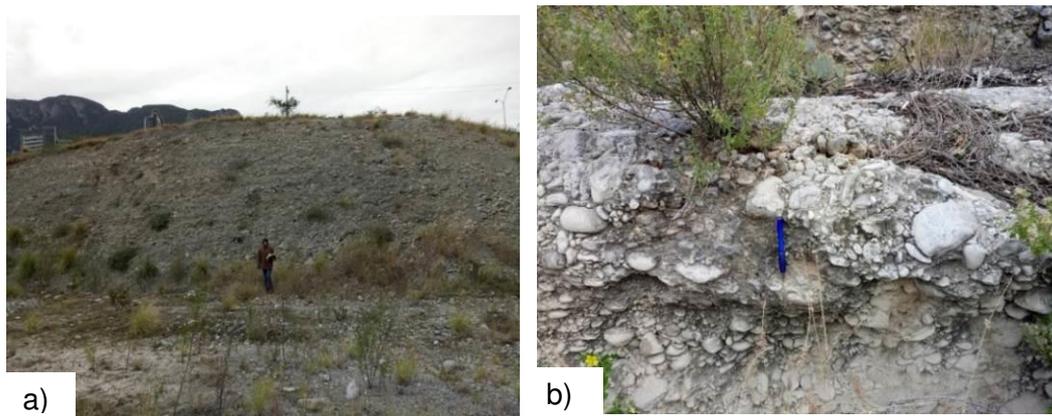


Figura 27. a) Distribución alterna de la T2SC, y b) Gravas consolidadas de la T2SC.

La **Terraza 3 Santa Catarina (T3SC)** se observa de la Figura 30 a la Figura 32. Se presume que la T3SC se encuentra en ciertas zonas en unión con la T2SC, resultado de las modificaciones y construcciones, por lo que no es evidentemente visible en ciertos casos (Figura 28 a y b). Esta se encuentra mayormente cubierta en su margen derecho por la avenida Dr. Ignacio Morones Prieto con espesores menores a un metro, mientras que por el margen izquierdo se encuentra presuntamente cubierta por los siguientes asentamientos y construcciones habitacionales.

En zonas visibles tienen aproximadamente espesores menores a un metro, y se encuentran formadas principalmente por relleno arenoso limoso con algo de gravas y agregados de residuos sólidos.

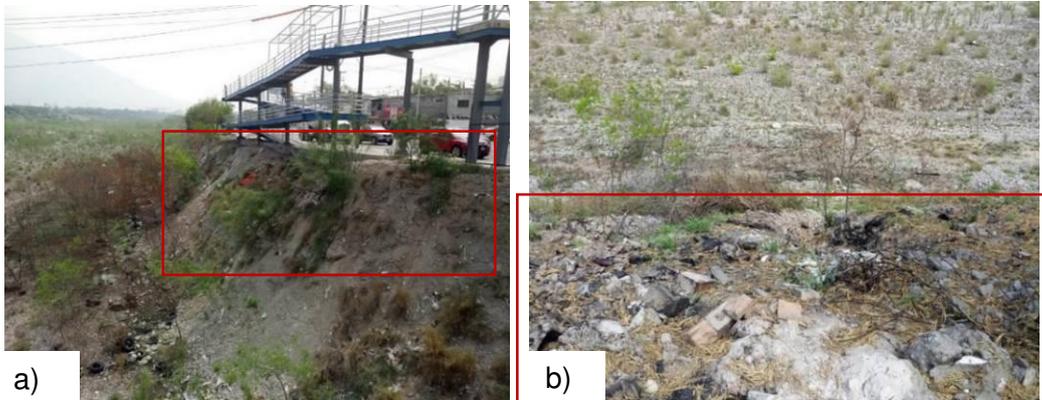


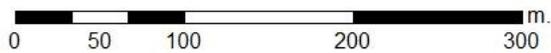
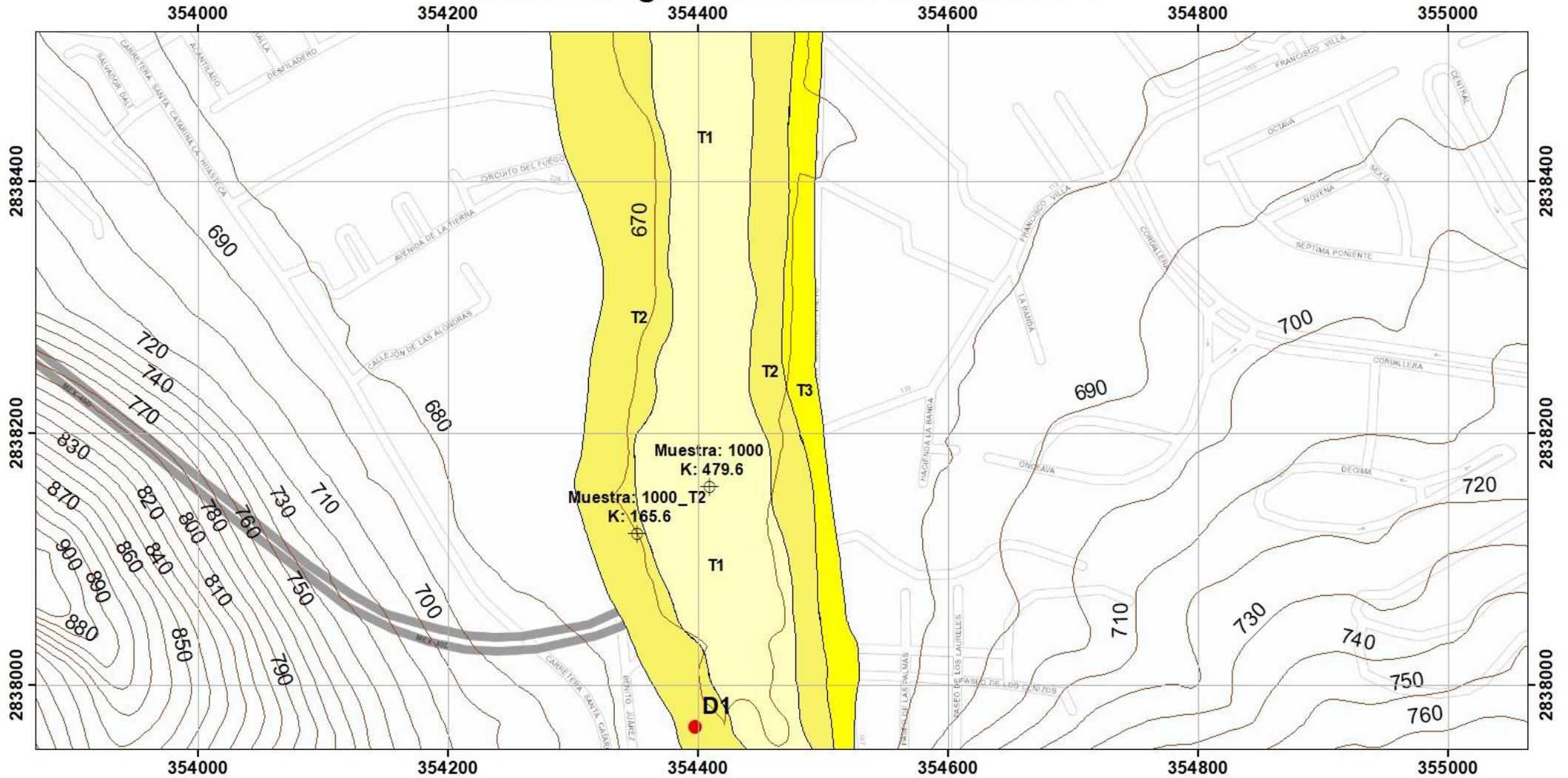
Figura 28. a) Composición general de la T3SC, y b) T3SC con contenido de residuos sólidos.

La **Terraza 4 Santa Catarina (T4SC)** se observa en la Figura 33. La T4SC se encuentra aflorando en ciertos puntos por el margen derecho a un costado de la Av. Dr. Ignacio Morones Prieto, conformadas principalmente por gravas arenosas limosas, con gravas finas a medianas (de 3 mm a 4 cm aprox.) subangulares-angulares con espesores de 2 a 4 m aproximadamente. En ciertos sitios ésta se encuentra en contacto con las lutitas de la Fm. Méndez en estado mayormente intemperizado (y no intemperizado en menor proporción) (Figura 29 a y b).



Figura 29. a) y b) T4SC en contacto con la Formación Méndez.

Carta Geológica Río Santa Catarina SC I



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas)	Descarga (D1)
Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas)	Sondeo (041)
Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas)	Límite de terraza
Fm. Méndez (Lutitas)	Curvas de nivel @10 m
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Sección
Límite municipal	

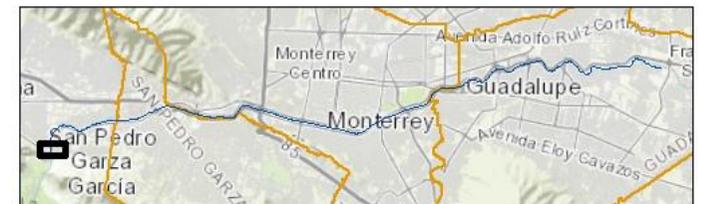
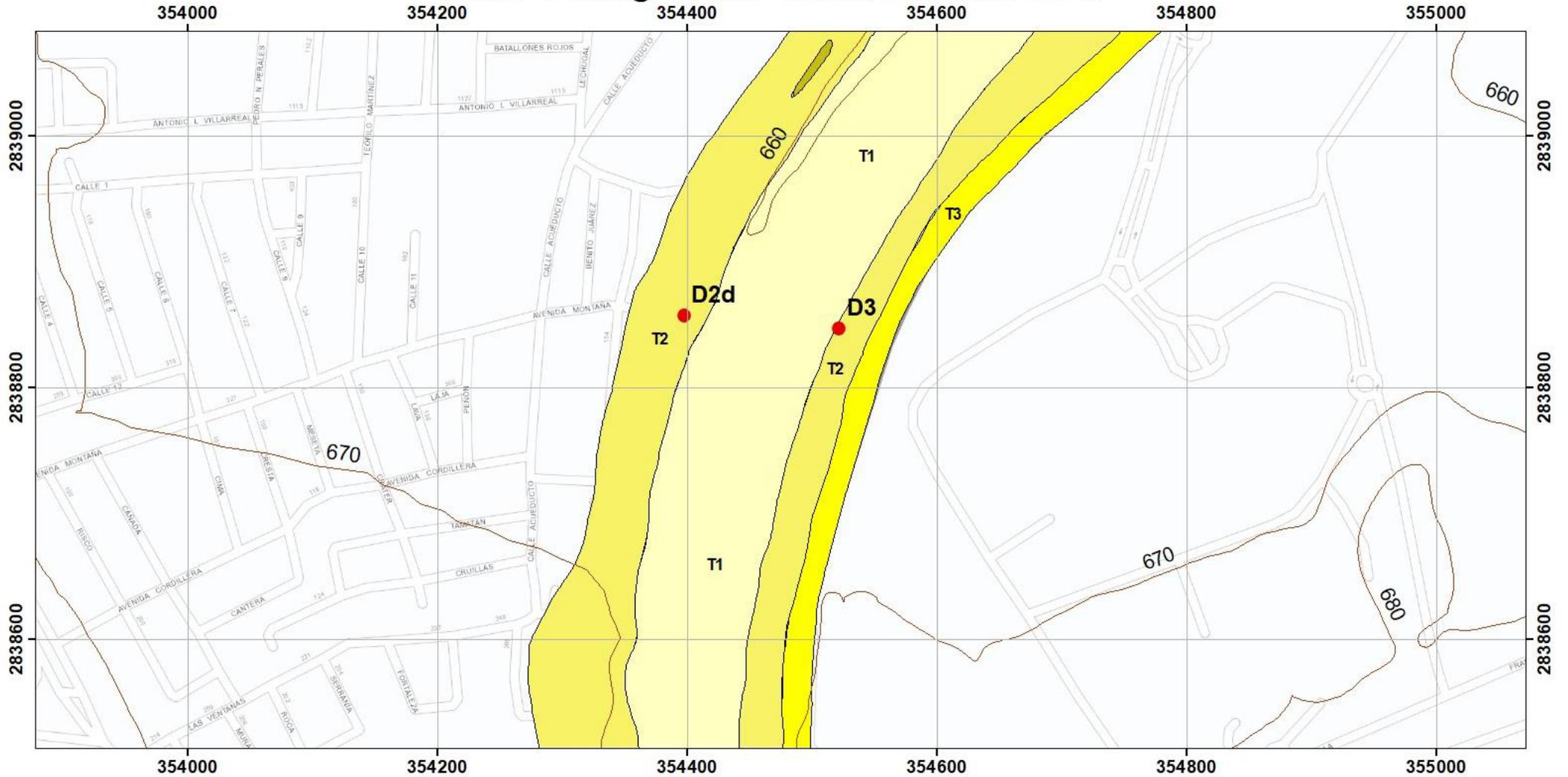


Figura 30. Carta Geológica Río Santa Catarina I

Carta Geológica Río Santa Catarina SC II



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas) | Conductividad hidráulica, K (m/día) |
| Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas) | Descarga (D1) |
| Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas) | Sondeo (04I) |
| Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas) | Límite de terraza |
| Fm. Méndez (Lutitas) | Curvas de nivel @ 10 m |
| Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas) | Sección |
| Límite municipal | |

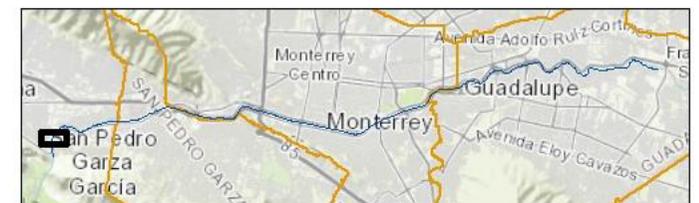
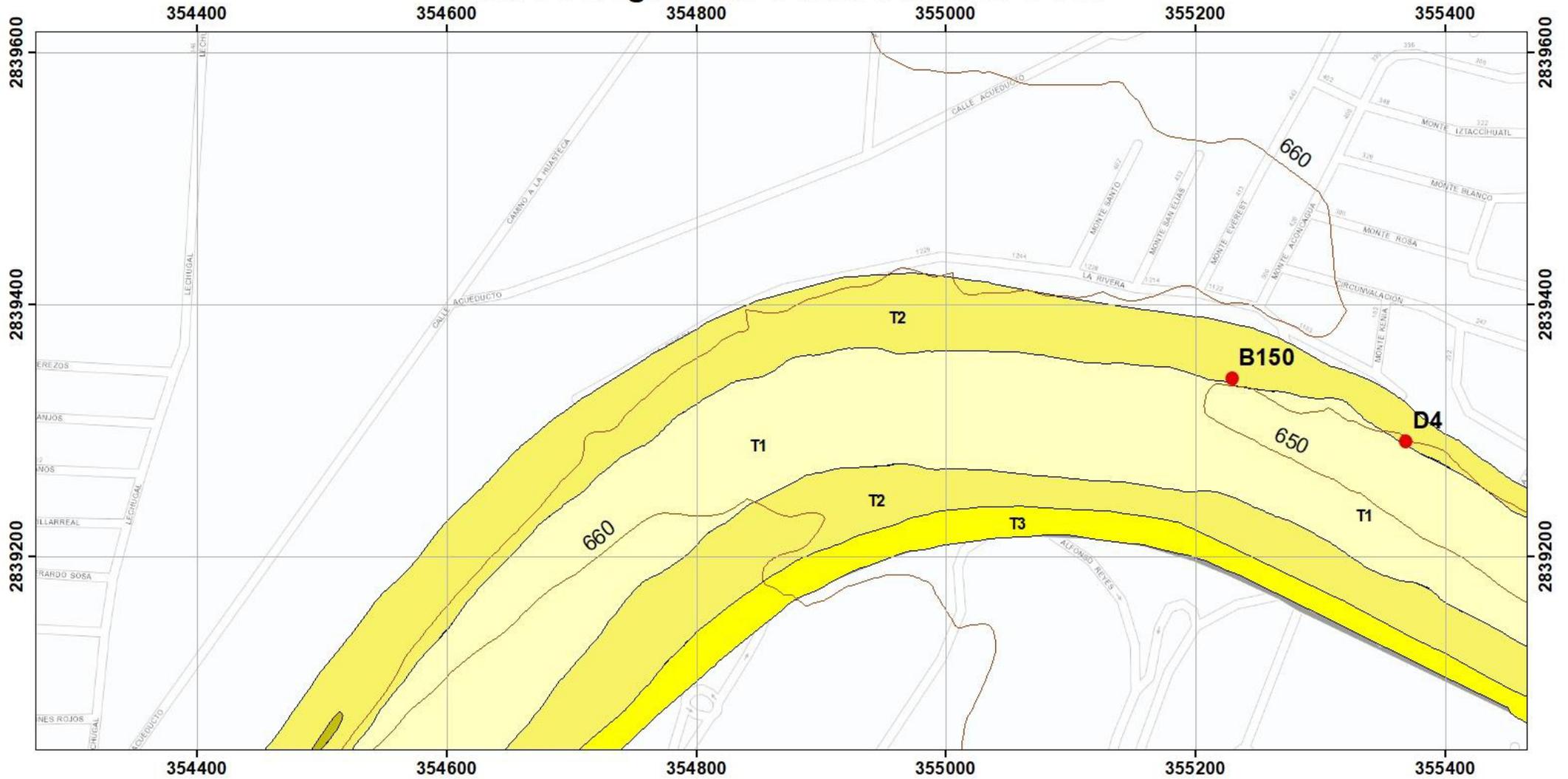


Figura 31. Carta Geológica Río Santa Catarina II

Carta Geológica Río Santa Catarina SC III



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas)
	Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Descarga (D1)
	Sondeo (04I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @ 10 m
	Sección
	Conductividad hidráulica, K (m/día)

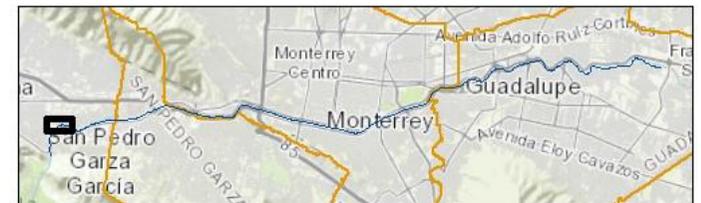
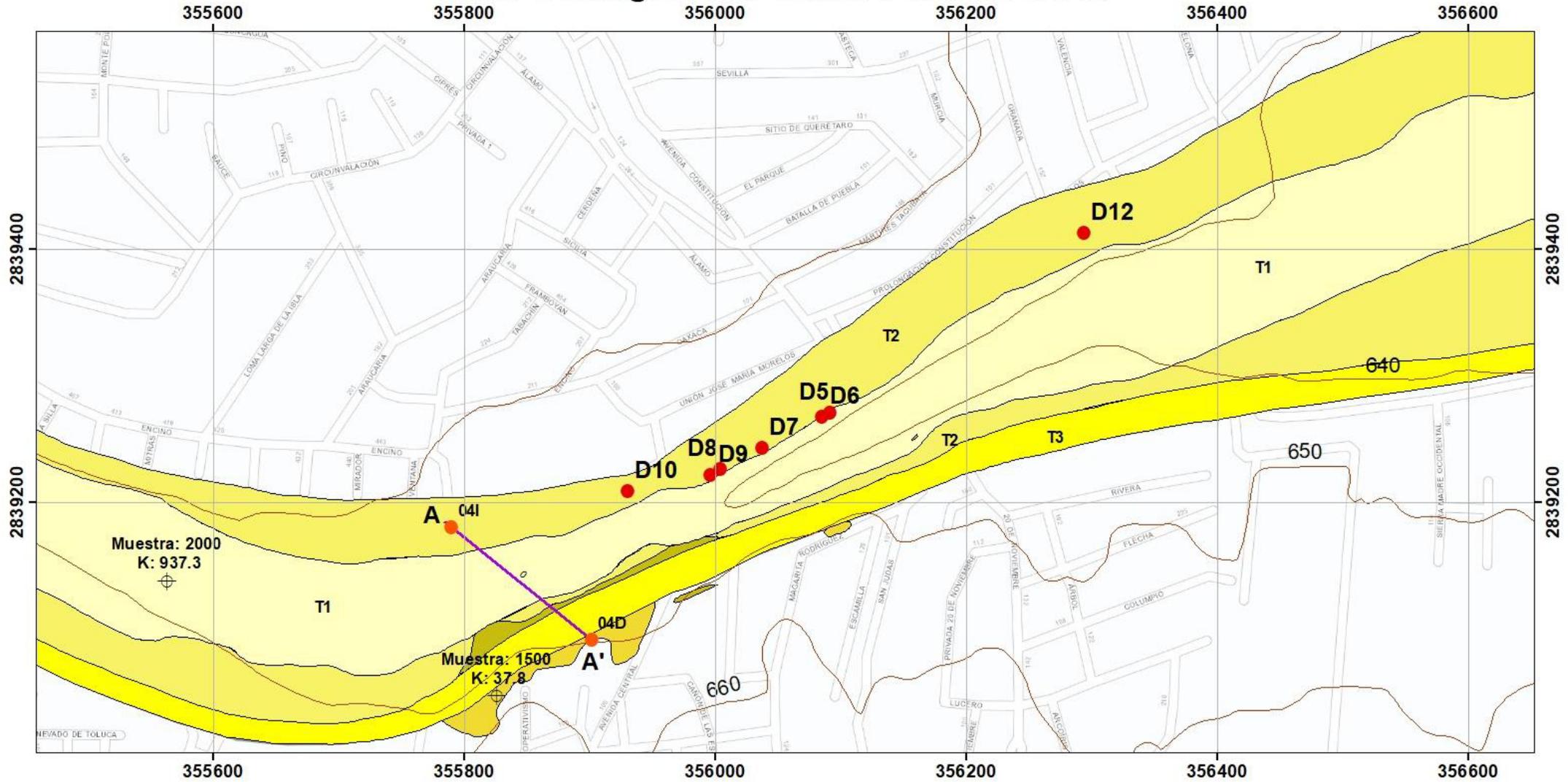


Figura 32. Carta Geológica Río Santa Catarina III

Carta Geológica Río Santa Catarina SC IV



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas)
	Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (041)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección

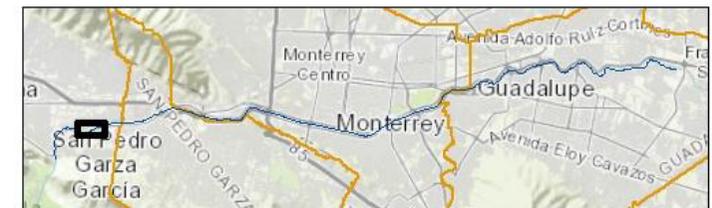
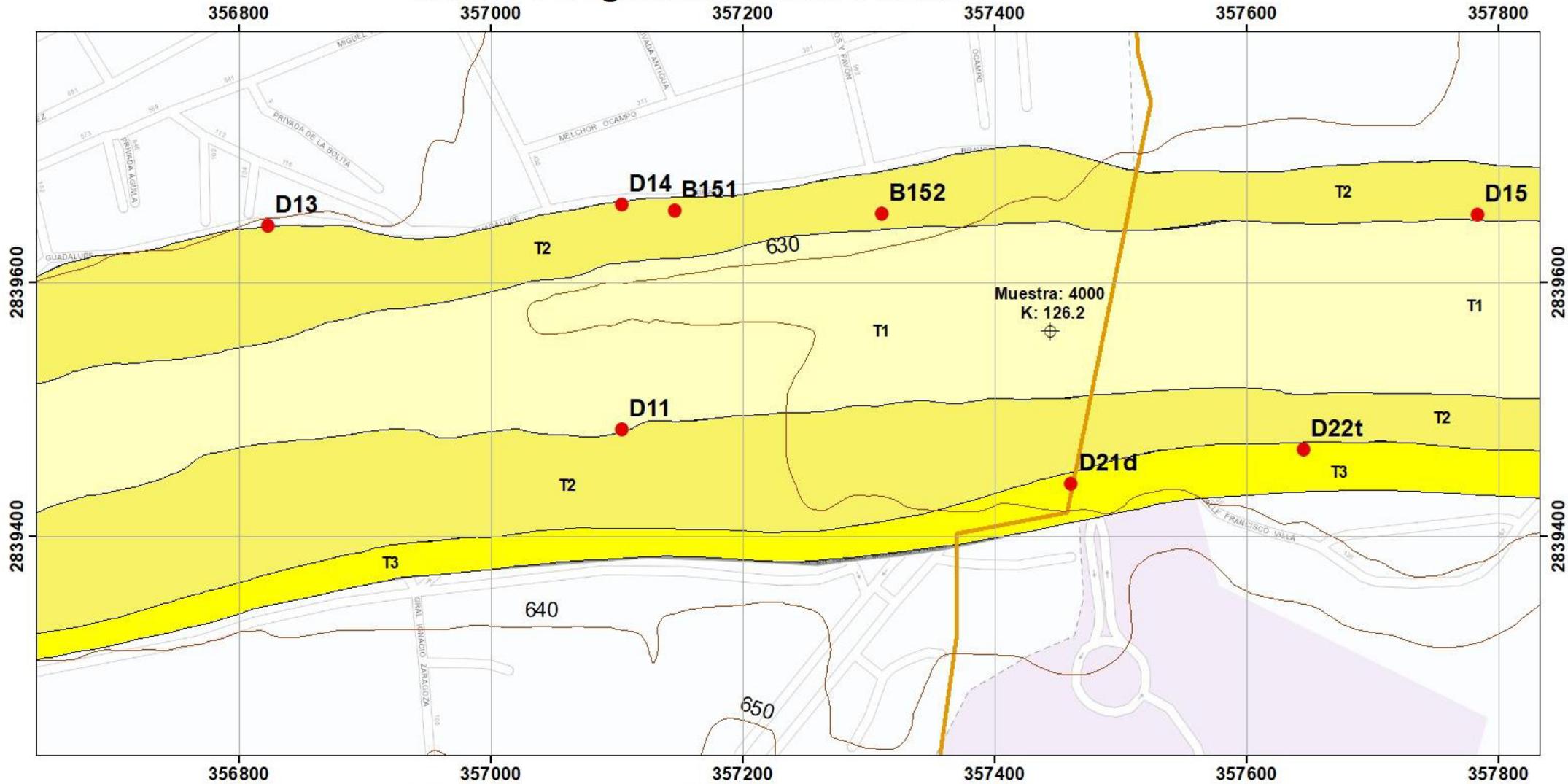


Figura 33. Carta Geológica Río Santa Catarina IV

Carta Geológica Río Santa Catarina SC- SP



0 50 100 200 300 m.

Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología

Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas)	Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)
Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas)	Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)
Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas)	Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)
Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas)	Terraza 4 (T4SP: Arenas gravosas limosas)
Fm. Méndez (Lutitas)	Límite municipal
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Límite de terraza	Descarga (D 1)
Curvas de nivel @10 m	Sondeo (041)
Sección	



Figura 34. Carta Geológica Río Santa Catarina SC-SP

4.2.1.2 Terrazas en San Pedro Garza García (TSP)

La **Terraza 1 San Pedro Garza García (T1SP)** se observa en la Figura 34 y de la Figura 41 a la Figura 45. La T1SP correspondiente al actual cauce del río, consta principalmente por material arenoso con gravas de diversos tamaños (de pequeñas a grandes) ligeramente cementadas, además de gravas sueltas y esporádicos cantos rodados subangulosos a redondeados Figura 35 a). En ciertos tramos de esta terraza, se encuentra con contenido de arrastre de basura, proveniente de la zona del arroyo “El Obispo”, que se extiende hasta decenas de metros (Figura 35 b).



Figura 35. a) Composición general de T1SP, y b) Composición general de la T1SP con basura.

Hacia esta zona de aporte del arroyo “El Obispo” (Figura 36 a), se logra distinguir una alta cementación y las gravas sueltas de tamaño medio a grande se vuelven más abundantes, así como los cantos rodados (Figura 36 b).



Figura 36. a) Composición general de la T1SP en zona de aporte, y b) Aumento de contenido de gravas del arroyo “El Obispo” y cantos rodados de la T1SP en la zona.

La **Terraza 2 San Pedro Garza García (T2SP)** se observa en la Figura 34 y de la Figura 41 a la Figura 45. Esta terraza presenta diversas variaciones, desde composición hasta espesores, ya que esta ha sido expuesta ante constantes modificaciones y alteraciones antropogénicas, pudiéndose identificar restos de sitios de recreación construidos sobre esta, como canchas y pequeños parques que fueron afectados a partir del huracán Alex; además en esta por el margen izquierdo se encuentran asentadas directamente unidades habitacionales y negocios.

Según lo expuesto, la T2SP se encuentra compuesta en su mayoría de sedimentos arenosos limosos con gravas sub angulares a redondeadas de diversos tamaños (Figura 37 a) y gravas arenosas limosas ligeramente cementadas en menor proporción (Figura 37 c y d); sus espesores varían en general de 3-6 m. Por otro lado, hay zonas en las que no es posible observar su composición, debido a que se encuentran cubiertas por taludes, más se logra corroborar por pequeños tramos de zonas expuestas (Figura 37 b).



Figura 37. a) Composición general de la T2SP; b) Zona expuesta de la T2SP; c) Gravas arenosas arcillosas de la T2SP afectadas por la D23 y d) Gravas arenosas arcillosas de la T2SP.

Se encuentran zonas en las que la T2SP conformadas e/o invadidas por relleno de construcciones pasadas y actuales. Además de que debido a la cercanía que viviendas de la zona tienen con ésta, se encuentran también afectadas por acumulaciones de escombros, relleno y basura (Figura 38).



Figura 38. T2SP cubierta por relleno de construcción y escombros.

La **Terraza 3 San Pedro Garza García (T3SP)** se observa en la Figura 34 y de la Figura 41 a la Figura 45. Se encuentra sobresaliendo solo en algunas zonas con espesores de un metro aproximadamente, aparentemente constituidas por sedimento arenosos limosos y principalmente cubiertas en su margen derecho ya sea por vegetación y la avenida Dr. Ignacio Morones Prieto (Figura 39) y Antonio L. Rodríguez por el margen izquierdo.



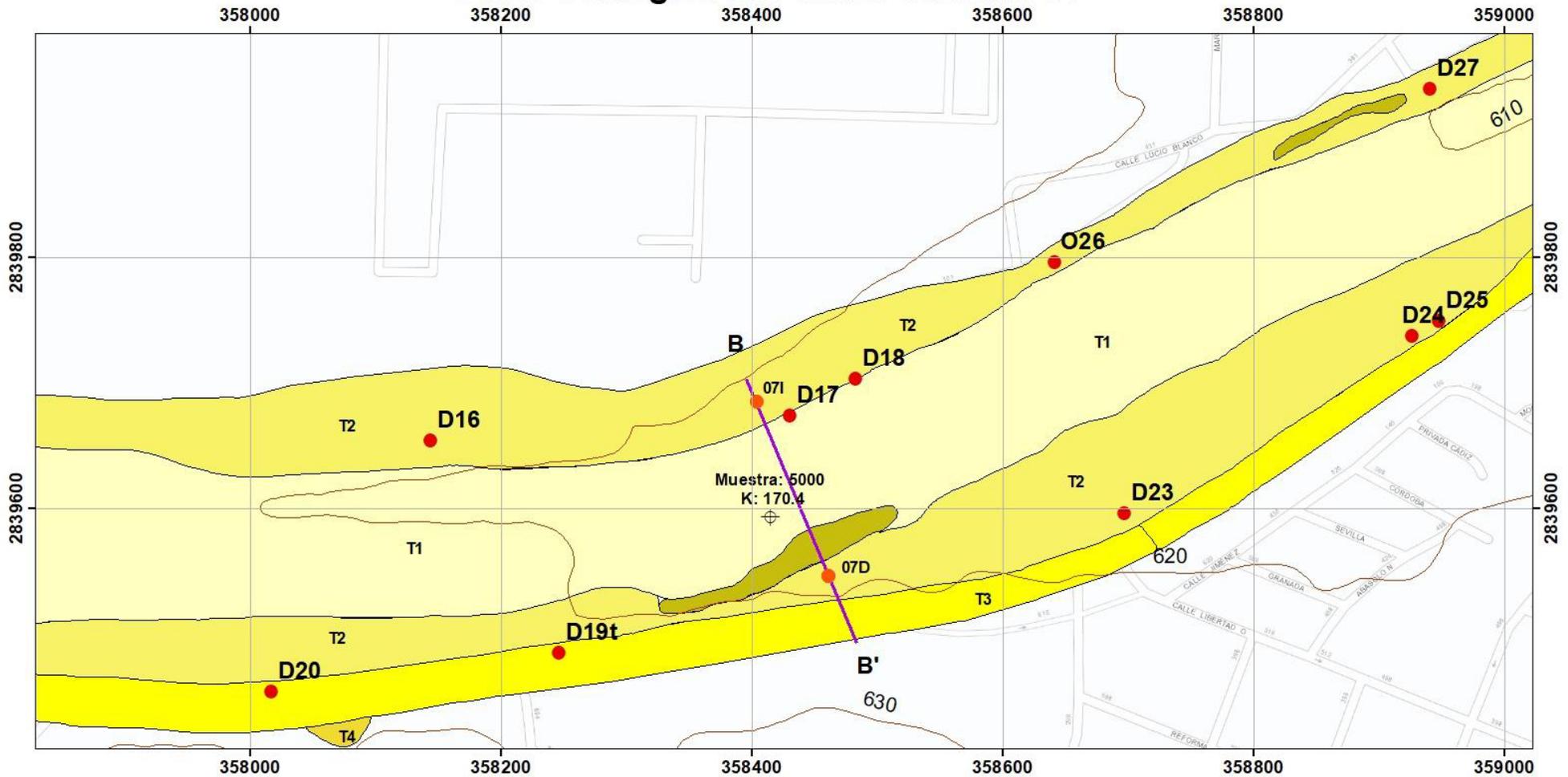
Figura 39. Zona de la T3SP expuesta.

La **Terraza 4 San Pedro Garza García (T4SP)** se observa representada en la Figura 41. Esta se encuentra aflorando en escasos puntos a un costado de la av. Dr. Ignacio Morones Prieto con espesores de alrededor de 4 a 6 m aproximadamente, constituidas principalmente por sedimento arenoso limoso con intercalaciones de gravas de pequeñas a medias subangulares y angulares (Figura 40).



Figura 40. Composición general de la T4SP a un costado de la av. Dr. Ignacio Morones Prieto

Carta Geológica Río Santa Catarina SP



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología

Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)	Descarga (D1)
Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)	Sondeo (04I)
Terraza 4 (T4SP: Arenas gravosas limosas)	Límite de terraza
Fm. Méndez (Lutitas)	Curvas de nivel @10 m
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Sección
Límite municipal	

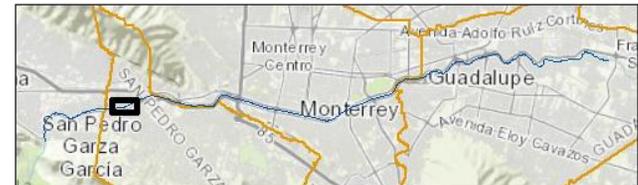
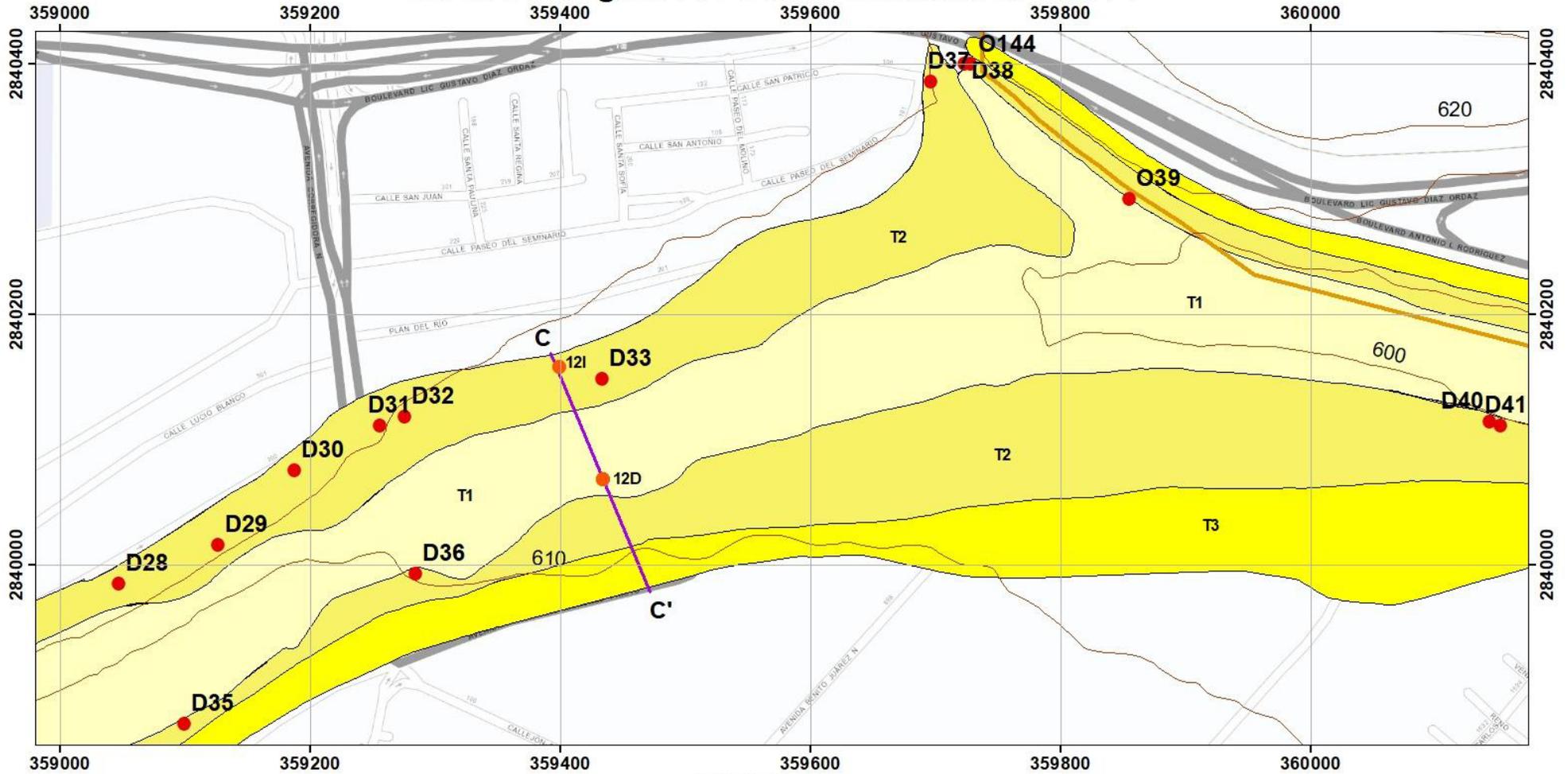


Figura 41. Carta Geológica Río Santa Catarina SP

Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY I



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

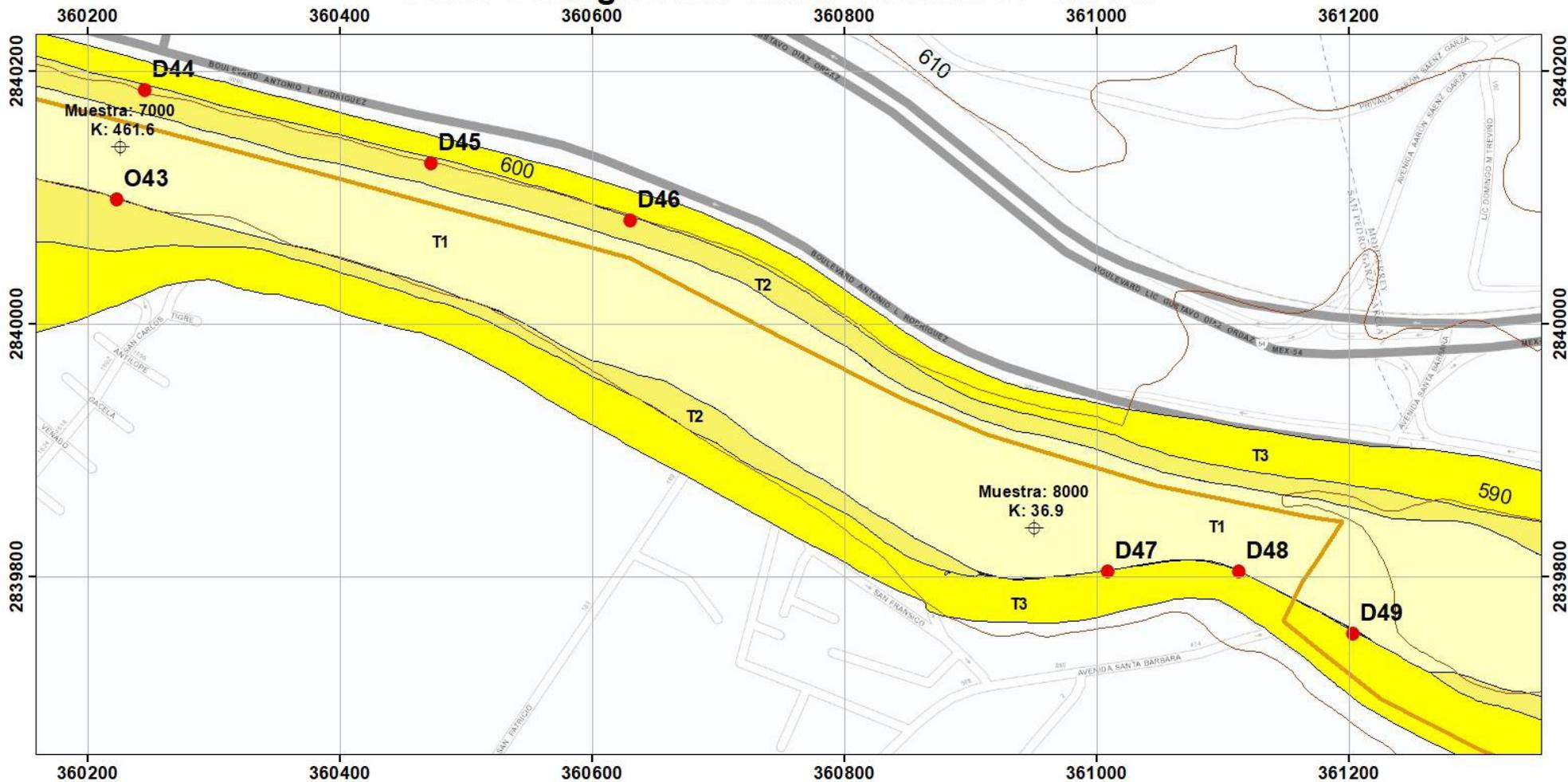
Simbología

Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 1 (T1MTY: Gravas arenosas)
Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 2 (T2MTY: Gravas arenosas limosas)
Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)	Terraza 3 (T3MTY: Gravas arenosas)
Terraza 4 (T4SP: Arenas gravosas limosas)	Límite municipal
Fm. Méndez (Lutitas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Descarga (D1)
Límite de terraza	Sondeo (O4I)
Curvas de nivel @10 m	Sección



Figura 42. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY I

Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY II



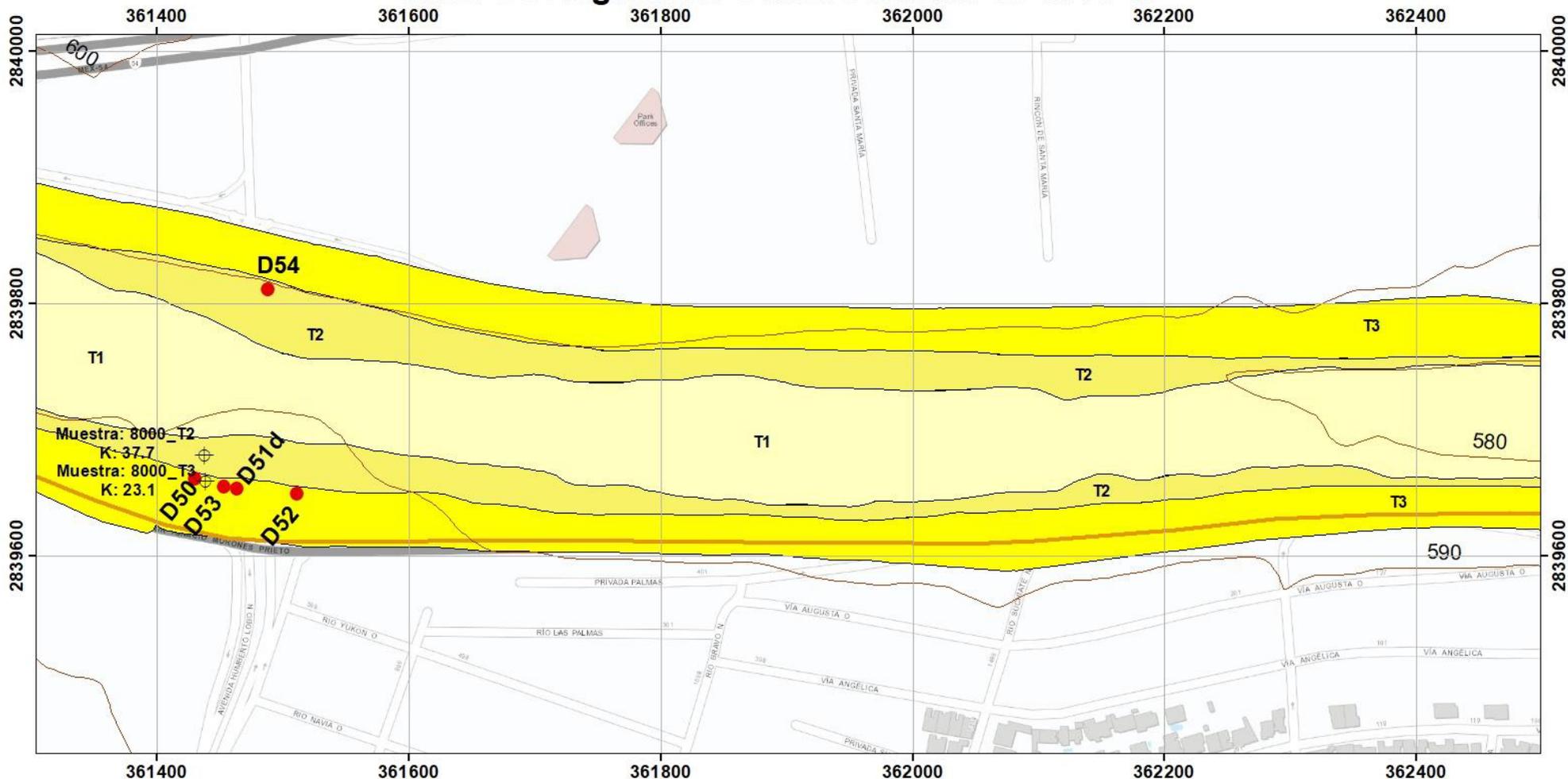
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 1 (T1MTY: Gravas arenosas)
Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 2 (T2MTY: Gravas arenosas limosas)
Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)	Terraza 3 (T3MTY: Gravas arenosas)
Terraza 4 (T4SP: Arenas gravosas limosas)	Límite municipal
Fm. Méndez (Lutitas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Descarga (D1)
Límite de terraza	Sondeo (O4I)
Curvas de nivel @10 m	Sección



Figura 43. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY II

Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY III



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

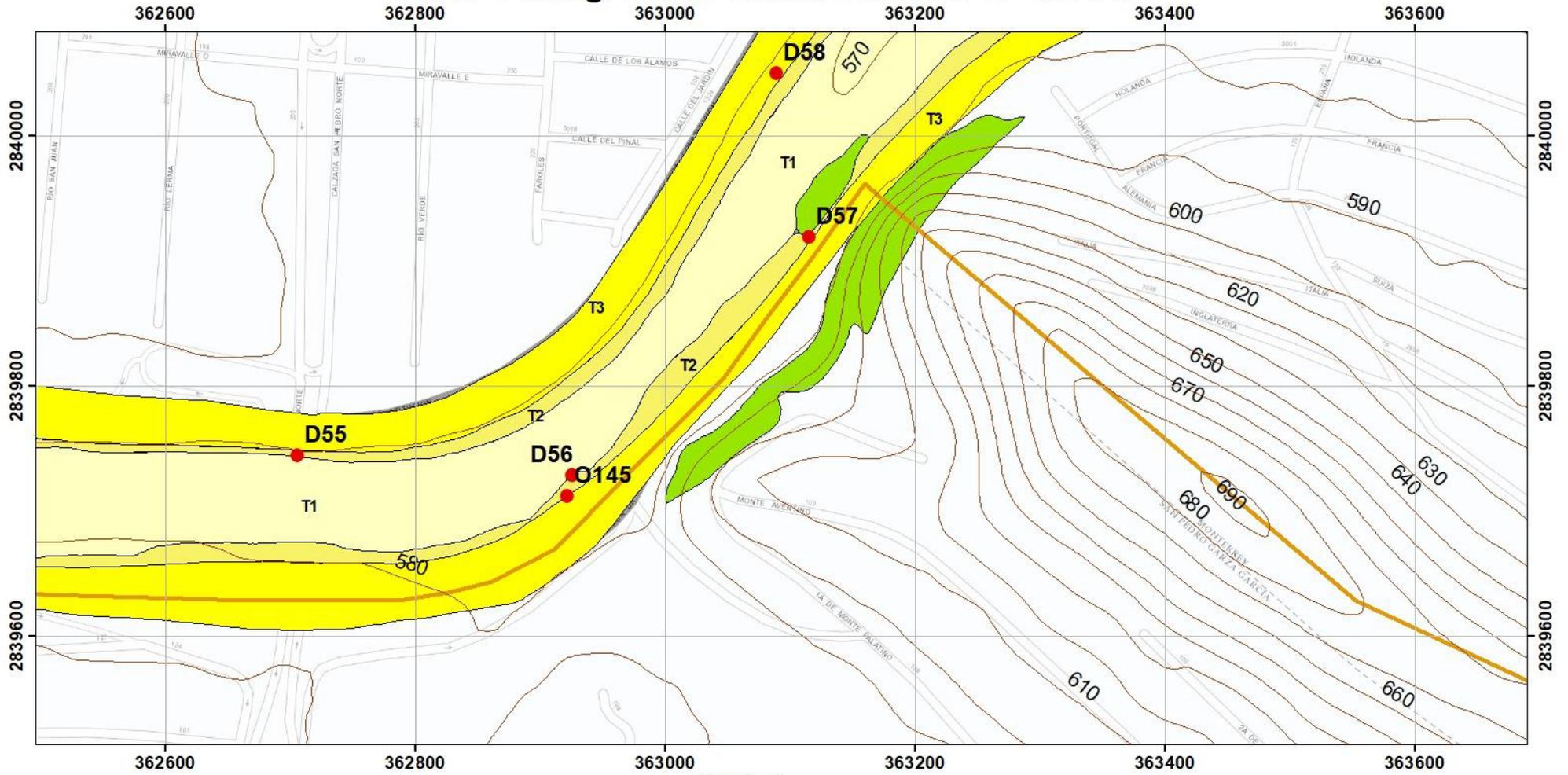
Simbología

Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 1 (T1MTY: Grav as arenosas)
Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)	Terraza 2 (T2MTY: Grav as arenosas limosas)
Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)	Terraza 3 (T3MTY: Grav as arenosas)
Terraza 4 (T4SP: A renas gravosas limosas)	Límite municipal
Fm. Méndez (Lutitas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Descarga (D1)
Límite de terraza	Sondeo (O41)
Curvas de nivel @10 m	Sección



Figura 44. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY III

Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY IV



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1SP: Arenas gravosas limosas)
	Terraza 1 (T1MTY: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2SP: Arenas gravosas limosas)
	Terraza 2 (T2MTY: Gravas arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3SP: Arenas limosas)
	Terraza 3 (T3MTY: Gravas arenosas)
	Terraza 4 (T4SP: Arenas gravosas limosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (O41)
	Sección



Figura 45. Carta Geológica Río Santa Catarina SP-MTY IV

4.2.1.3 Terrazas en Monterrey (TMTY)

La **Terraza 1 Monterrey (T1MTY)** se observa previamente representada de la Figura 42 a la Figura 44 y de la Figura 49 a la Figura 59. La T1MTY correspondiente al cauce del río actual, se distribuye principalmente de gravas de diversos tamaños, de pequeñas a grandes subangulosas a bien redondeadas, arenas y cantos rodados (Figura 46 a); en escasas zonas se identifican en estado consolidado.

Esta terraza (T1Mty) es la que mayor contacto tiene con la Fm. Méndez expuesta tanto en estado intemperizado (Figura 46 b) como no intemperizado, así como también se puede identificar el contacto con la Fm. San Felipe.



Figura 46. a) Gravas arenosas con cantos rodados de la T1MTY y, b) Contacto entre la T1MTY y la Fm. Méndez.

La **Terraza 2 Monterrey (T2MTY)** se observa previamente de la Figura 42 a la Figura 44 y de la Figura 49 a la Figura 59. Esta terraza se encuentra compuesta principalmente por gravas arenosas limosas con esporádicos cantos rodados, estos últimos varían según la zona (Figura 47 a). Los espesores varían de 2 a 4 m aproximadamente, encontrándose generalmente los menores en zonas de puentes y cruces de avenidas (Figura 47 b). El tamaño de las gravas oscila entre tamaños pequeños a medios, redondeadas a bien redondeadas.

Otros sitios de esta terraza, se encuentran conformados por arcillas arenosas gravosas, con espesores de 2 a 3 m aproximadamente.

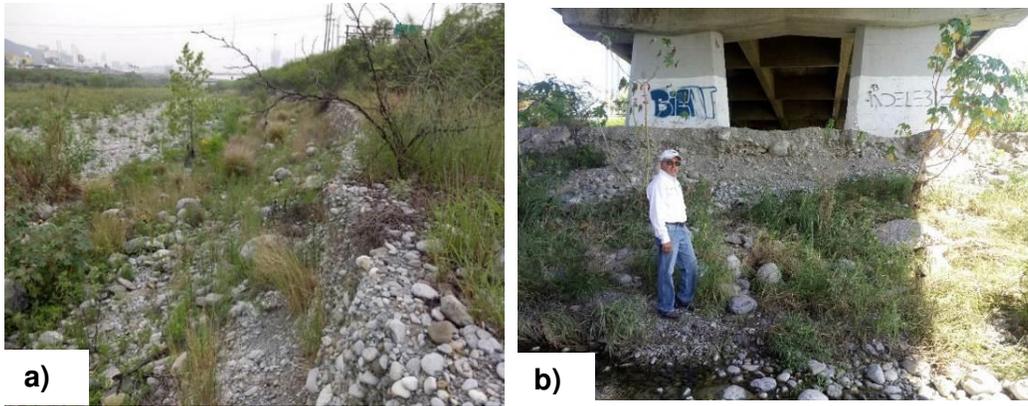


Figura 47. a) Composición general de la T2MTY y Terraza 3 Monterrey (T3SMTY) b) T2MTY en cruce de la Av. Cuauhtémoc

La **Terraza 3 Monterrey (T3MTY)** se observa previamente representada de la Figura 42 a la Figura 44 y de la Figura 49 a la Figura 59. La T3MTY se encuentra principalmente cubierta por las avenidas Dr. Ignacio Morones Prieto y Constitución. Esta se encuentra aflorando en ciertos puntos con espesores por lo general menores a un metro, compuestas aparentemente por arenas gravosas (Figura 48 a). Cabe señalar que la mayoría de estas terrazas se encuentran invadidas por vegetación (Figura 48 b), por lo que, considerando los primeros metros de la información de algunos de los sondeos exploratorios (CONAGUA, 2011), se presume que la zona cubierta (por las avenidas) de estas terrazas se encuentran principalmente compuestas de gravas arcillosas limosas, gravas arenosas arcillosas y arcillas arenosas gravosas; además, en ciertos puntos por el margen izquierdo se encuentra afectada por residuos de escorias, producto de la antigua actividad siderúrgica de Fundidora (ver perfil de la Figura 90).

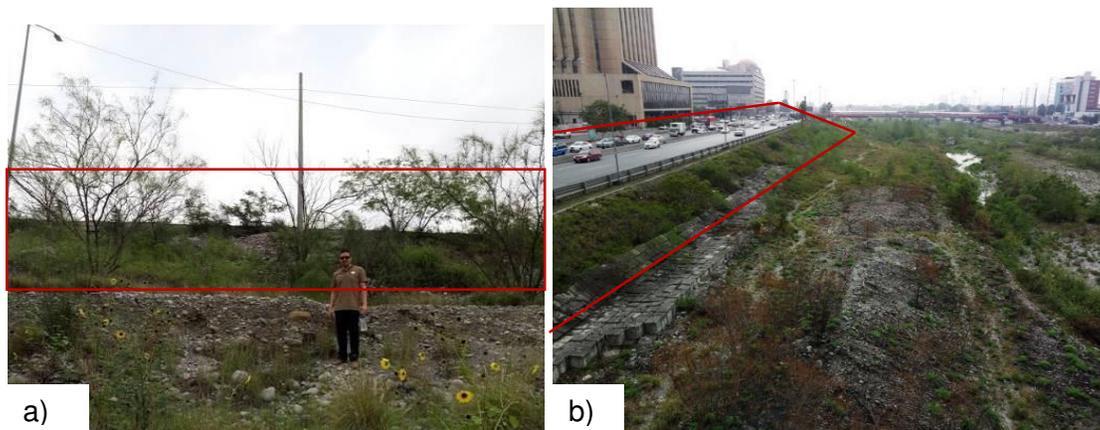
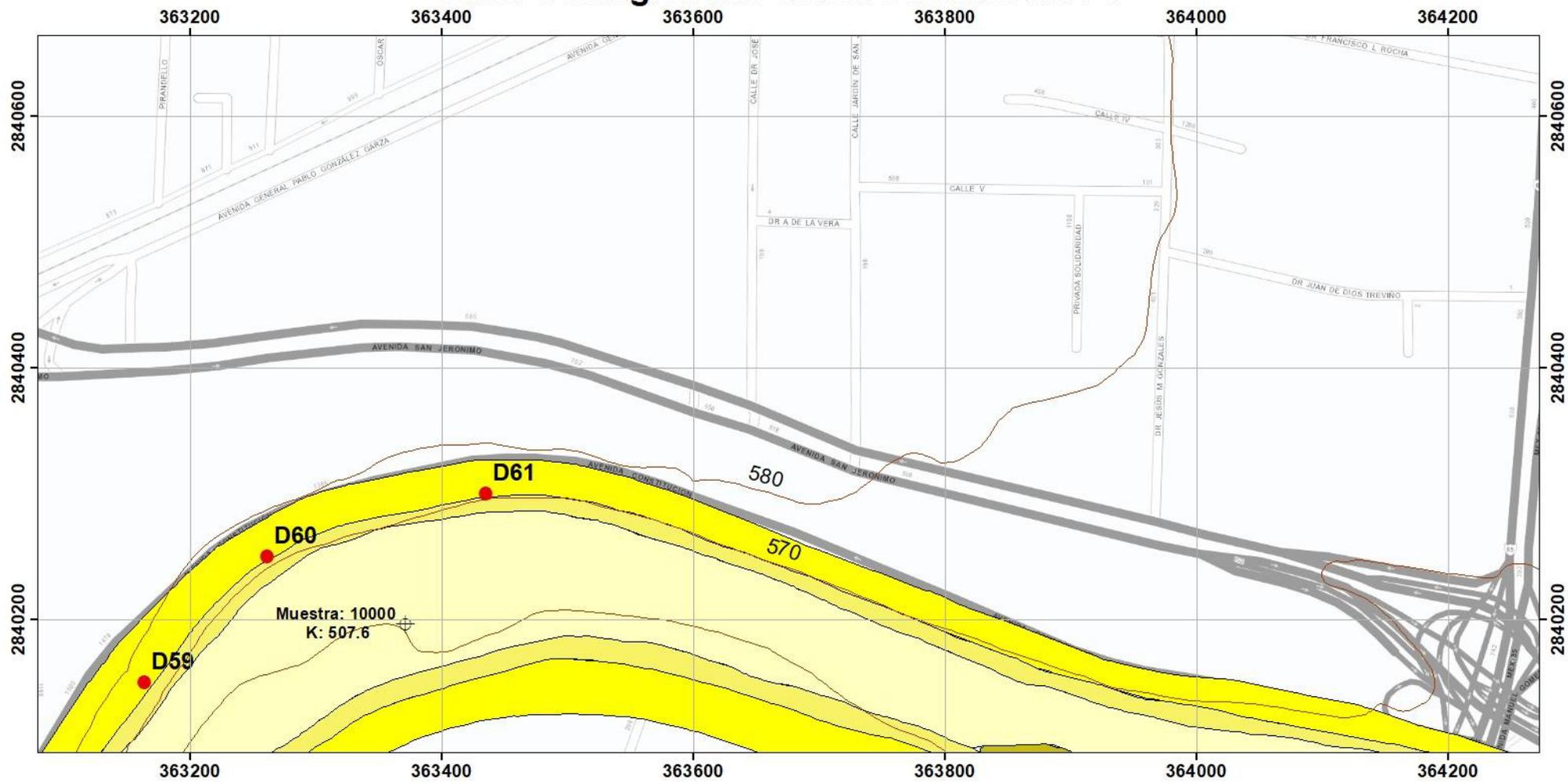


Figura 48. a) Composición general de la T3MTy en campo y b) Av. Constitución sobre T3MTy (recuadro rojo).

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY I



0 50 100 200 300 m.

Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 Datum: WGS84
 Escala: 1:3,000
 Imagen: Esri, 2018
 Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
Terraza 1 (T1MTY: Gravas arenosas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Terraza 2 (T2MTY: Gravas arenosas limosas)	Descarga (D1)
Terraza 3 (T3MTY: Gravas arenosas)	Sondeo (04I)
Fm. Méndez (Lutitas)	Límite de terraza
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Curvas de nivel @10 m
Límite municipal	Sección

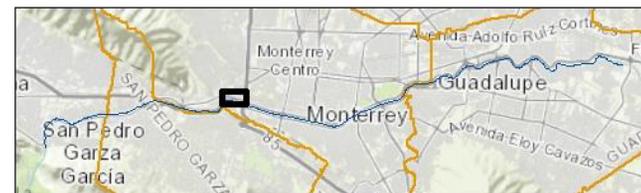
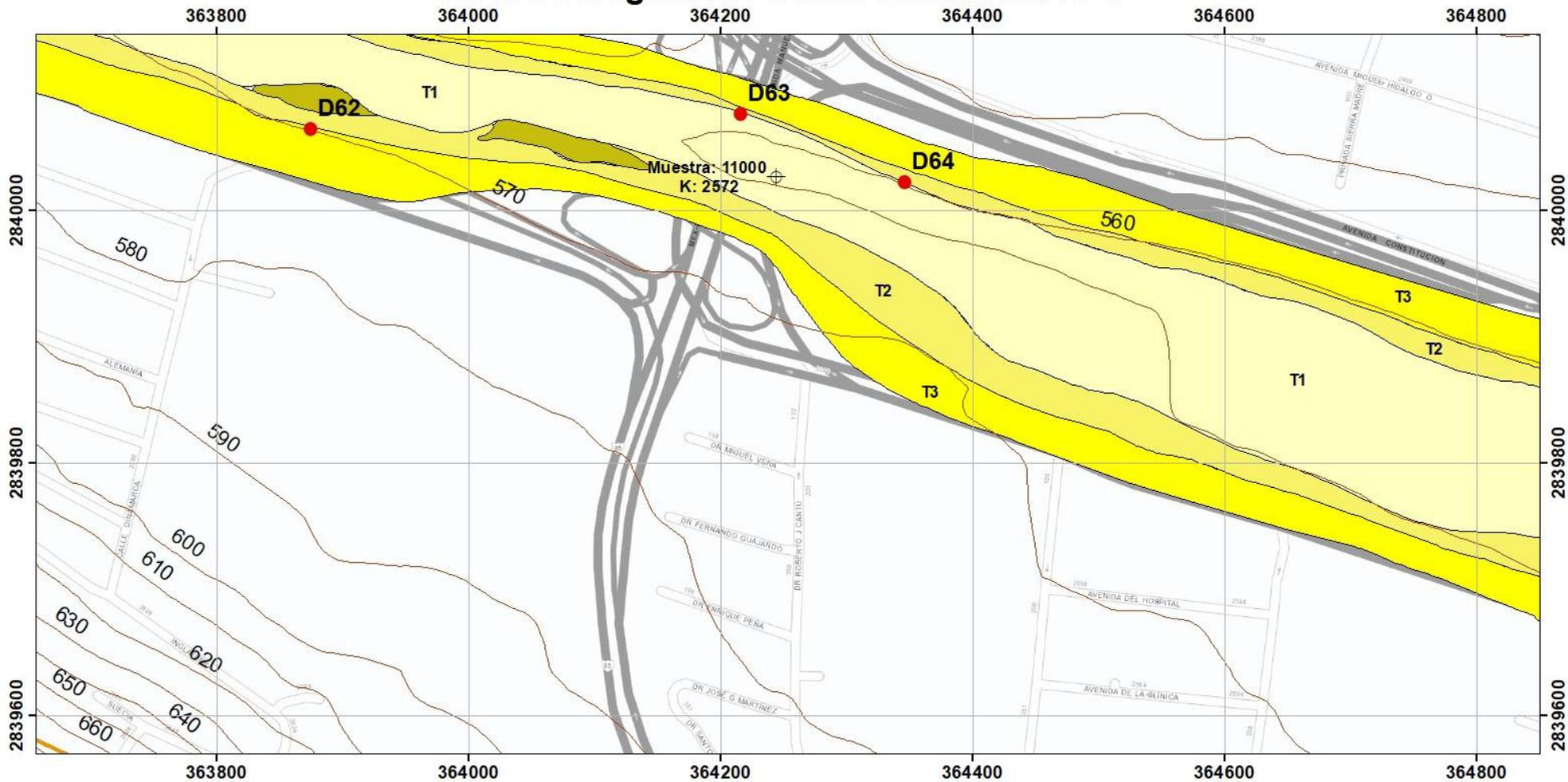


Figura 49. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY I

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY II



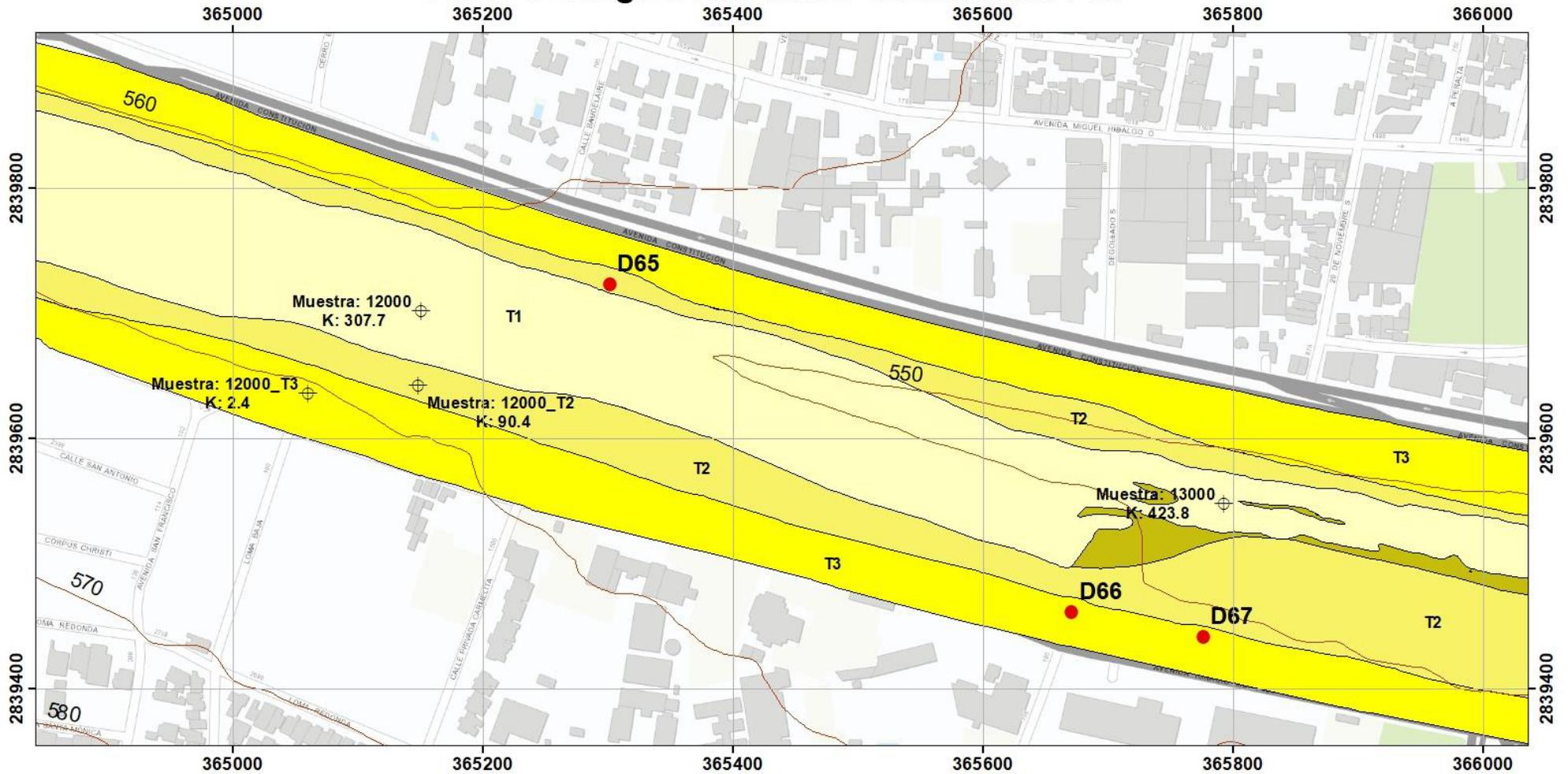
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1M TY: Gravos arenosas)
	Terraza 2 (T2M TY: Gravos arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3M TY: Gravos arenosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (04I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección



Figura 50. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY II

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY III



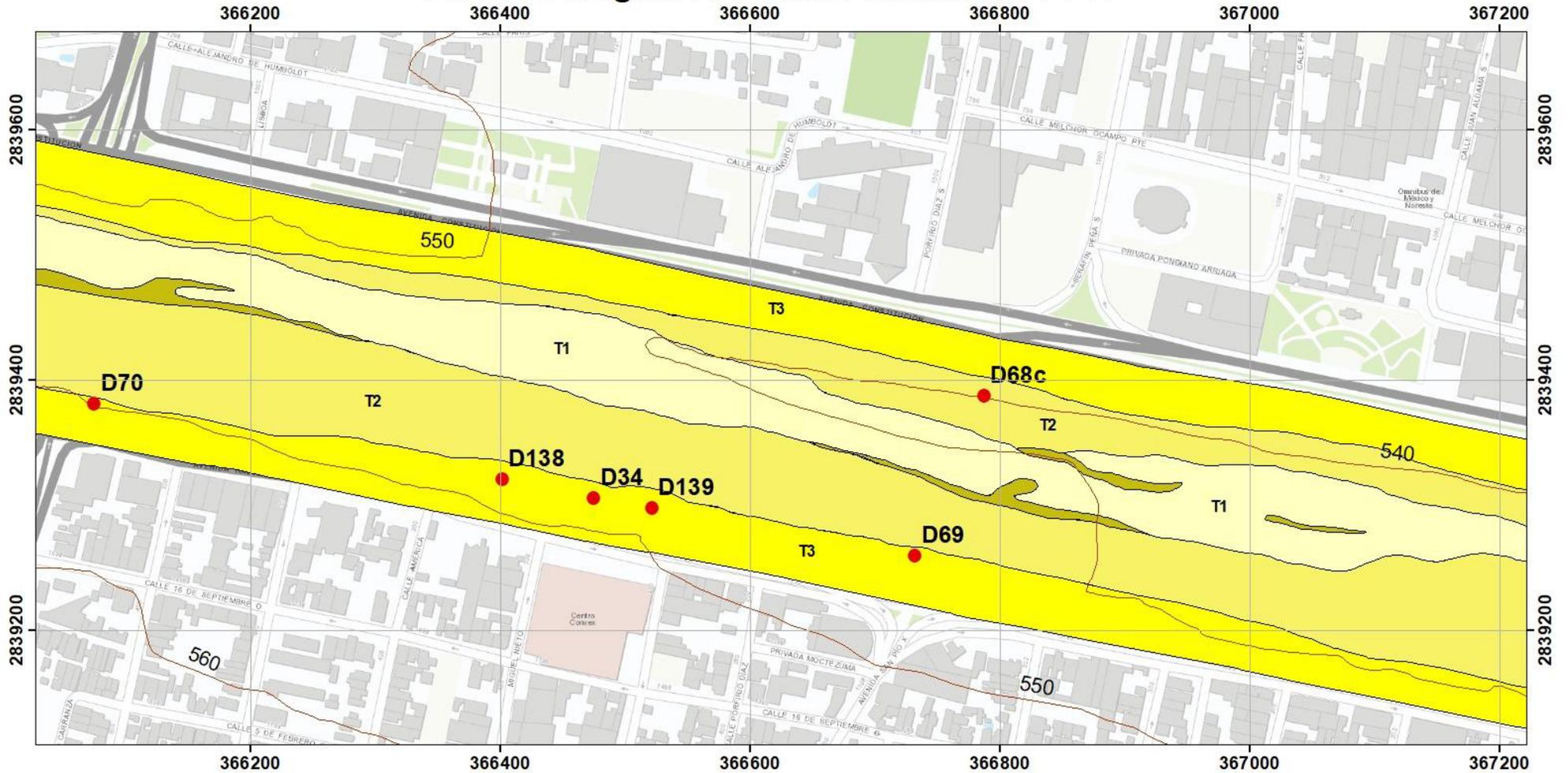
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología			
	Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)		Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas)		Descarga (D1)
	Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas)		Sondeo (O4I)
	Fm. Méndez (Lutitas)		Límite de terraza
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)		Curvas de nivel @10 m
	Límite municipal		Sección



Figura 51. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY III

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY IV



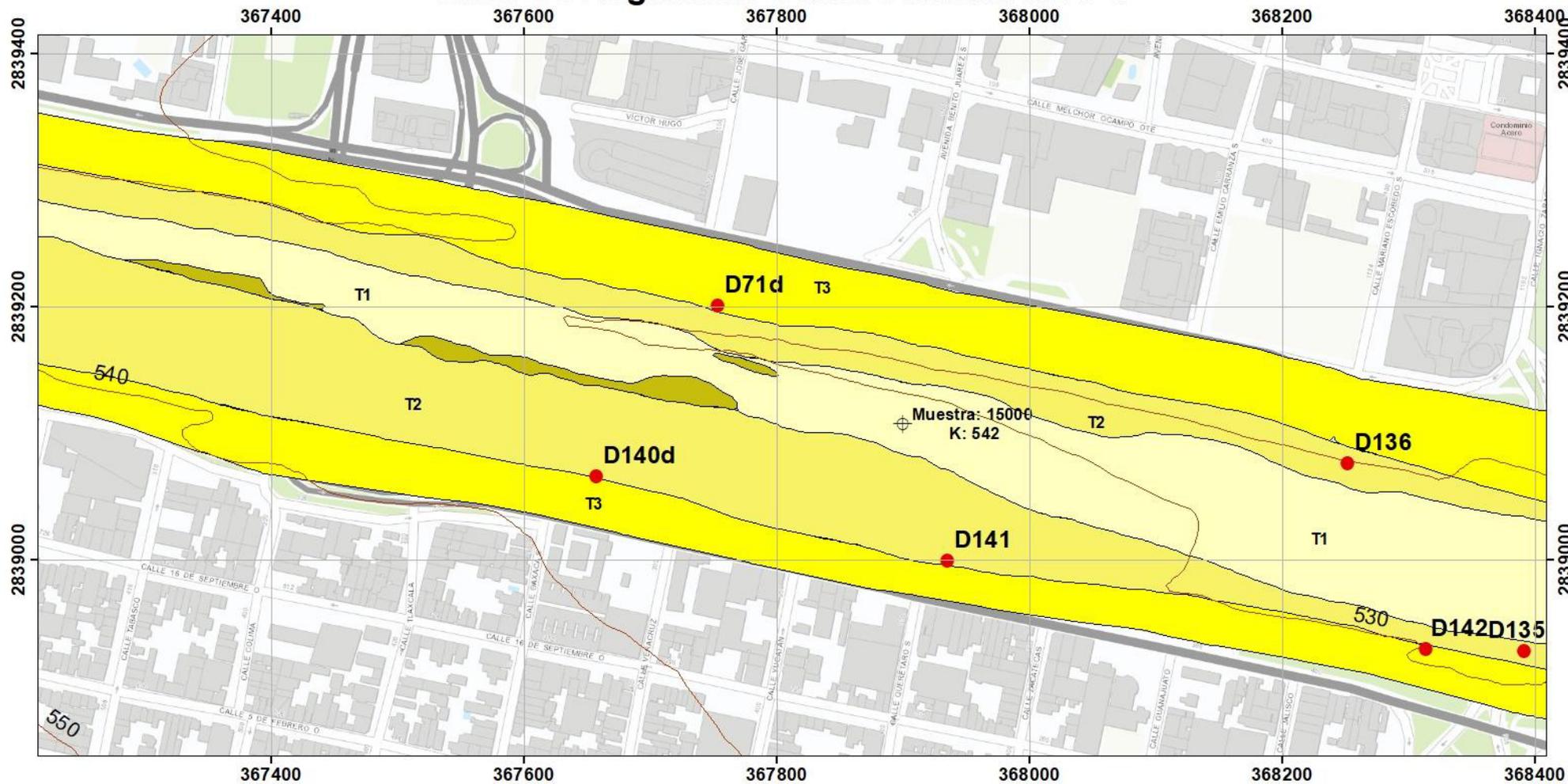
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)	Conductividad hidráulica, K (m/día)
Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas)	Descarga (D1)
Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas)	Sondeo (O4I)
Fm. Méndez (Lutitas)	Límite de terraza
Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	Curvas de nivel @10 m
Límite municipal	Sección



Figura 52. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY IV

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY V



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

- Simbología**
- Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)
 - Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas)
 - Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas)
 - Fm. Méndez (Lutitas)
 - Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
 - Límite municipal
 - Conductividad hidráulica, K (m/día)
 - Descarga (D1)
 - Sondeo (041)
 - Límite de terraza
 - Curvas de nivel @10 m
 - Sección

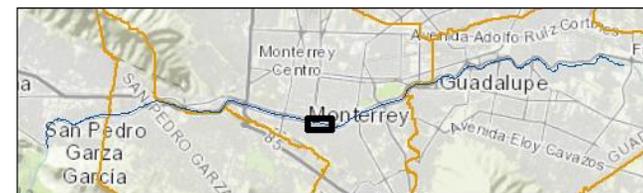
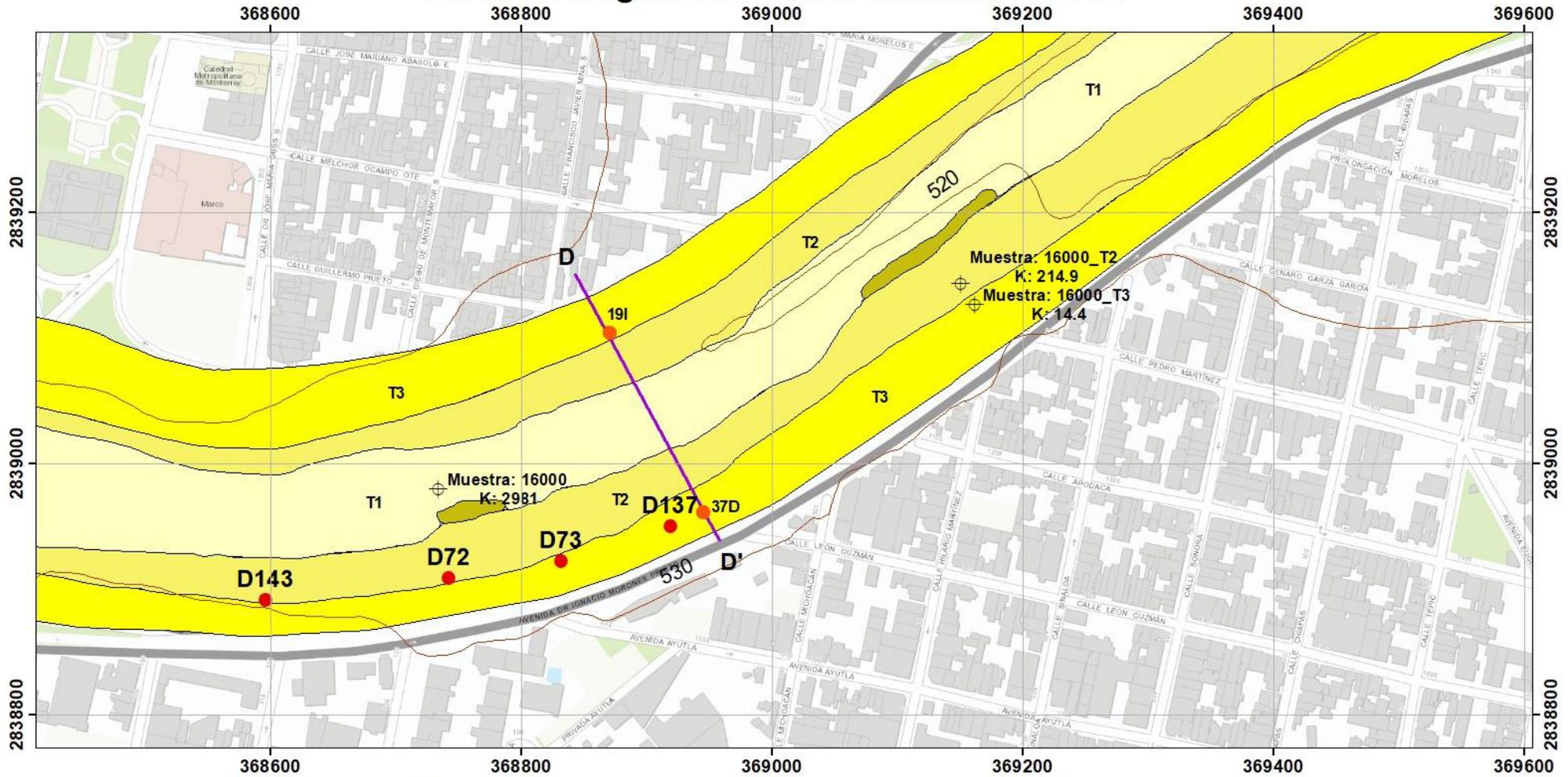


Figura 53. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY V

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VI



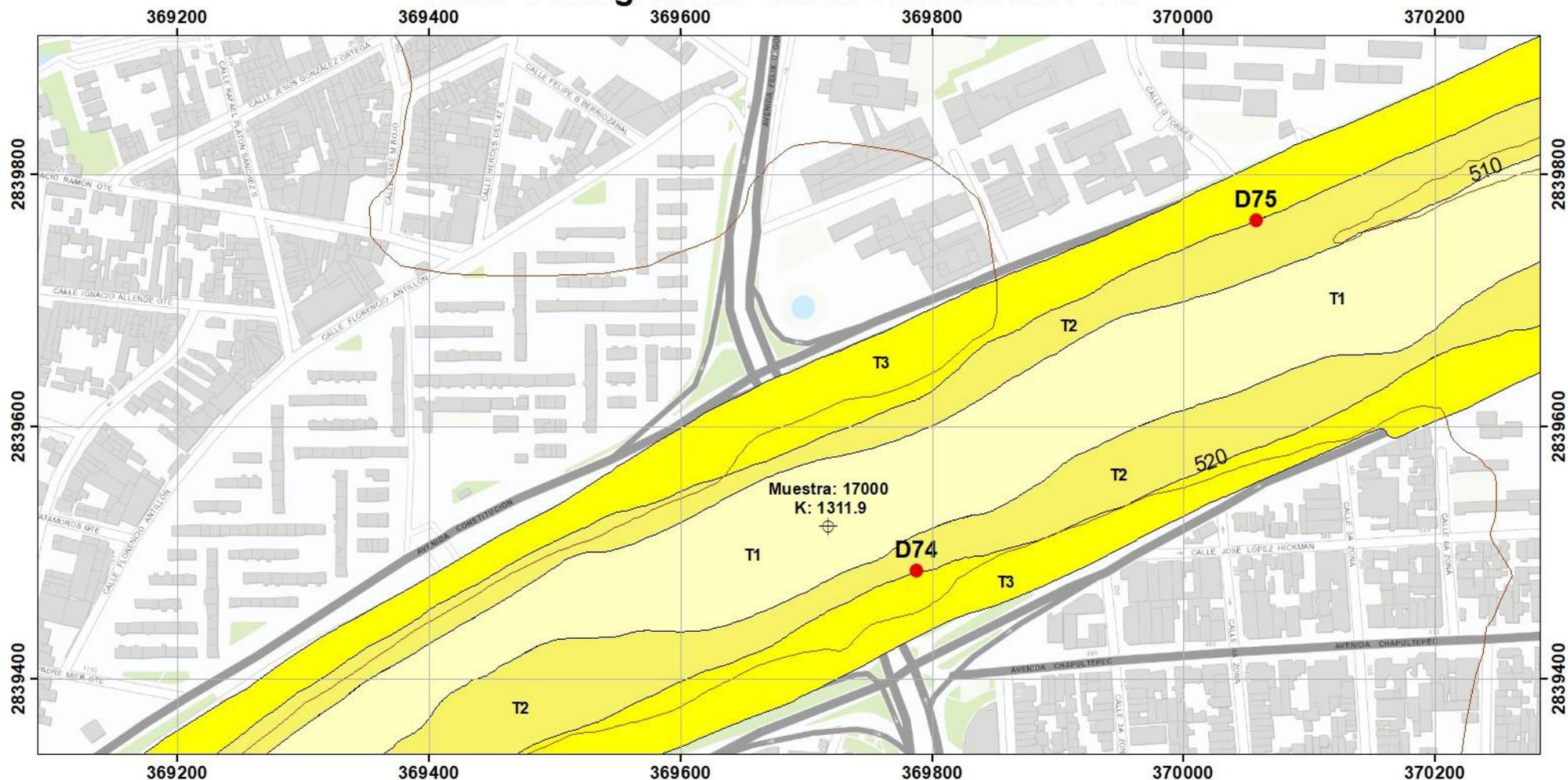
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (04I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección



Figura 54. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VII

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VII



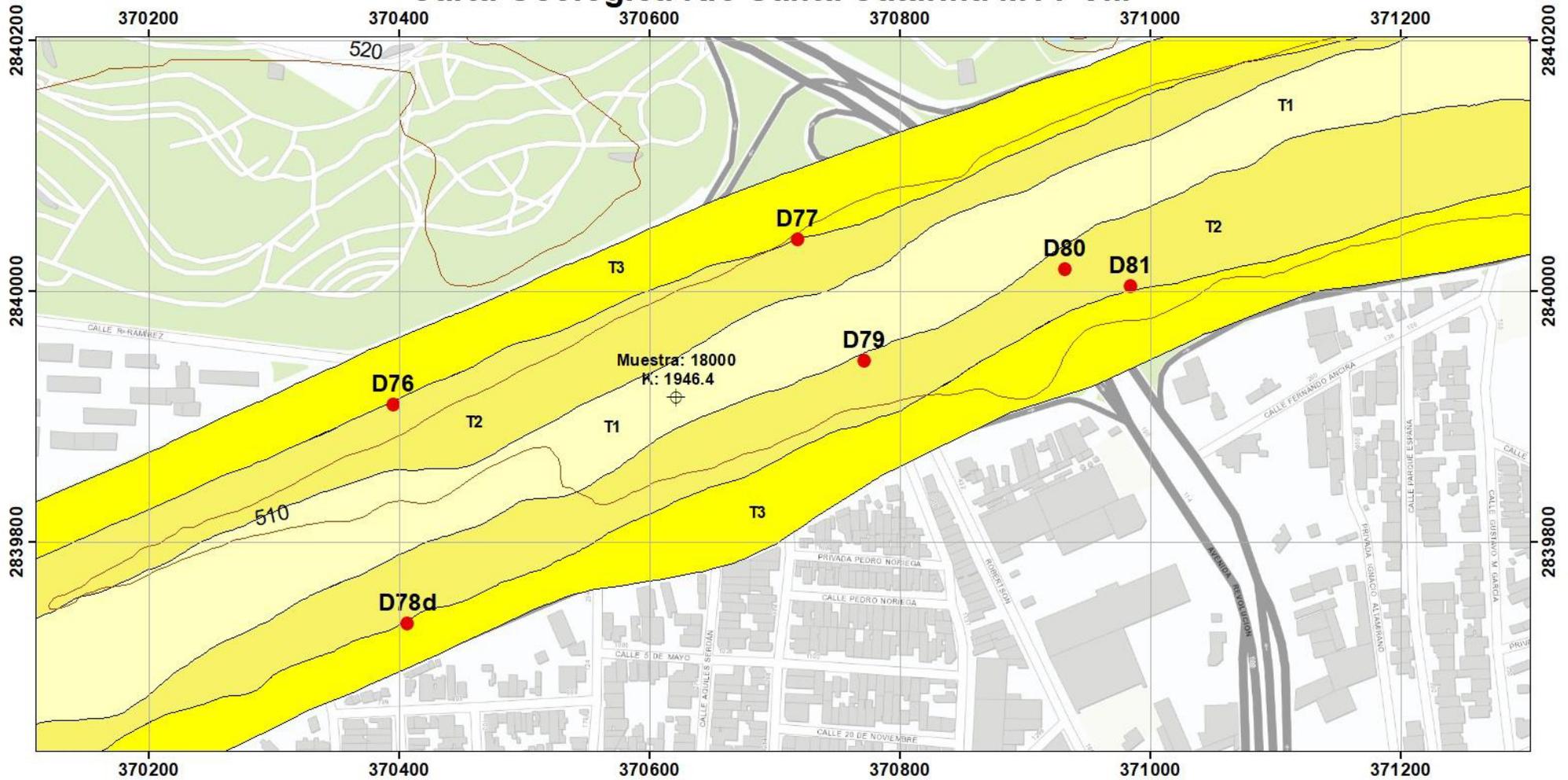
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
 Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)	 Conductividad hidráulica, K (m/día)
 Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas)	 Descarga (D1)
 Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas)	 Sondeo (04I)
 Fm. Méndez (Lutitas)	 Límite de terraza
 Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	 Curvas de nivel @10 m
 Límite municipal	 Sección



Figura 55. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VII

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VIII



0 50 100 200 300 m.

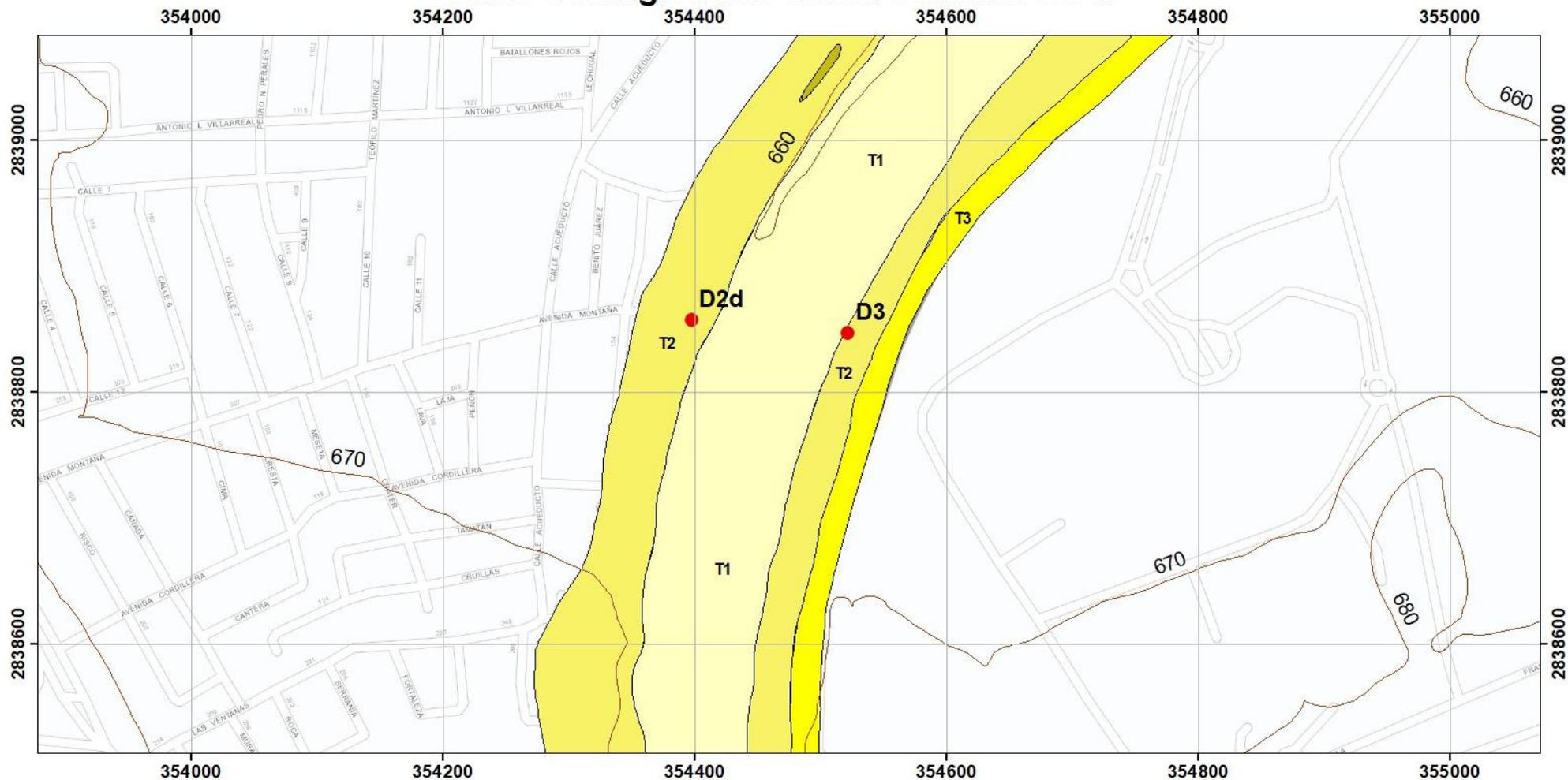
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

- | Simbología | | | |
|------------|---|--|-------------------------------------|
| | Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas) | | Conductividad hidráulica, K (m/día) |
| | Terraza 2 (T2M TY: Gravas arenosas limosas) | | Descarga (D1) |
| | Terraza 3 (T3M TY: Gravas arenosas) | | Sondeo (04I) |
| | Fm. Méndez (Lutitas) | | Límite de terraza |
| | Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas) | | Curvas de nivel @10 m |
| | Límite municipal | | Sección |



Figura 56. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY VIII

Carta Geológica Río Santa Catarina SC II



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1SC: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2SC: Gravas arenosas limosas)
	Terraza 3 (T3SC: Arenas limosas)
	Terraza 4 (T4SC: Gravas arenosas limosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (04I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección

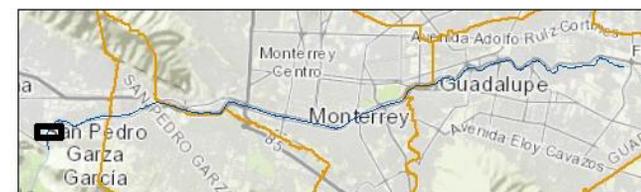


Figura 57. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE I

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE II

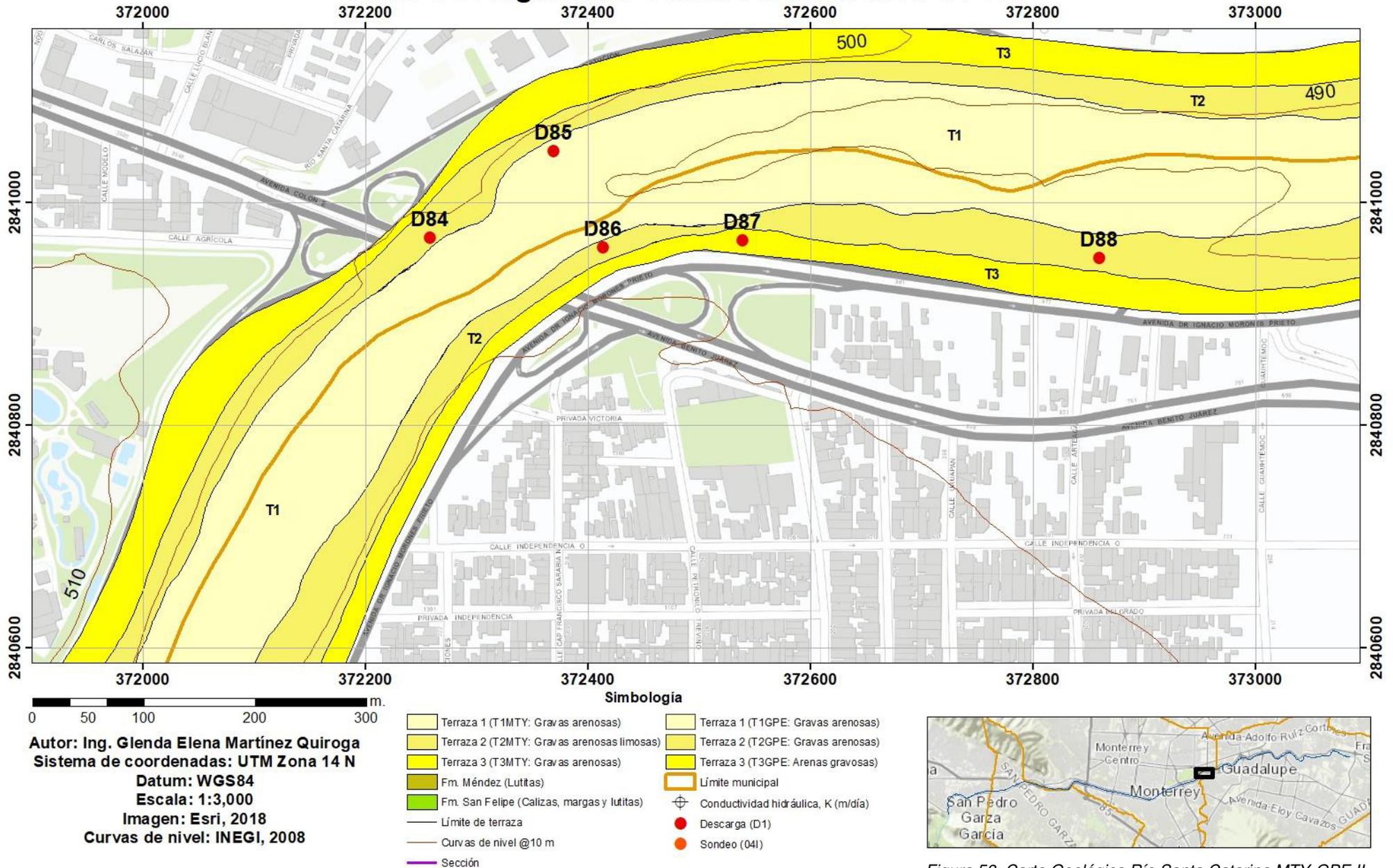
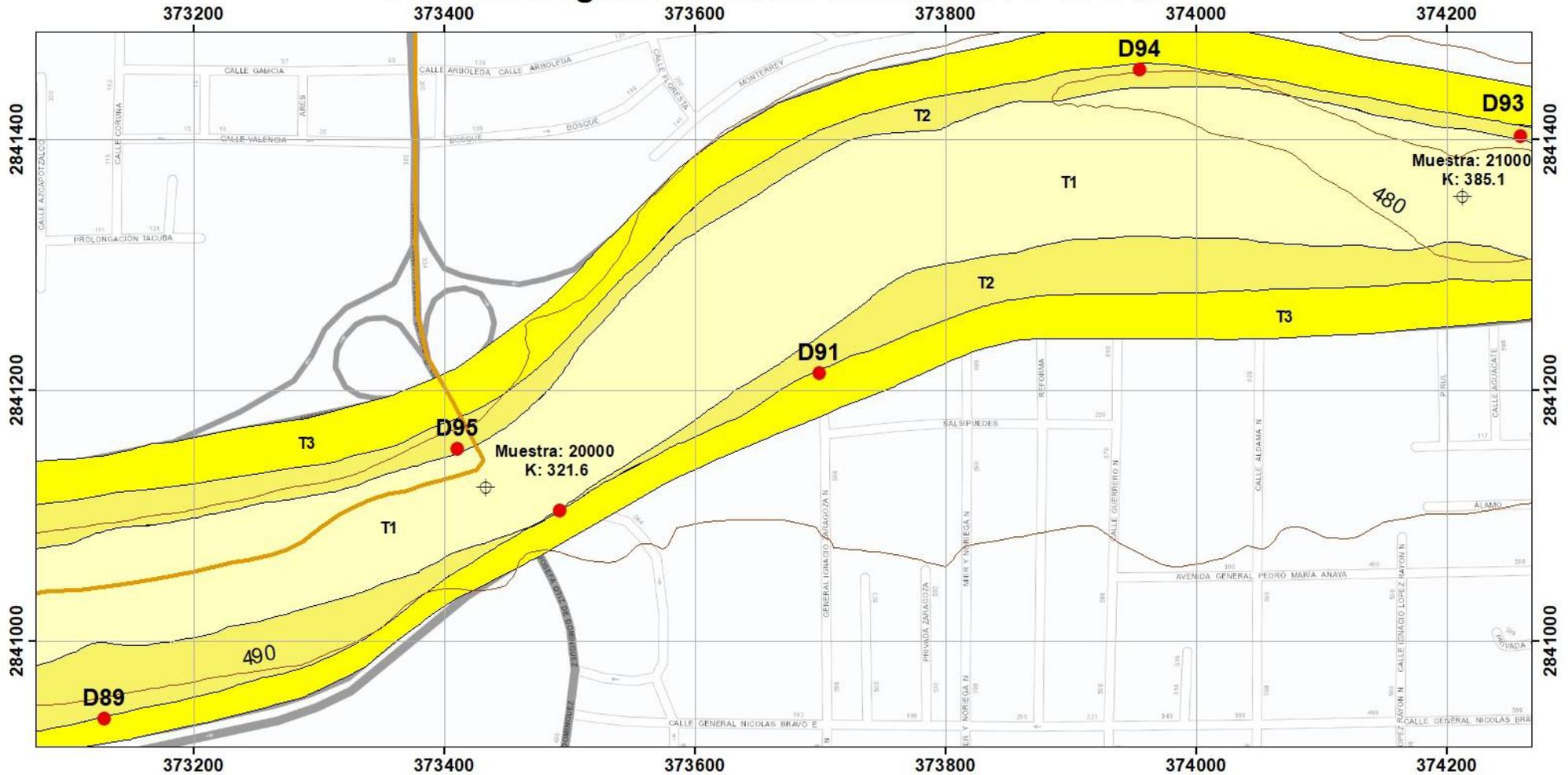


Figura 58. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE II

Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE III



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología

- | | |
|---|-------------------------------------|
| Terraza 1 (T1MTY: Grav as arenosas) | Terraza 1 (T1GPE: Grav as arenosas) |
| Terraza 2 (T2MTY: Grav as arenosas limosas) | Terraza 2 (T2GPE: Grav as arenosas) |
| Terraza 3 (T3MTY: Grav as arenosas) | Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas) |
| Fm. Méndez (Lutitas) | Límite municipal |
| Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas) | Conductividad hidráulica, K (m/día) |
| Límite de terraza | Descarga (D1) |
| Curvas de nivel @10 m | Sondeo (041) |
| Sección | |

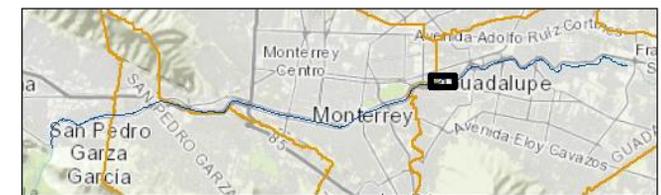


Figura 59. Carta Geológica Río Santa Catarina MTY-GPE III

4.2.1.4 Terrazas en Guadalupe (TGPE)

La **Terraza 1 Guadalupe (T1GPE)** se observa previamente representada de la Figura 57 a la Figura 59 y de la Figura 63 a la Figura 71. En la T1GPE se encuentran gravas arenosas; las gravas constan de tamaños pequeños a medianos principalmente, de redondeados a bien redondeados (Figura 60 a). En la zona del B148, esta terraza presenta gran influencia antropogénica debido a la enorme cantidad de residuos que invaden y forman parte de esta (Figura 60 b y Figura 105). Sobre esta terraza hay sitios que tienen contacto con la Formación Méndez.



Figura 60. a) Distribución general de la T1Gpe y, b) T1Gpe en zona del B148

La **Terraza 2 Guadalupe (T2GPE)** se observa de la Figura 57 a la Figura 59 y de la Figura 63 a la Figura 71. Esta terraza cuenta con variaciones a lo largo de esta zona; se encuentra reducida, cortada (ausente), alterada y cubierta en su mayoría por taludes y vegetación. De los puntos en los que se percibe expuesta, se obtuvo que su composición varía principalmente entre gravas arenosas con gravas pequeñas a medianas (Figura 61 a y b).

Cerca del sitio de B148, estas terrazas se encuentran cortadas y alteradas por material fino de construcción en la zona, además de invadidas y cubiertas por grandes espesores de residuos sólidos urbanos (ver Figura 104).



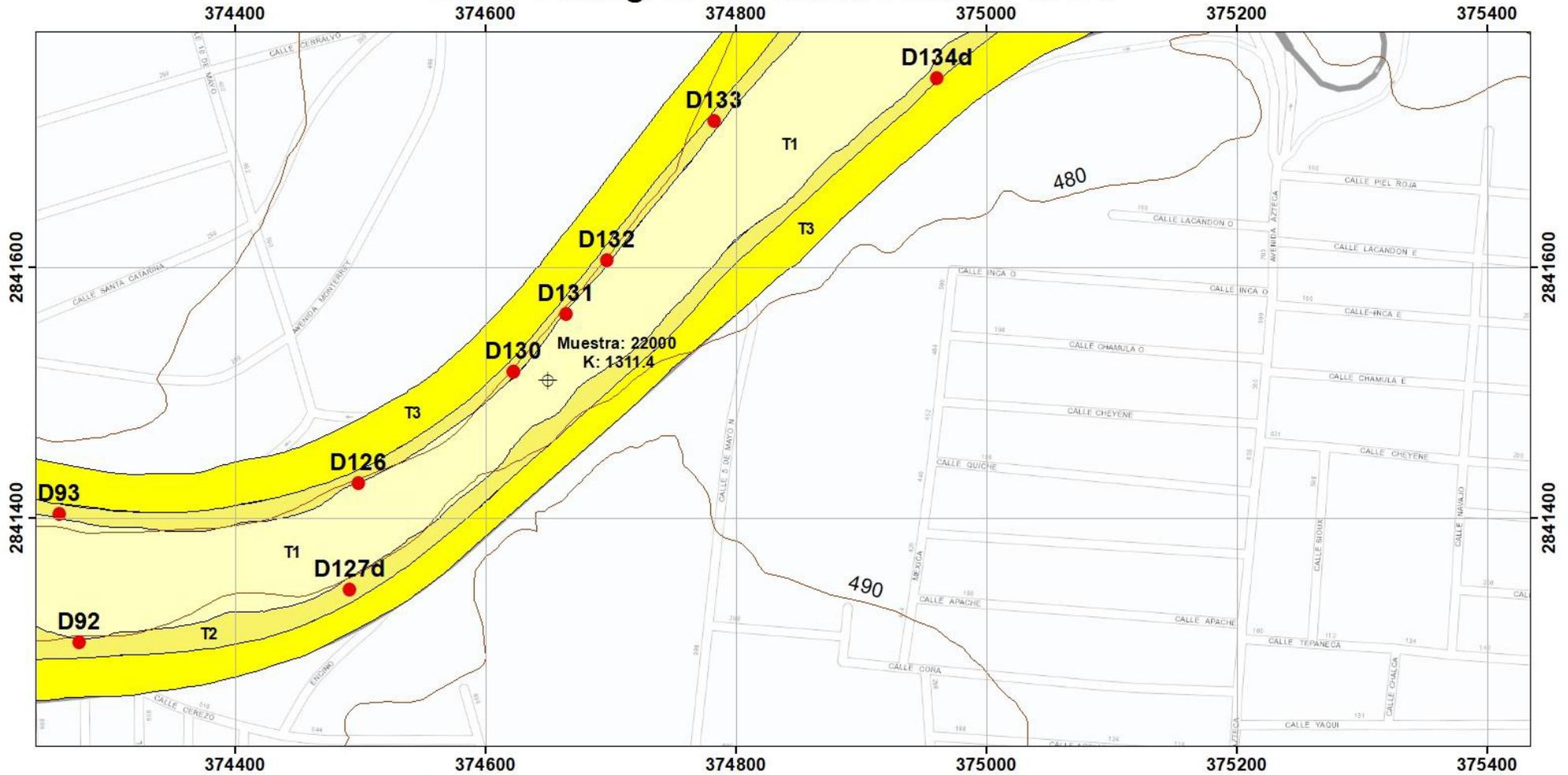
Figura 61. a) Gravas arenosas de la T2Gpe expuesta, y b) T2Gpe expuesta en sitio de la D134.

La **Terraza 3 Guadalupe (T3GPE)** se observa representada de la Figura 57 a la Figura 59 y de la Figura 63 a la Figura 71. Esta se encuentra principalmente cubierta por la avenida Dr. Ignacio Morones Prieto y la carretera libre Monterrey-Reynosa; En las escasas zonas en las que esta aflora (por un costado de la avenida o carretera) se compone de material arenoso y gravoso con espesores de alrededor de un metro aproximadamente. Su distribución y composición se encuentran alterados antropogénicamente en ciertos puntos con contenido de material fino de construcción y gran contenido, e incluso grandes espesores de residuos sólidos urbanos (Figura 62 a, b y ver capítulo 5.2.1 y Figura 104).



Figura 62. a) Composición general de la T2Gpe, y b) Alteración en la T3Gpe

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE I



Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
 Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)	 Conductividad hidráulica, K (m/día)
 Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas)	 Descarga (D1)
 Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas)	 Sondeo (04I)
 Fm. Méndez (Lutitas)	 Límite de terraza
 Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)	 Curvas de nivel @10 m
 Límite municipal	 Sección



Figura 63. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE I

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE II

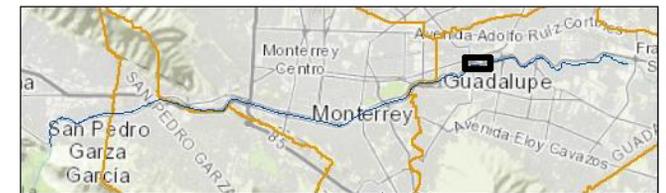
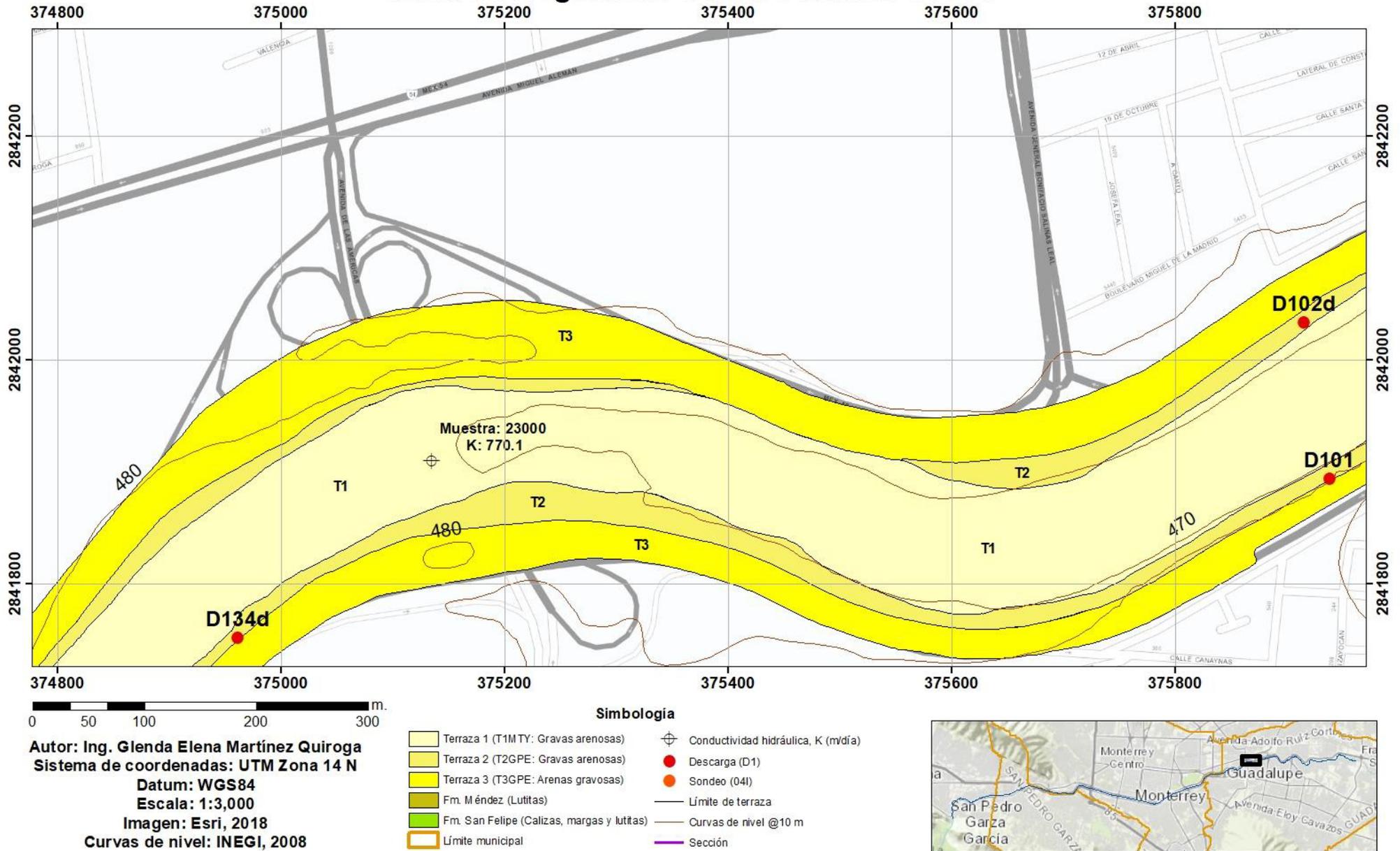
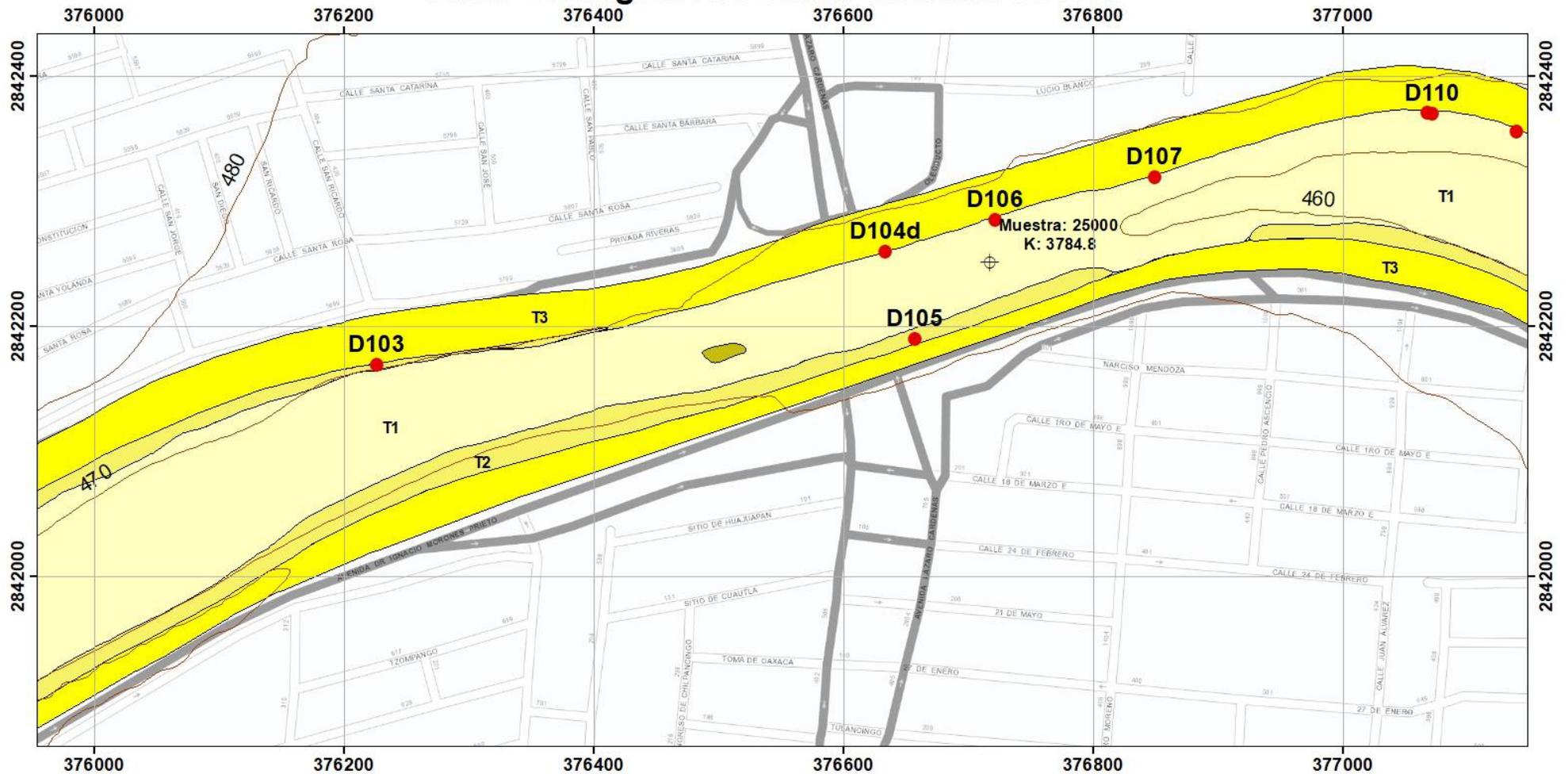


Figura 64. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE III



0 50 100 200 300 m.

Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

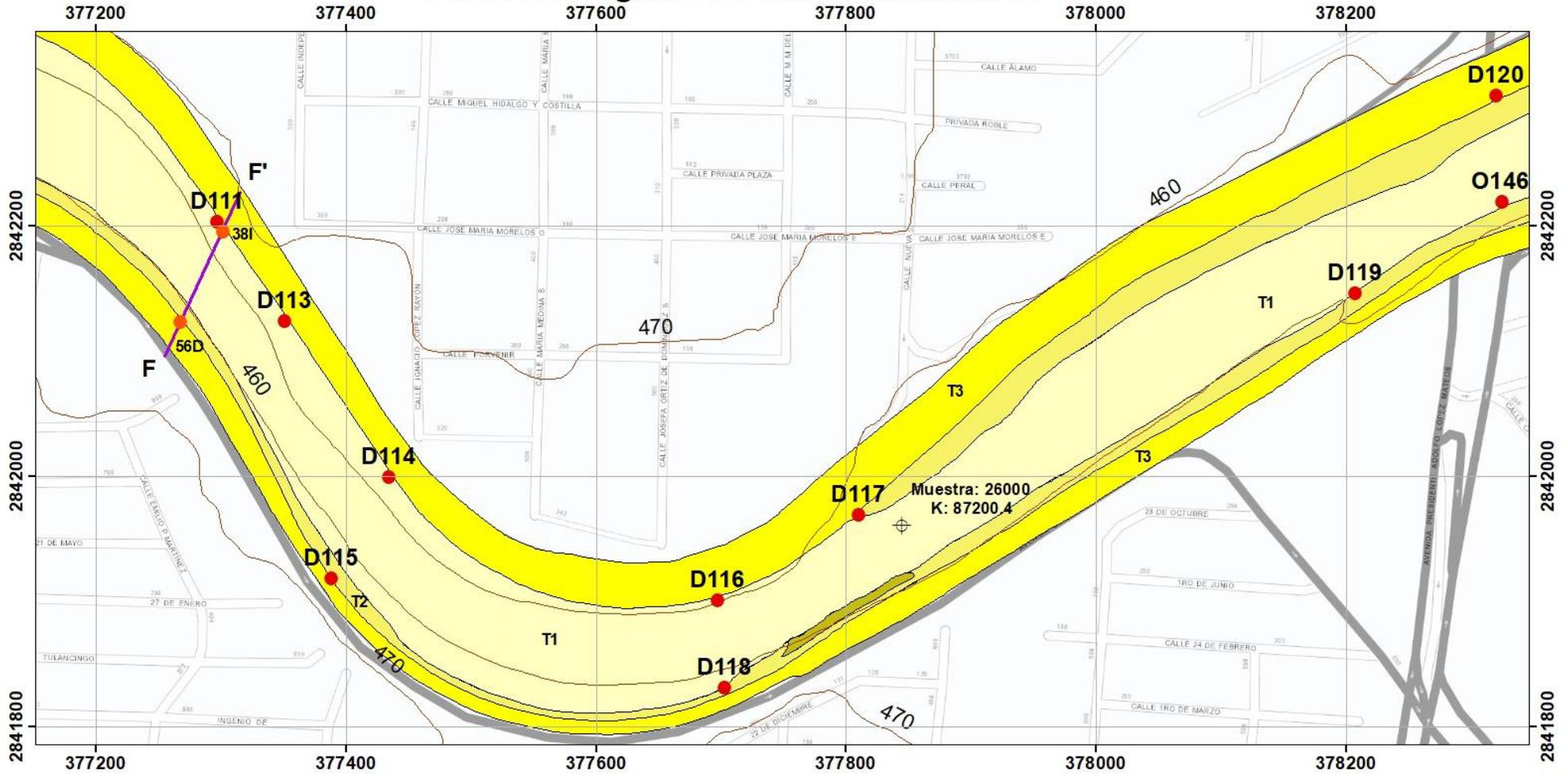
Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas) | Conductividad hidráulica, K (m/día) |
| Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas) | Descarga (D1) |
| Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas) | Sondeo (04I) |
| Fm. Méndez (Lutitas) | Límite de terraza |
| Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas) | Curvas de nivel @10 m |
| Límite municipal | Sección |



Figura 65. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE II

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE IV



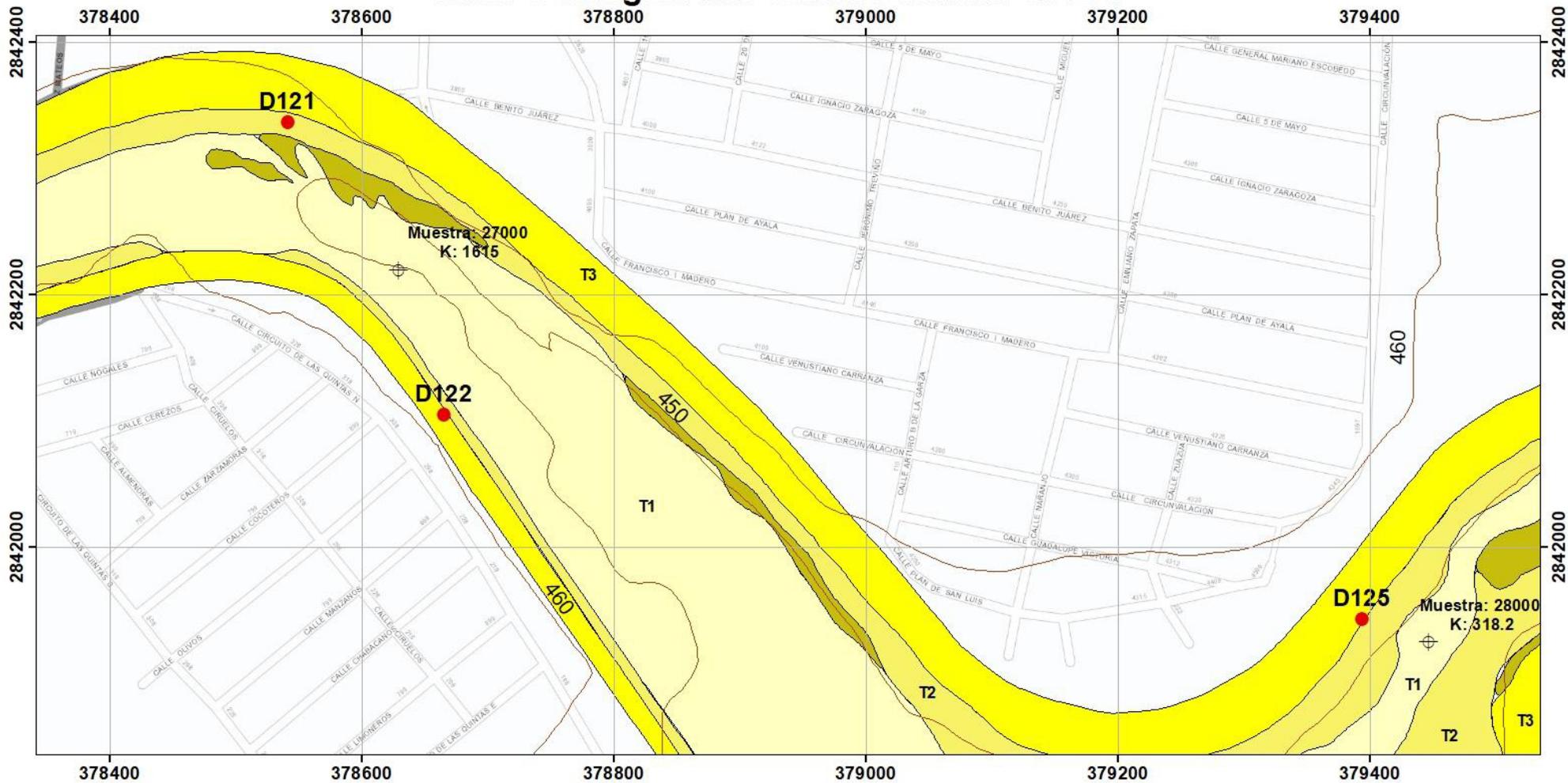
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 Datum: WGS84
 Escala: 1:3,000
 Imagen: Esri, 2018
 Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas)
	Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m ² /día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (O4I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección



Figura 66. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE IV

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE V



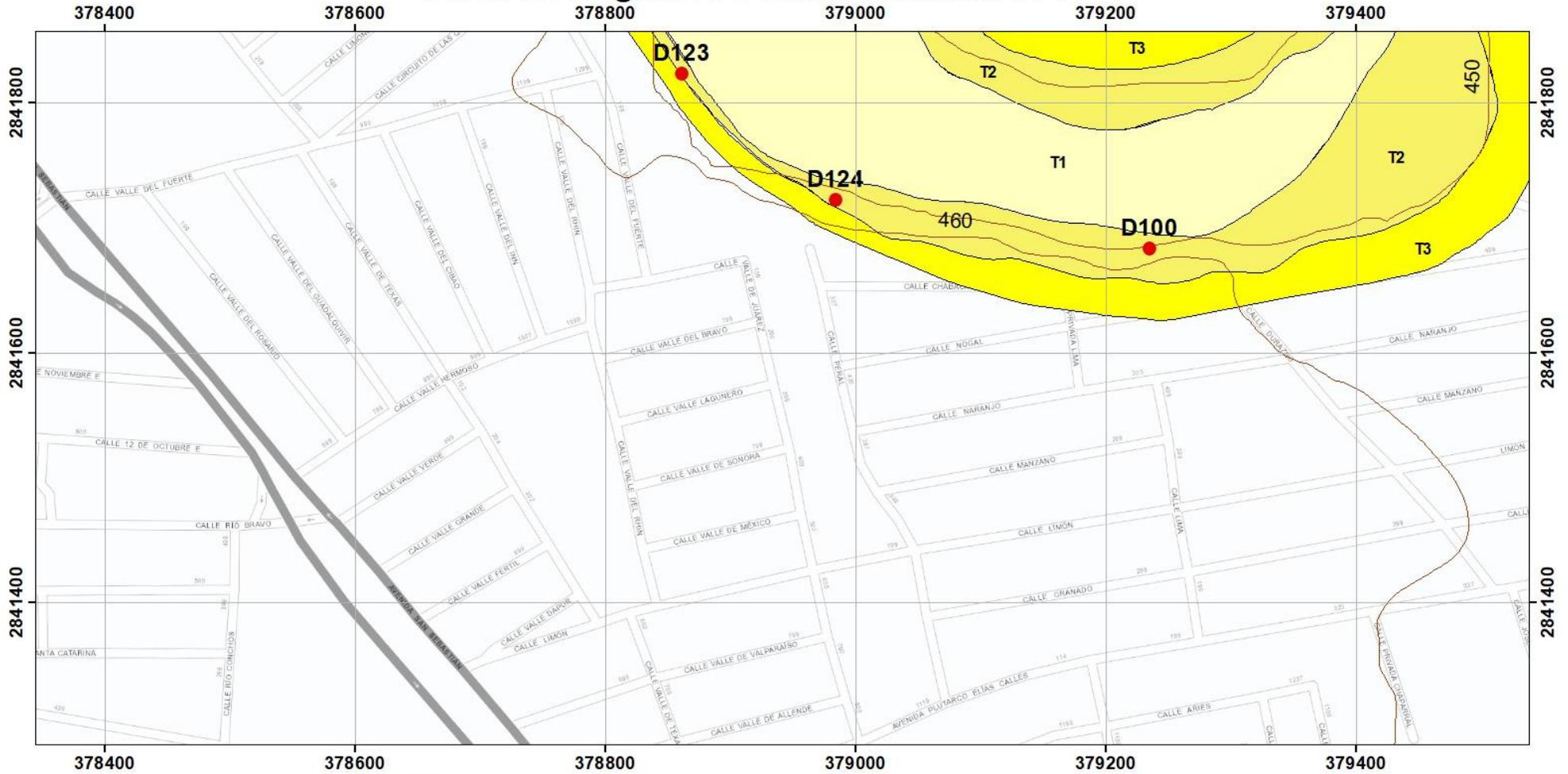
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1MTY: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas)
	Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m/día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (041)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección



Figura 67. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE V

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VI



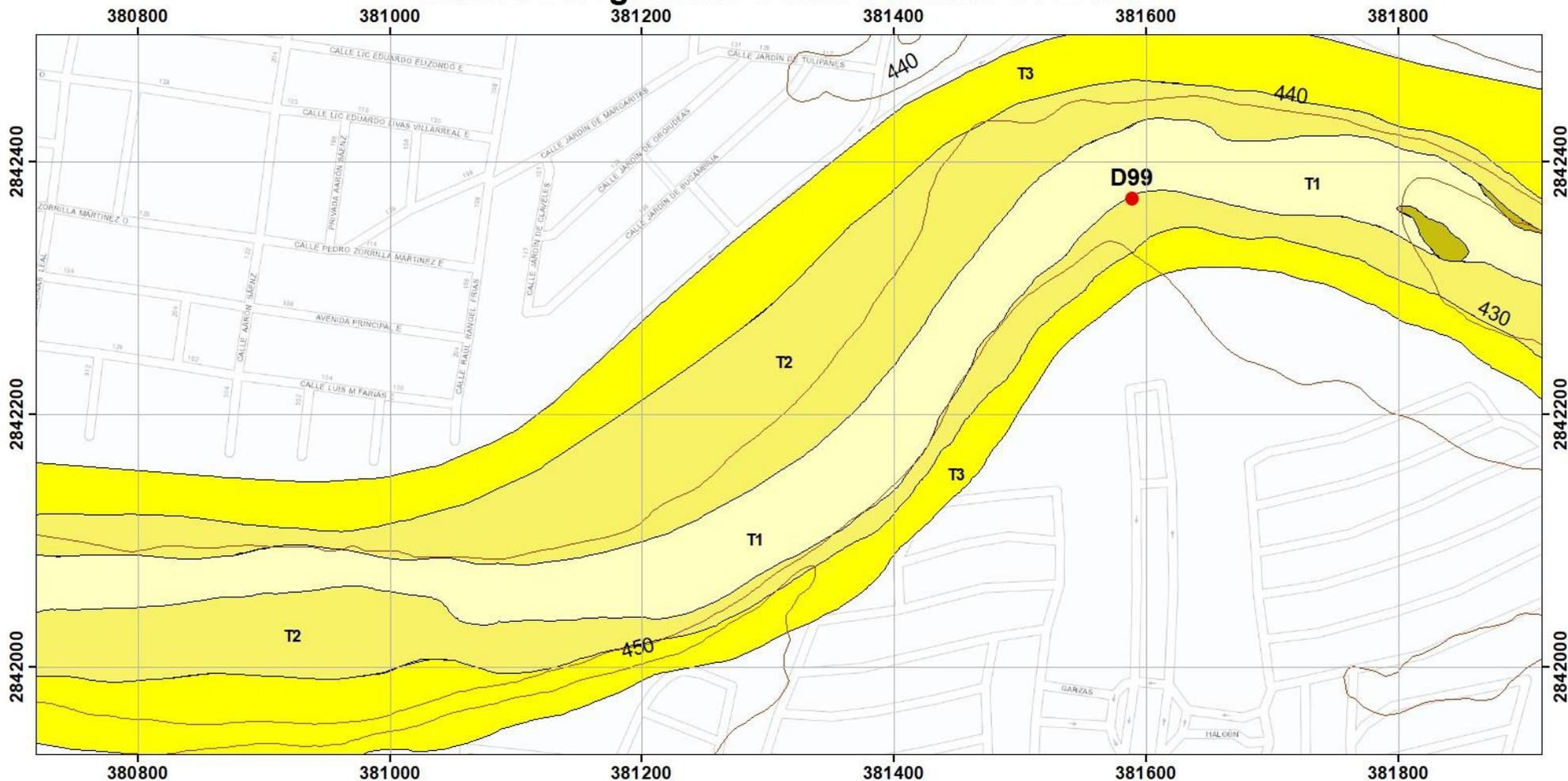
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología	
	Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas)
	Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas)
	Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas)
	Fm. Méndez (Lutitas)
	Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas)
	Límite municipal
	Conductividad hidráulica, K (m ² /día)
	Descarga (D1)
	Sondeo (04I)
	Límite de terraza
	Curvas de nivel @10 m
	Sección



Figura 68. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VI

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VIII



0 50 100 200 300 m.

Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
Datum: WGS84
Escala: 1:3,000
Imagen: Esri, 2018
Curvas de nivel: INEGI, 2008

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Terraza 1 (T1M TY: Gravas arenosas) | Conductividad hidráulica, K (m/día) |
| Terraza 2 (T2GPE: Gravas arenosas) | Descarga (D1) |
| Terraza 3 (T3GPE: Arenas gravosas) | Sondeo (04I) |
| Fm. Méndez (Lutitas) | Límite de terraza |
| Fm. San Felipe (Calizas, margas y lutitas) | Curvas de nivel @10 m |
| Límite municipal | Sección |

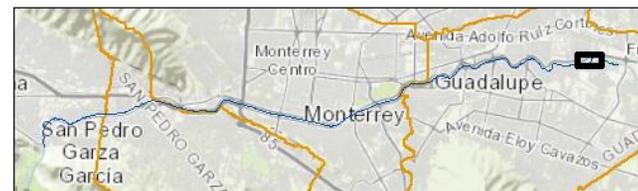


Figura 70. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VIII

Carta Geológica Río Santa Catarina GPE IX

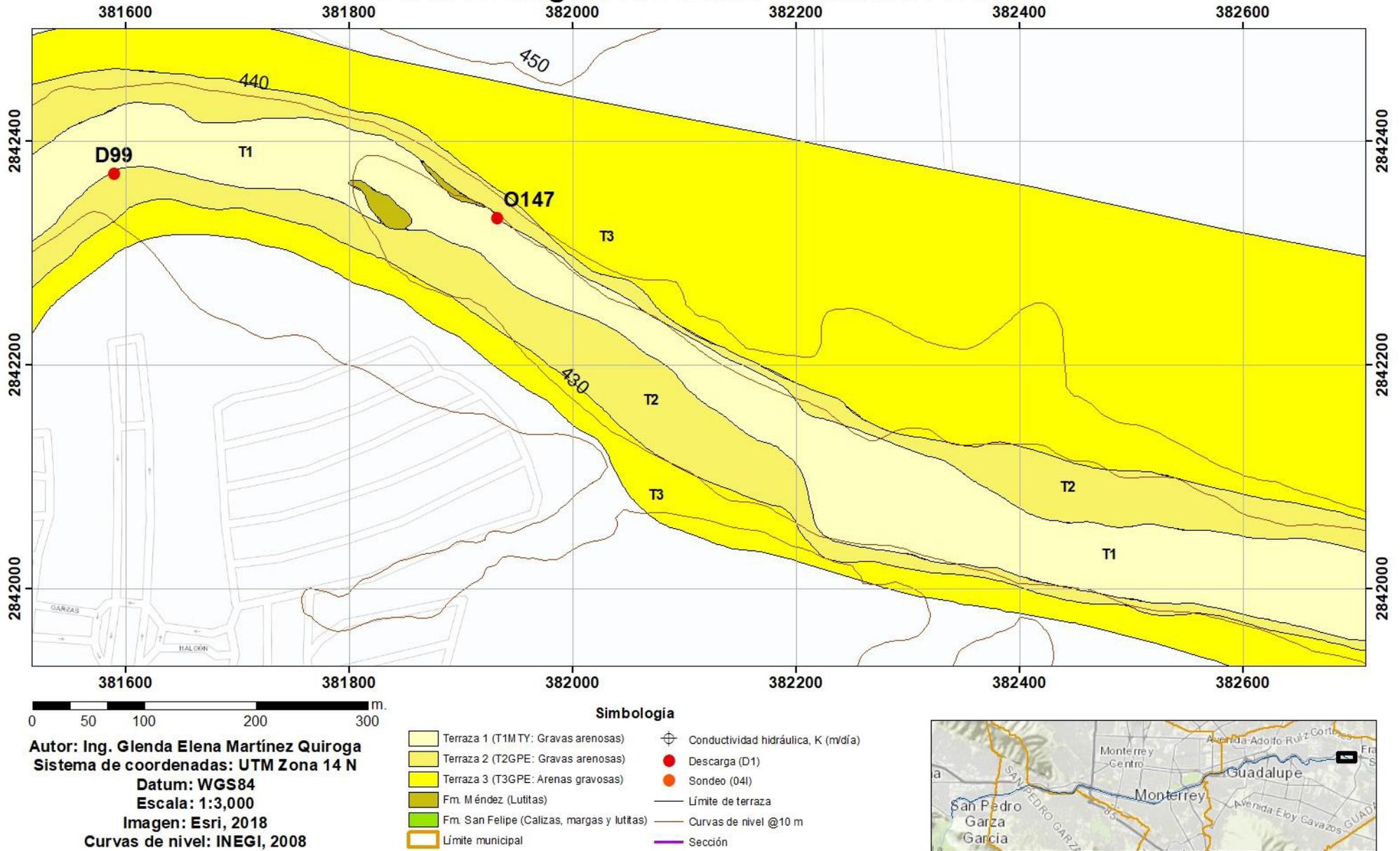


Figura 71. Carta Geológica Río Santa Catarina GPE VII

4.2.2 Geología del Cretácico

4.2.2.1 Formación San Felipe

La Formación San Felipe se encuentra representada en la Figura 72 aflorando en la zona de Monterrey a 200 m aprox. del patronato de bomberos de Nuevo León estación 5.

Sobre el lecho del río se encuentra expuesta por el margen derecho con estratos de hasta 25 cm de calizas color gris con intercalación de lutitas café claro (Figura 72 a), mismas que continúan aflorando a un costado de la avenida Dr. Ignacio Morones Prieto (Figura 72 b).



Figura 72. a) Calizas y lutitas de la Fm. San Felipe. b) Calizas de la Fm. San Felipe aflorando sobre lecho del río.

4.2.2.2 Formación Méndez (Fm. Méndez)

La Formación Méndez se observa representada en los mapas geológicos representados en las Figuras 31, 39, del 48 al 52 y del 63 al 69 a nivel general, por lutitas color marrón claro- verdoso y gris con estratificación laminar y un alto grado de fracturamiento, caracterizado por formar las “estructuras de lápiz” o “almendrillas”; en contacto discordante sobre la Formación, se encuentran unidades sedimentarias aluviales Cuaternarias de las Terrazas de la 1 a la 4.

La Formación se encuentra aflorando a lo largo de los cuatro municipios de Santa Catarina, San Pedro Garza García, Monterrey y Guadalupe, variando su distribución de la siguiente forma:

En el municipio de Santa Catarina por el margen izquierdo del río, a un costado del instituto Sierra Madre, y en contacto con la T2SC, esta Formación se encuentra aflorando con lutitas color café claro a gris, fracturadas y evidenciadas por su característica “estructuras de lápiz” (Figura 73).



Figura 73. Formación Méndez aflorando en contacto con la T2SC.

Esta presenta una mayor exposición a un kilómetro y medio aproximadamente, por la margen derecho en el río, con lutitas café claro a gris oscuro (Figura 74 a) en contacto con la T1SC, T2SC (ya que la 2 se encuentra en parte cortada), y T3SC; y continúa aflorando en contacto con la T4SC a un costado de la avenida Dr. Ignacio Morones Prieto, con lutitas café claro en estado mayormente intemperizado y con espesores de hasta 4 m aproximadamente (Figura 74 b).



Figura 74. a) Lutitas de la Fm. con la T4SP y b) Lutitas intemperizadas de la Fm. Méndez en contacto Méndez en Santa Catarina.

En la zona de San Pedro Garza García, a 300 m aproximadamente antes de la calle José Mariano Jiménez por el margen derecho, esta Formación se encuentra expuesta con fino material de lutitas café claro a beige en estado intemperizado

sobre la T1SP y T2SP (Figura 75 a), volviendo a presentarse en este estado a 400 m aproximadamente de este punto por el margen izquierdo en contacto con la T2SP (Figura 75 b).

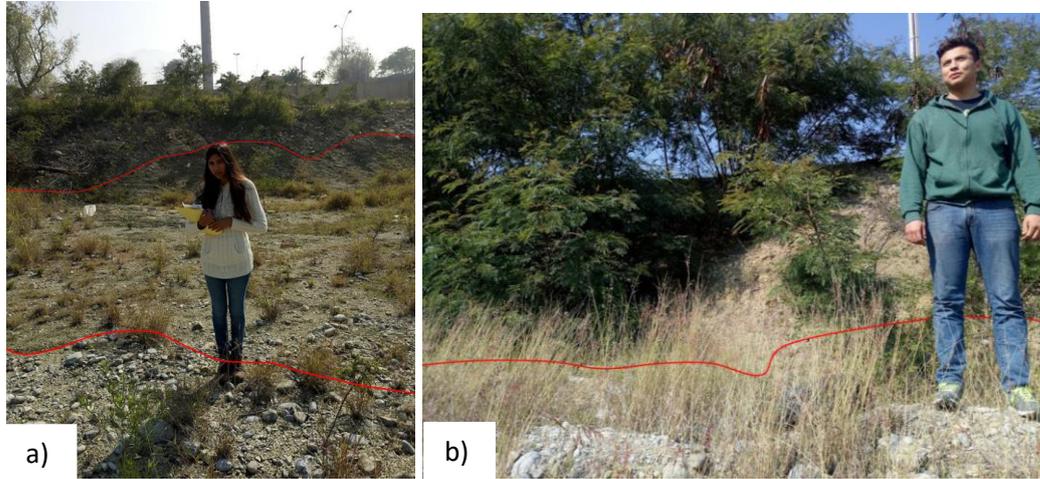


Figura 75. a) Fm. Méndez en estado intemperizado en San Pedro Garza García, y b) segundo afloramiento de la Fm. Méndez en San Pedro Garza García.

En la zona de Monterrey, esta Formación aflora en 6 puntos, referenciándolos por el cruce de las avenidas Gonzalitos (350 m aprox. antes de esta), Venustiano Carranza Sur (aprox. 350 m antes de esta, a 250 m después), frente al teatro Monterrey (por el margen derecho y a 150 m por el margen izquierdo), avenida Cuauhtémoc (a 200 m antes y hasta 200 m después aproximadamente), frente al IMSS subdelegación número 4 (margen derecho) y bajo la avenida Pedro Martínez por el margen derecho (hasta 100 después aprox.)

En la zona de Gonzalitos, esta Formación se encuentra en contacto con la T1Mty y T2Mty (Figura 76 a), en la zona Venustiano Carranza, se encuentra material de lutitas expuesto debajo de la T2Mty (Figura 76 b) y en contacto con la T1Mty.

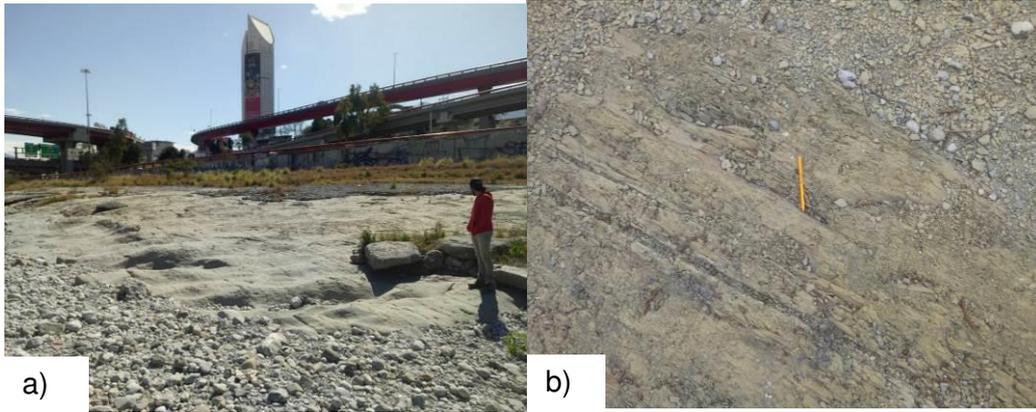


Figura 76. a) Fm. Méndez a 150 m. aprox. Antes con sedimento de la T2Mty. y, b) Lutitas de la Fm. Méndez en contacto de la av. Gonzalitos

En las zonas del teatro de Monterrey, Av. Cuauhtémoc, frente al hospital IMSS (sector 4) y Av. Pedro Martínez, esta se encuentra en estado mayormente intemperizado con contenido de caliche, en contacto con las T1Mty y T2Mty (Figura 77 a-d).



Figura 77. Fm. Méndez en estado intemperizado con caliche en sitios: a) Teatro Monterrey, b) Cuauhtémoc, c) Hospital IMSS sector 4 y d) av. Pedro Martínez.

En la zona de Guadalupe, se cuenta con 3 sitios principales en los que aflora esta Formación referenciados como: el primer sitio se muestra en la Figura 78 (500 m antes de la av. Lázaro Cárdenas y av. Adolfo López Mateos), el segundo cerca de la descarga B148 (Figura 79) y, el tercero cerca de la gasolinera PEMEX (Figura 80). En estos sitios, se encuentran lutitas de esta Formación color gris a café claro, en estado tanto intemperizado como no intemperizado.



Figura 78. Lutitas de la Fm. Méndez en estado intemperizado en contacto con la T1Gpe.



Figura 79. Lutitas de la Fm. Mendez en contacto con la T1Gpe



Figura 80. Lutitas de la Fm. Méndez en contacto con la T1Gpe.

4.3. Perfiles Geológicos

Se realizó una selección de 6 sitios para la elaboración de los siguientes perfiles geológicos con base a la selección de la base de datos de sondeos exploratorios:

4.3.1 Perfil Santa Catarina

La Figura 81 y Figura 82 muestran al perfil A-A' alcanza una profundidad de 3.5 y 11 m por la margen izquierdo sobre la T2SC (04I) y por la margen derecho sobre la T4SC cortada (04D) respectivamente.

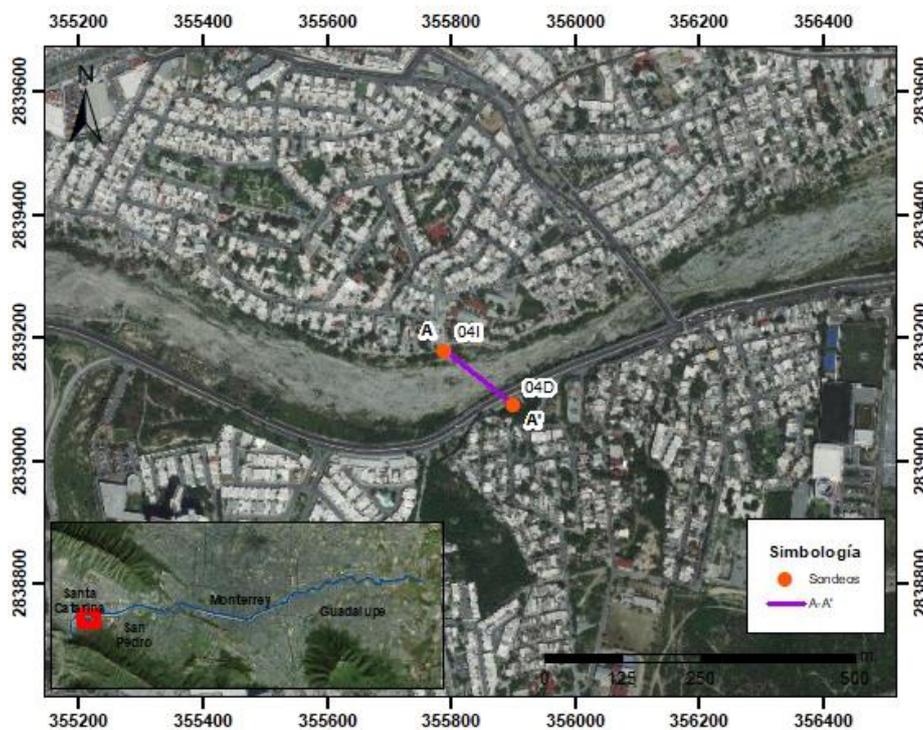


Figura 81. Puntos de ubicación del perfil Santa Catarina I, escala 1:10,00 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por la margen izquierdo se encuentra con un espesor de 1.5 m de arcilla limosa, arenosa y gravosa, seguido de grava arcillosa, limosa hasta alcanzar la profundidad total de 3.4 m. Es considerada la T2 a pesar de la posición a la par con la T3 de lado derecho, debido a que en campo se es identificada de esta forma, por lo que se presume que la T3 se encuentra cubriendo parte de la T2, de modo de que no son distinguibles una de otra.

Por la margen derecha está formado por arcilla arenosa y gravosa (3 m), seguido de grava arcillosa limosa (1 m), para encontrar las lutitas de la Formación Méndez en estado intemperizado y fracturado a 4 m con un espesor de 2 m y las lutitas en estado no intemperizado de esta misma formación a 6 m con un espesor de 5 m hasta llegar a los 11 m totales.

Cabe señalar que, considerando espesores del sondeo exploratorio por la margen derecha, se presume que las lutitas de la Formación Méndez en estado intemperizado por el margen izquierdo se encuentran a los 4 m aproximadamente. En la superficie, en campo se distinguen arenas limosas gravosas constituyendo la T2SC por el margen derecho, gravas arenosas arcillosas sobre la T1SC y gravas arenosas en la T2SC, aunque encontrándose mayormente cortada, y en contacto con ella, lutitas gris claro a café claro con espesores de alrededor de 1.8 m de la Formación Méndez.

Perfil Geológico Santa Catarina



Figura 82. Perfil Geológico A-A' Santa Catarina I

4.3.2 Perfil San Pedro Garza García I

En la Figura 83 y Figura 84, se muestra la ubicación y el perfil de San Pedro Garza García I, el cual alcanza una profundidad de 4.7 y 8 m por el margen izquierdo sobre la T2SP (7I) y por el margen derecho sobre la T2SP (7D) respectivamente.

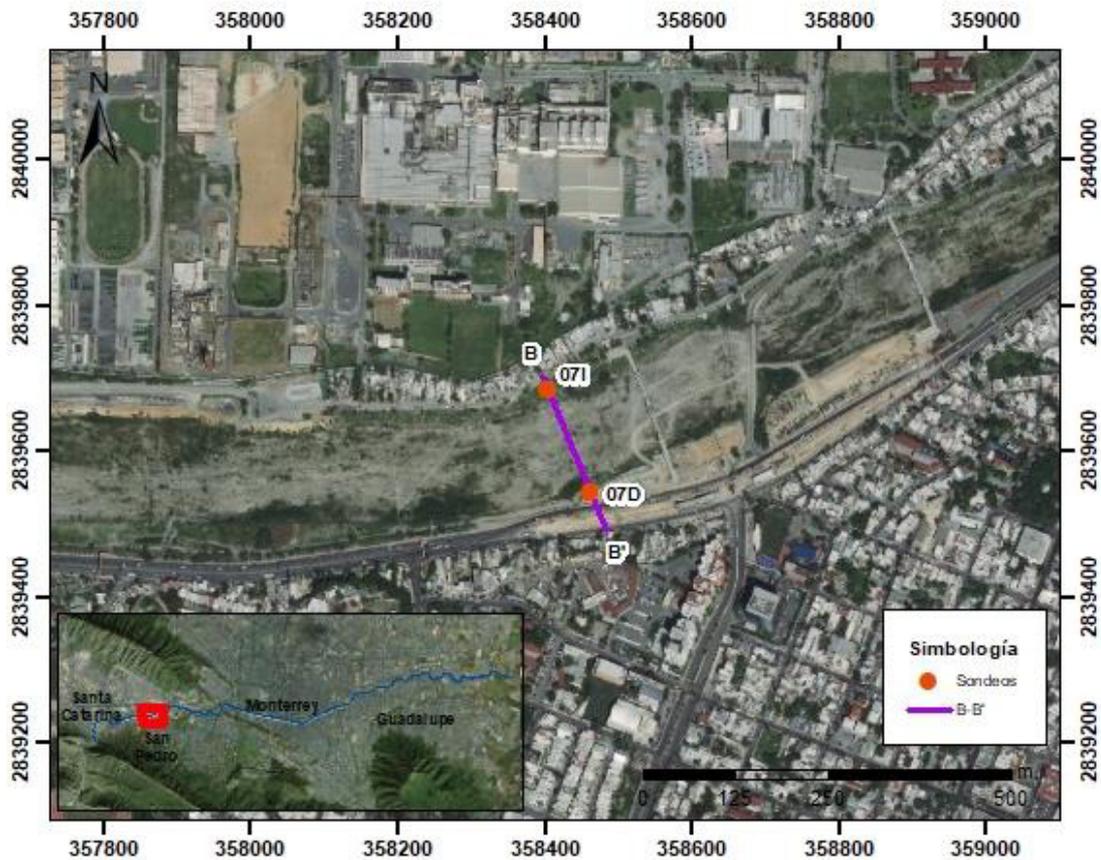


Figura 83. Puntos de ubicación del perfil San Pedro Garza García I, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por el margen izquierdo a nivel superficial se encuentran arcillas gravosas, hasta 0.5 m (dato de sondeo exploratorio 7I), seguido de gravas arcillosas limosas hasta 3.1 m. Considerando espesores con respecto al sondeo 7D, se infiere que a los 4 m se encuentran lutitas intemperizadas de la Fm. Méndez.

El margen derecho a nivel superficial, inicia con gravas arenosas, las cuales continúan hasta los 2 m (según dato de sondeo exploratorio 7D), seguido de la lutita intemperizada de la Fm. Méndez hasta los 10 m, donde inician las lutitas no intemperizadas e intemperizadas de esta misma formación.

Perfil Geológico San Pedro I

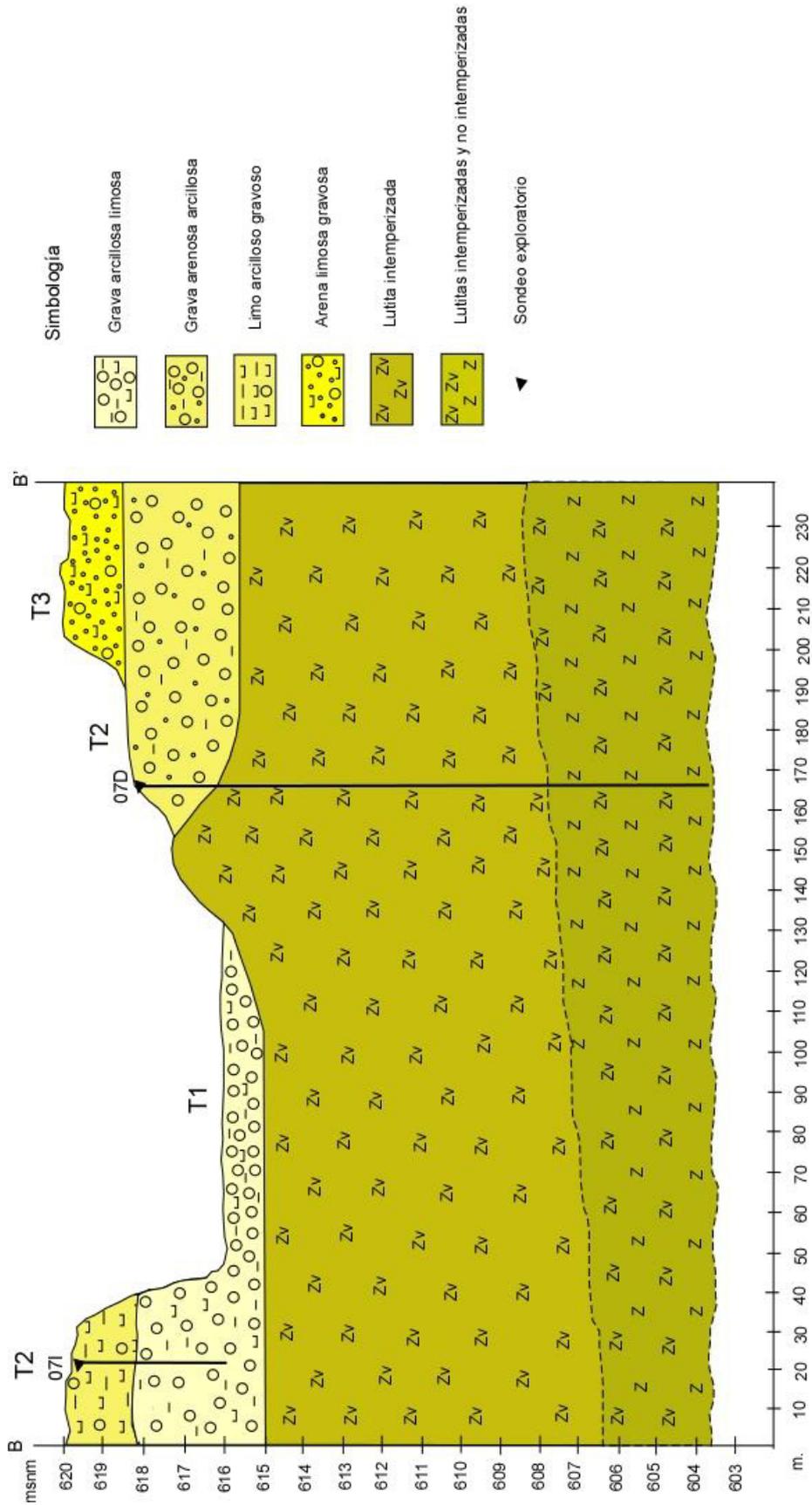


Figura 84. Perfil Geológico B-B' San Pedro Garza García I

4.3.3 Perfil San Pedro Garza García II

El perfil C-C' ubicado en la Figura 85 y representado por la Figura 86, alcanza una profundidad de 10 y 9 m por la margen izquierdo sobre la T2SP (12I) y por la margen derecha sobre la T2SP (12D) respectivamente.

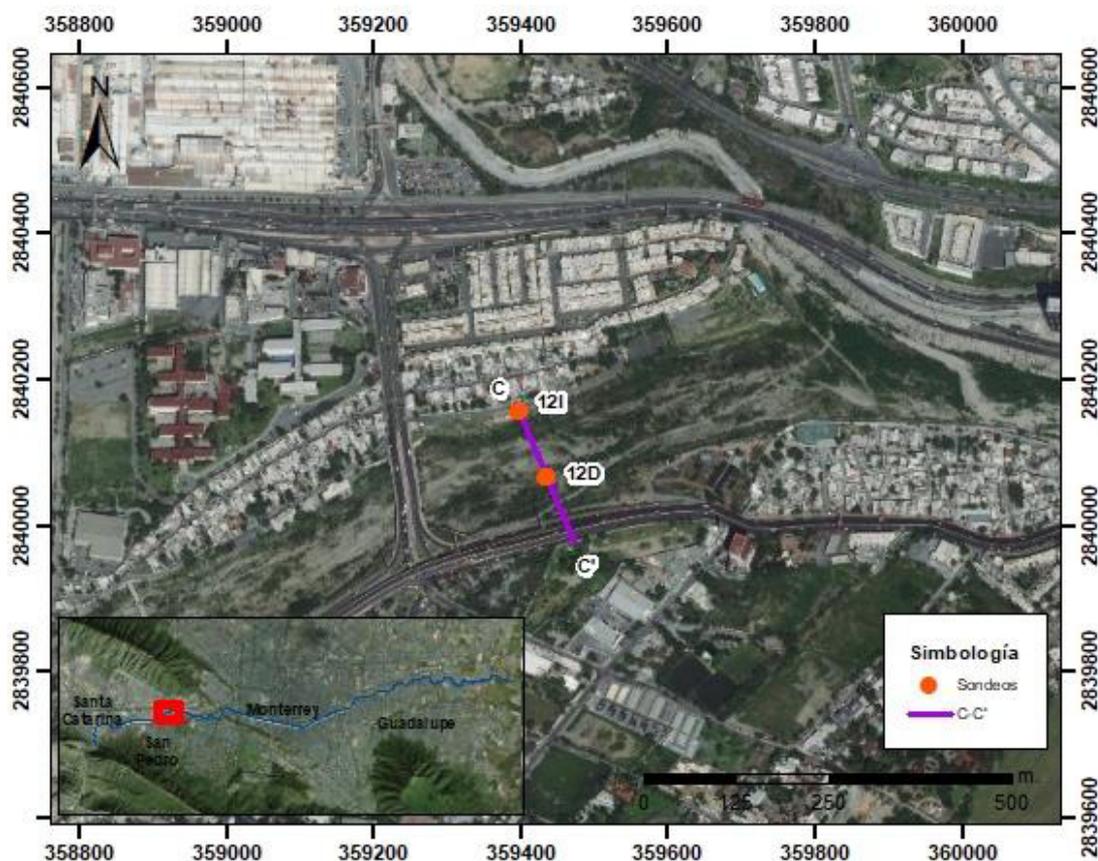


Figura 85. Puntos de ubicación del perfil San Pedro Garza García II, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por el margen izquierdo a nivel superficial se encuentran arenas gravosas, seguido de arcilla hasta 1.9 m (dato de sondeo exploratorio 12I), seguido de de arcillas hasta los 3 m y gravas arcillosas limosas nuevamente hasta los 10 m totales.

La margen derecha a nivel superficial, inicia con arcilla arenosa gravosa, seguido de gravas arenosas hasta los 9 m finales, con una intercalación de lente de arcilla de 7.5 a 8 m.

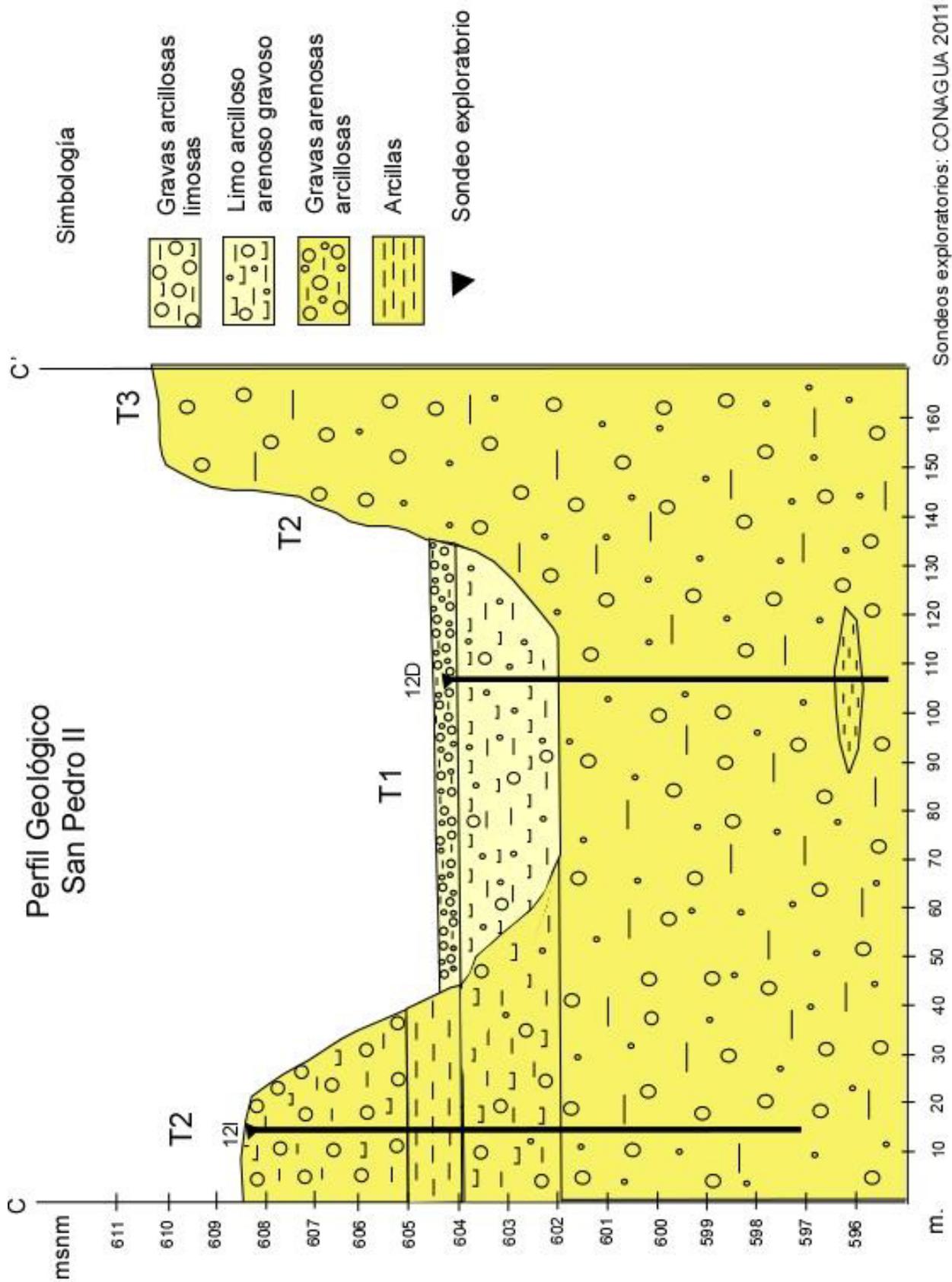


Figura 86. Perfil Geológico C-C' San Pedro Garza García II

4.3.4 Perfil Monterrey I

El perfil D-D' ubicado en la Figura 87 y representado por la Figura 88, alcanza una profundidad de 11 y 3.8 m por la margen izquierda, sobre la T3Mty.



Figura 87. Puntos de ubicación del perfil Monterrey I, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por la margen izquierda a nivel superficial se encuentran gravas arenosas hasta los 3 m (dato de sondeo exploratorio 37D), seguido de gravas arenosas arcillosas hasta 7.5 m y arcillas arenosas gravosas hasta los 8.4 m. Las lutitas en estado intemperizado se encuentran a la profundidad de 8.4 hasta llegar a los 11 m del total del sondeo.

Por otro lado, el sondeo 19I cuenta en su mayoría con grava arcillosa limosa hasta llegar a la profundidad final del sondeo de 3.8 m. Considerando espesores con respecto al sondeo 37D, se infiere que a los 6.5 m se encuentran arcillas arenosas gravosas y a los 7.5 m las lutitas de la Fm. Méndez en estado intemperizado.

Con respecto a la parte superficial, sobre la T1 se encuentran gravas arenosas.

Perfil Geológico Monterrey I

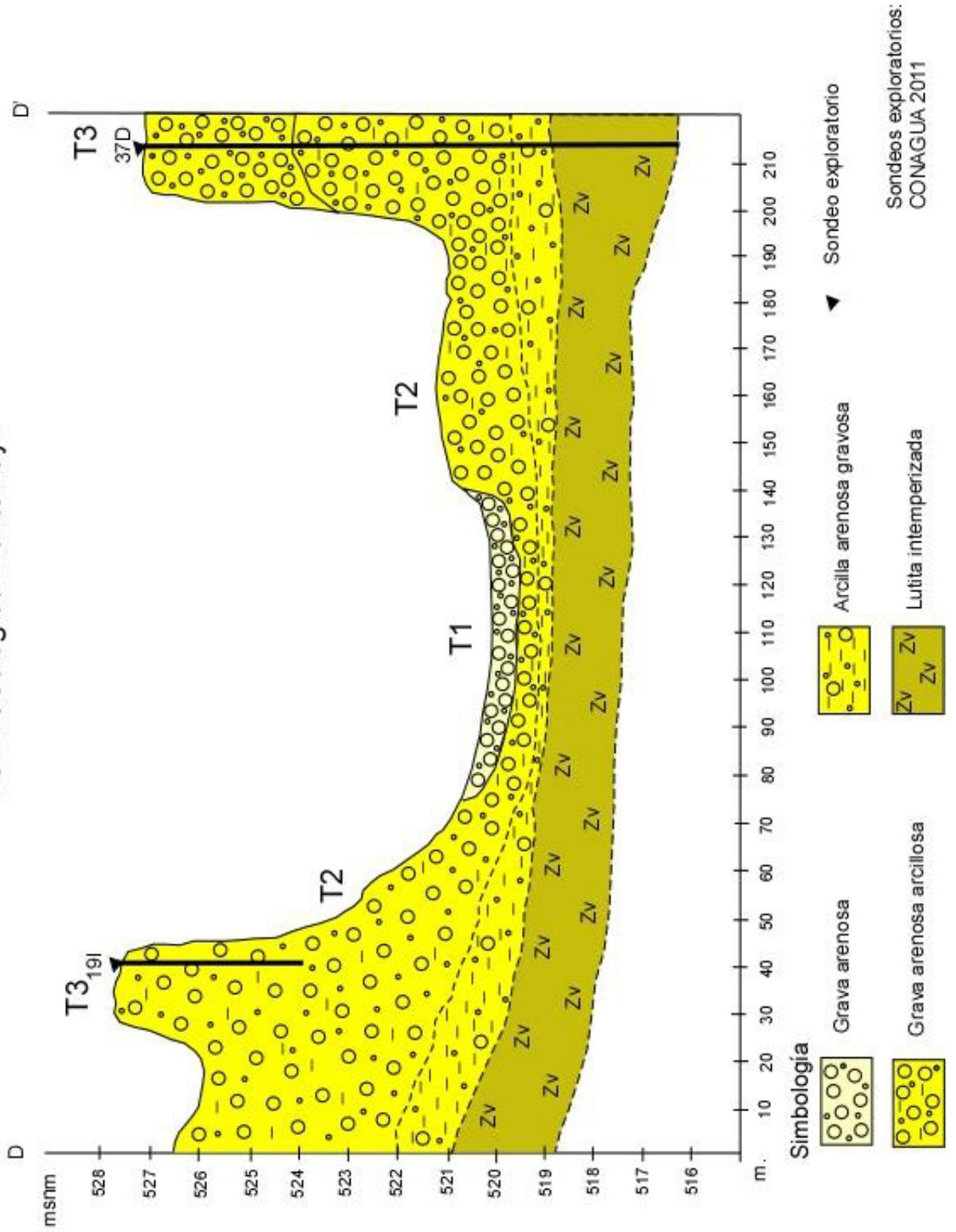


Figura 88. Perfil Geológico D-D' Monterrey I

4.3.5 Perfil Monterrey II

El perfil Monterrey II E-E' se ubica en la Figura 89 y representado por Figura 90, se obtuvo a partir de datos de dos sondeos exploratorios: el sondeo 271 por la margen izquierda (sobre T3Mty, av. Constitución) y 45D por la margen derecha (sobre T2Mty, por un costado de av. Dr. Ignacio Morones Prieto).

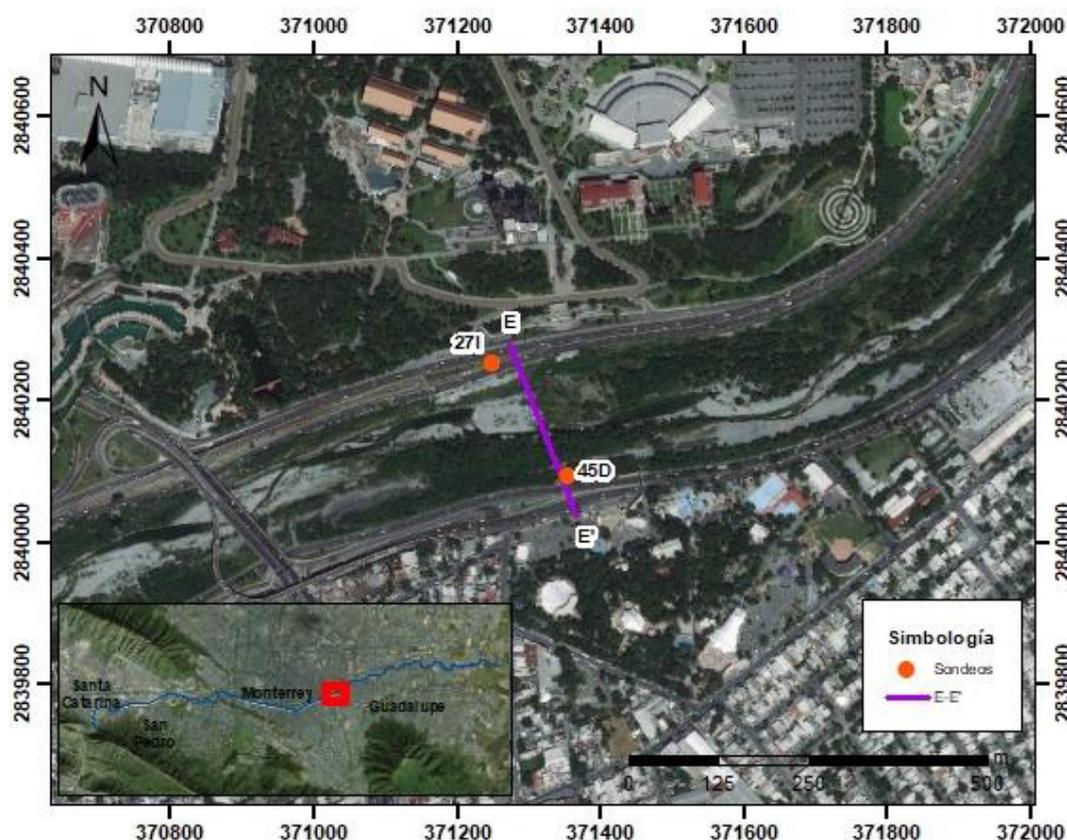
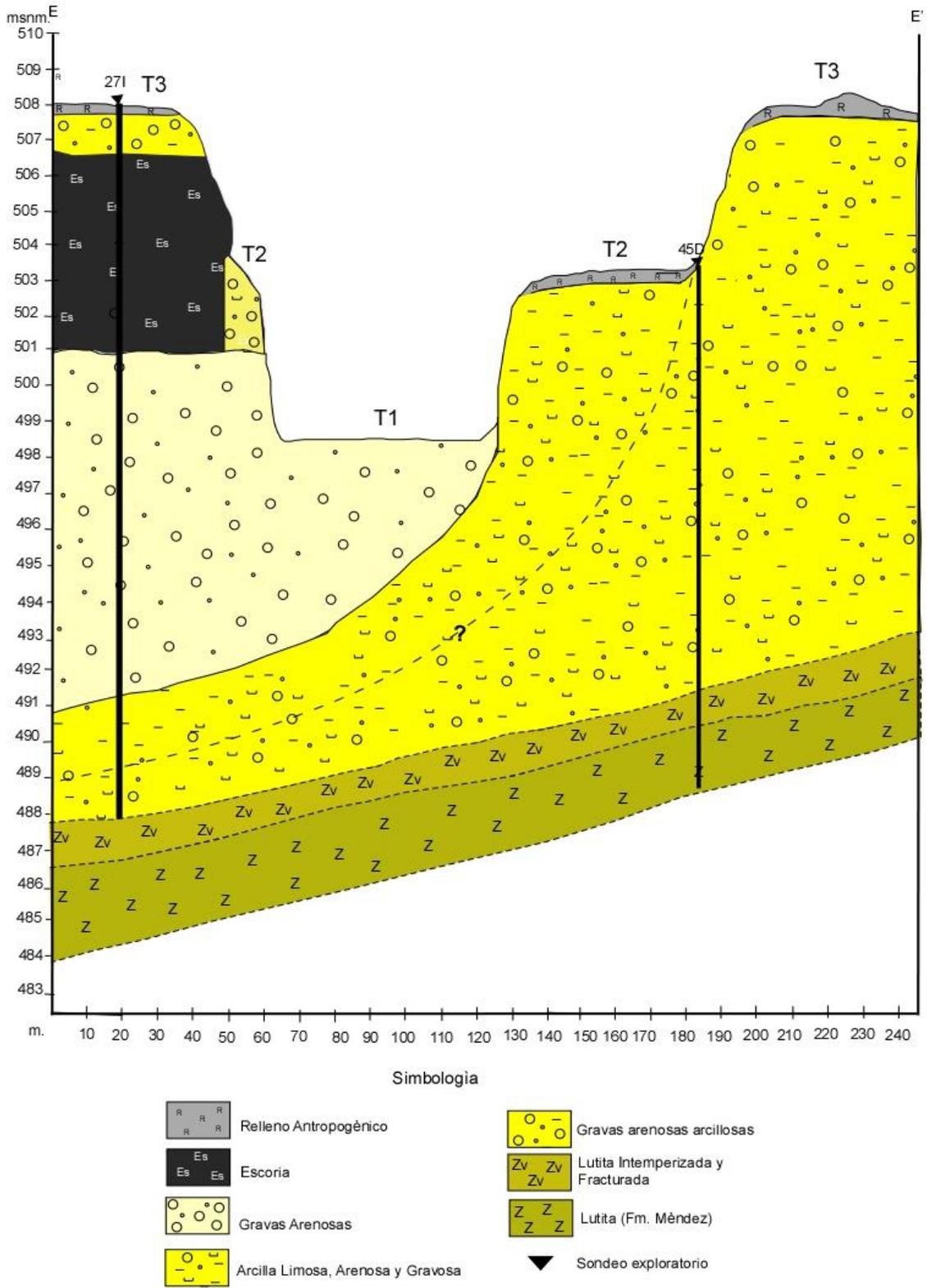


Figura 89. Perfil E-E', Monterrey, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por la margen izquierda, se observa contenido de gravas arenosas arcillosas en el primer metro, continuando con un estrato relativamente profundo de escoria (6 m aproximadamente) (por la ubicación de la zona, atribuida a los residuos de la antigua industria siderúrgica de Fundidora), 9.8 m de gravas arenosas, 3 m de arcilla limosa, arenosa y gravosa encontrando las lutitas intemperizadas de la Fm. Méndez a 20 m con un espesor de 0.5 m del total de 20.5 m del sondeo; en la zona superficial del sitio, sobre la T2Mty, se encuentra expuesto principalmente material gravoso, arenoso y arcilloso. Por otro lado, por la margen derecha, se cuentan con los primeros 11 m conformados por arcillas, limosas, arenosas y gravosas, continuando con 1.5 m de espesor de lutita intemperizada y 1.5 m de lutita de la Fm. Méndez, encontrándose esta a los 12.5 m de los 14 m totales del sondeo. En la parte superficial de la terraza, se observa un espesor de alrededor de 3.5 m conformado por material arcilloso, arenoso y gravoso.

Perfil Geológico Monterrey II



Sondeos exploratorios: CONAGUA, 2011.

Figura 90. Perfil Geológico E-E' Monterrey II

Sobre la parte superficial de la T1Mty, se identificaron gravas arenosas con esporádicos cantos rodados, incluidas gravas de escoria (Figura 91).



Figura 91. Gravas de escoria sobre la T1Mty

4.3.6. Perfil Guadalupe

La Figura 92 muestra la ubicación del perfil Guadalupe F-F' ubicado a 150 m aproximadamente del hospital materno infantil de Guadalupe, alcanza una profundidad de 15 m (Figura 93).

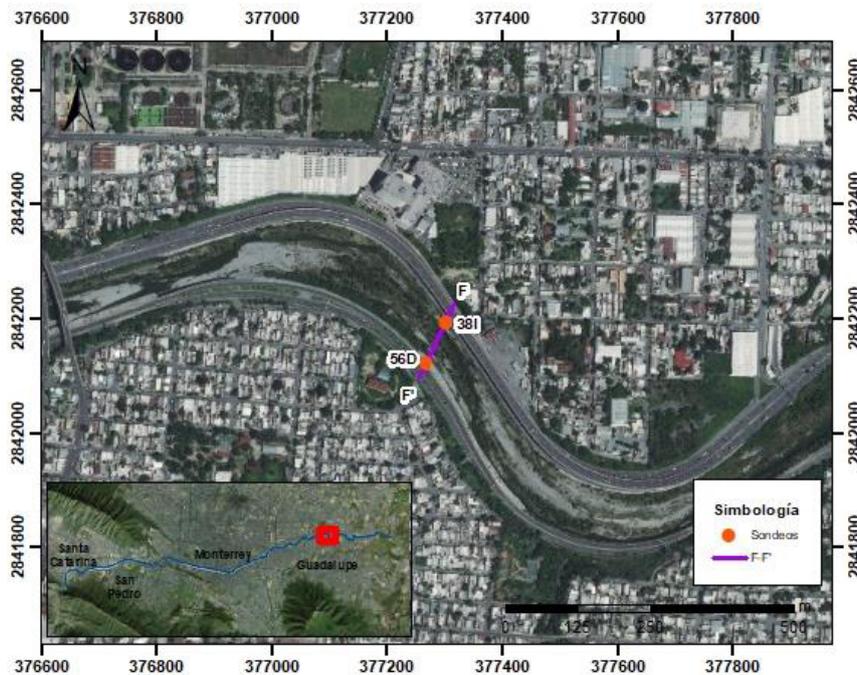


Figura 92. Ubicación de perfil Guadalupe, escala 1:10,000 (elaboración propia a partir de Imagen Esri, 2018).

Por la margen derecha el sondeo (56D) se encuentra sobre la T3 (sobre la Av. Dr. Ignacio Morones Prieto), conformado principalmente por 9 m de gravas arcillosas limosas con intercalación de 0.8 m de limos arenosos gravosos con nódulos de carbonato, seguido de 4 m de gravas arenosas cementadas y encontrándose las lutitas de la Fm. Méndez en estado intemperizado y fracturado a los 12.9 m. Por otro lado, el sondeo 38I sobre la T3, por la margen izquierda, está conformado por intercalaciones de gravas arenosas arcillosas, arcillas arenosas gravosas y gravas arenosas medianamente cementadas, encontrando las lutitas intemperizadas y fracturadas de la Fm. Méndez a los 12.7 m con espesor aproximado de 1 m y las lutitas en estado no intemperizado es esta misma formación a los 13.5 m. Superficialmente la T2Gpe se encuentra aparentemente removida y la T1Gpe presenta contenido de gravas arenosas principalmente.

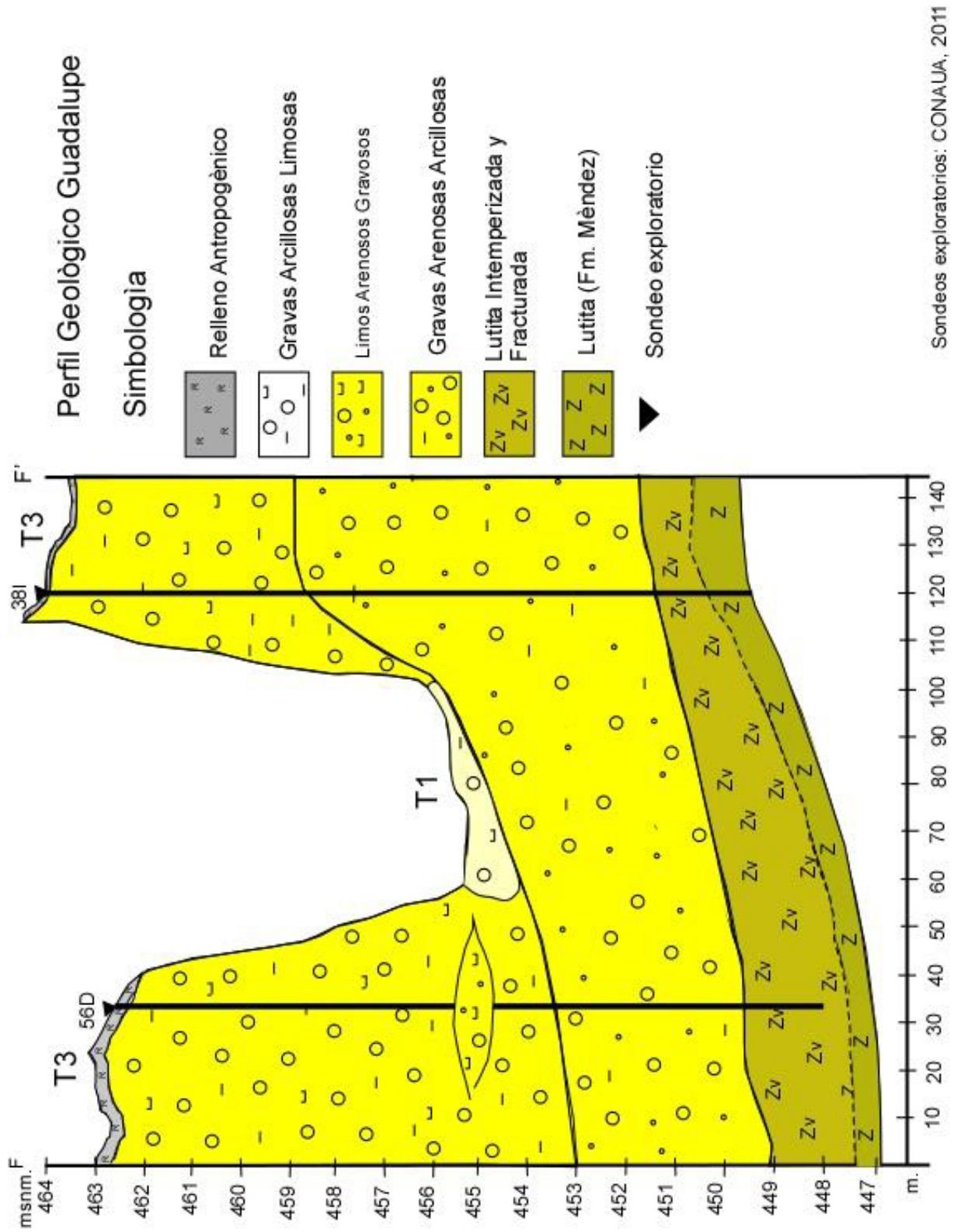


Figura 93. Perfil Geológico F-F'Guadalupe

4.4 Hidrogeología

4.4.1 Carta Piezométrica

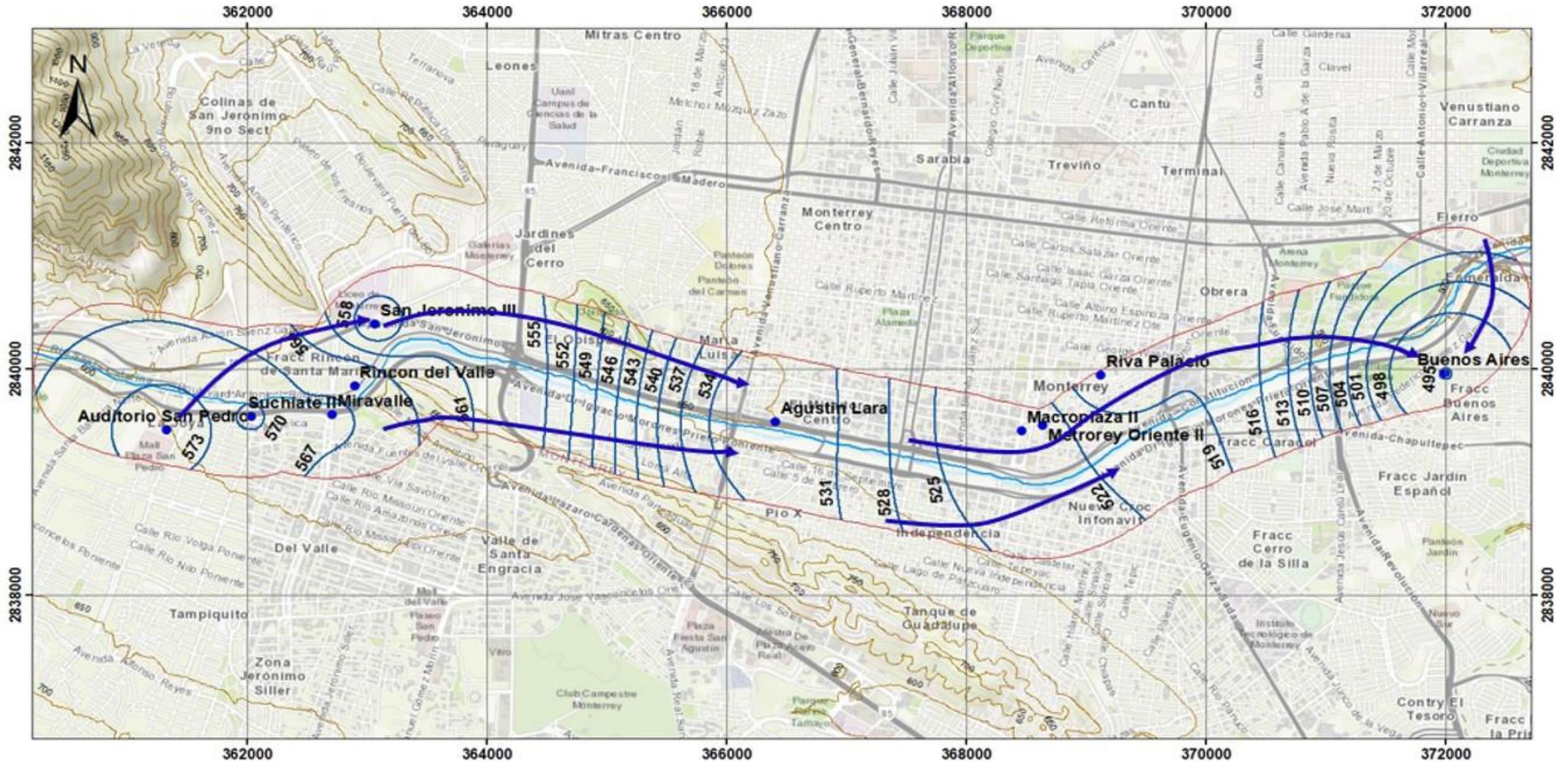
Con base a los perfiles geológicos se observa que, a nivel general, los materiales presentes a distintas profundidades en el área de estudio son de gravas arenosas, limosas y arcillosas, arenas gravosas y limosas y arcillas arenosas, gravosas y limosas en distinta distribución, lo cual indica un acuífero de poros cuya base son las lutitas fracturadas de la Formación Méndez.

De acuerdo a la carta piezométrica (Figura 94), correspondiente al mes de marzo del 2018 (comúnmente temporada ordinaria), se muestra una dirección preferencial de flujo subterráneo de Oeste (W) a Este (E); partiendo del W, donde se presentan las mayores alturas piezométricas, las cuales van disminuyendo hacia el E.

Con respecto a las equidistancias entre las curvas piezométricas, se observa que en la parte inicial hacia al W (donde se encuentran los pozos Auditorio San Pedro, Suachiate I, Miravalle, Rincón del Valle y San Jerónimo), así como en la zona central derecha hacia el E (donde se encuentran los pozos Metrorrey Oriente II, Macroplaza II y Riva Palacio), las equidistancias entre las curvas son mayores, lo cual según la ley de Darcy refleja cambios en la conductividad hidráulica, aunque también puede ser atribuido cambios de espesor del acuífero.

Según la configuración de las isolíneas piezométricas, se identifica influencia con respecto al Río, salvo en los puntos cercanos a los pozos Agustín Lara, Riva Palacio y Buenos Aires, con posible efluencia con respecto al río.

Según los valores de conductividad hidráulica reportados en los mapas geológicos, obtenidos a partir de la granulometría del material presente (considerándose las muestras de la 8000 a la 18,000 consideradas por encontrarse dentro del área de la configuración piezométrica), se tiene un promedio de 734.3 m/día, lo cual es considerado como permeable, y se observa que efectivamente hay cambios de conductividad hidráulica en las zonas donde se observan cambios en las equidistancias de las curvas piezométricas. Observándose mayores valores de K en donde se perciben menores distancias entre las curvas; por otro lado, comportamiento circular en las isolíneas es atribuido a zonas de mayor extracción de agua. El gradiente piezométrico (i) calculado para el mes de marzo de 2018 presentó un valor medio de 0.00651 (0.65%). Los niveles estáticos del agua subterránea medidos se encontraron entre los valores de 5.18 (Riva Palacio) y 27.85 m (San Jerónimo III) con niveles piezométricos que oscilan entre 574.1 a 496.64 msnm, la menor cota correspondiendo al pozo Buenos Aires, mientras la mayor al pozo Auditorio San Pedro.



0 0.5 1 2 3 4 km.

Simbología

- Pozo (clave)
- Curvas piezométricas @ 3 m
- Curvas de nivel @ 50 m
- Buffer de 500 m
- Rio Santa Catarina
- Direcciones del flujo

Piezometría realizada: 14-15 marzo de 2018
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 DATUM: WGS84
 Escala: 1:30,000
 Imagen: Esri, 2018
 Topografía: INEGI, 2008

Figura 94. Mapa con Carta piezométrica referida al mes de marzo de 2018

4.4.2 Conductividad hidráulica

El promedio de valores estimados de conductividad hidráulica a partir de los métodos de análisis granulométrico en el área de estudio, varía de 2.4 m/día (muestra 12,000_T3) a 8.7×10^4 (muestra 26,000).

Las conductividades hidráulicas estimadas a partir de los métodos de análisis granulométrico se muestran en la Tabla 5. A continuación, se encuentran los valores de las K a detalle según las terrazas:

Terraza 1

Considerando 22 puntos de análisis granulométrico de referencia en la T1 (CONAGUA, 2011), se observa que la T1GPE es la que presenta mayores valores promedio de K, que van de 8.7×10^4 (muestra 26,000) a 3.1×10^{02} (muestra 28,000) m/día, seguido de la T1MTY con valores de 2.9×10^{03} (muestra 16,000) a 3×10^{02} m/día (muestra 12,000), la T1SC con valores de 9.3×10^{02} (muestra 2000) a 1.2×10^{02} (muestra 4000) y por último la T1SP con 4.6×10^{02} (muestra 7000) a 3.7×10^{01} (muestra 8000).

Terraza 2

Se consideraron 4 puntos de muestreo para el análisis granulométrico de la T2, los cuales se distribuyen: 3 en la T2Mty y 1 en la T2Gpe. Se tiene que la T2Mty presenta valores de K de 2.1×10^{02} m/día (muestra 16,000) a 9×10^{01} m/día (muestra 12,000). La T2Gpe presenta un valor de 1.5×10^{02} m/día (muestra 29,000); todos calificados como permeables según la misma clasificación anterior.

Terraza 3

A nivel general, los valores de esta terraza son los menos altos (comparando el resto de las terrazas). Se consideraron 4 puntos de muestreo para el análisis granulométrico de la T3, los cuales se distribuyen: 3 en la T2Mty y 1 en la T2Gpe. Se tiene que la T2Mty presenta valores de K de 2.3×10^{01} m/día (muestra 8,000) a 2.4 m/día m/día (muestra 12,000). La T3Gpe presenta el valor más alto de esta terraza con 3.9×10^{02} m/día (muestra 29,000).

Terraza 4

Solo se tomó una muestra de la T4 Santa Catarina, debido a la poca presencia de esta dentro del área de estudio. Aunque comparadas a las T1 y T2 presenta valor más bajo de K, aún podría considerarse como permeable, con valor de 3.7×10^{01} m/día (muestra 1,500).

Muestra	x (m E)	Y (m N)	K (m/s)	K (m/día)	Clasificación	Calificación
1000	354409	2838157	$.555 \times 10^{-02}$	479.6	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
1000_T2	354351	2838120	$.192 \times 10^{-02}$	165.6	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
1500	355826	2839046	$.437 \times 10^{-03}$	37.8	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
2000	355563	2839137	$.108 \times 10^{-01}$	937.3	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
4000	357445	2839561	$.146 \times 10^{-02}$	126.2	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
5000	358415	2839593	$.203 \times 10^{-02}$	170.4	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
7000	360226	2840140	$.534 \times 10^{-02}$	461.6	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
8000	360951	2839838	$.427 \times 10^{-03}$	36.9	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
8000_T2	361438	2839679	$.436 \times 10^{-03}$	37.7	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
8000_T3	361439	2839659	$.267 \times 10^{-03}$	23.1	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
10000	363371	2840196	$.587 \times 10^{-02}$	507.6	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
11000	364244	2840026	$.297 \times 10^{-01}$	2572.0	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
12000	365150	2839701	$.356 \times 10^{-02}$	307.7	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
12000_T2	369151	2839143	$.104 \times 10^{-02}$	90.4	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
12000_T3	369162	2839127	$.282 \times 10^{-04}$	2.4	Arena gravosa con bajo contenido en finos pobremente sorteada	Algo permeable / Permeable
13000	365793	2839547	$.490 \times 10^{-02}$	423.8	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
15000	367900	2839107	$.627 \times 10^{-02}$	542.0	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
16000	368734	2838979	$.345 \times 10^{-01}$	2981.0	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
16000_T2	369145	2839124	$.248 \times 10^{-02}$	214.9	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
16000_T3	369145	2839124	$.167 \times 10^{-03}$	14.4	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
17000	369718	2839521	$.151 \times 10^{-01}$	1311.9	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
18000	370621	2839915	$.225 \times 10^{-01}$	1946.4	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
20000	373433	2841122	$.372 \times 10^{-02}$	321.6	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
21000	374213	2841354	$.445 \times 10^{-02}$	385.1	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
22000	374650	2841510	$.151 \times 10^{-01}$	1311.4	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
23000	375135	2841909	$.891 \times 10^{-02}$	770.1	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
25000	376718	2842251	$.438 \times 10^{-01}$	3784.8	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
26000	377845	2841960	$.101 \times 10^{-01}$	87200.4	Gravas con bajo contenido en finos moderadamente bien sorteada	Muy permeable
27000	378629	2842219	$.186 \times 10^{-01}$	1615.0	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
28000	379447	2841924	$.368 \times 10^{-02}$	318.2	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
29000	380464	2842000	$.712 \times 10^{-01}$	6151.8	Gravas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Muy permeable
29000_T2	379890	2842018	$.183 \times 10^{-02}$	158.4	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable
29000_T3	379931	2842090	$.460 \times 10^{-02}$	398.1	Gravas arenosas con bajo contenido en finos pobremente sorteadas	Permeable

Tabla 5. Conductividades hidráulicas estimadas a partir de los métodos de análisis granulométrico

4.3 Resultados y Discusiones

A nivel general, se identificaron 4 niveles de terrazas que van desde la Terraza 1 como la más joven hasta la Terraza 4 más antigua, además del contacto geológico de las terrazas con las Formaciones geológicas del Cretácico con lutitas de la Fm. Méndez y las calizas, margas y lutitas de la Fm. San Felipe las cuales representan la base geológica de rocas consolidadas.

La composición que predomina de la Terraza 1 es de gravas arenosas, salvo en la T1SP donde se encuentran más arenas gravosas limosas.

La Terraza 2 Santa Catarina, Monterrey y Guadalupe están mayormente compuestas por gravas arenosas, aunque en Santa Catarina y Monterrey incluyendo contenido de limos. En esta misma terraza en San Pedro Garza García se cuenta con arenas gravosas limosas.

La composición que predomina en la Terraza 3 es de arenas limosas, salvo en la T2 Guadalupe donde son arenas gravosas.

Los puntos en donde se encontraron la Terraza 4 (SC y SP), están conformados por gravas arenosas limosas y arenas limosas gravosas respectivamente.

A través de los perfiles geológicos se logra distinguir la composición a profundidad de las terrazas, incluyendo la zona de transición y contacto con las lutitas de la Formación Méndez del Cretácico, encontrándose la zona de transición con las terrazas a profundidades entre 8 a 12 m y las lutitas de la Formación a profundidades entre 9 a 13 m, con excepción del municipio de Santa Catarina y San Pedro Garza García donde las terrazas cuentan con mayores espesores y el contacto con la Formación se encuentra iniciando entre 2 y 4 m la zona de transición y entre 9 y 10 m las lutitas de la Formación.

Las direcciones de flujo subterráneo para el mes de marzo 2018 son de SW a NE; partiendo de la parte SW, donde se presentan las mayores alturas piezométricas, las cuales tienden a disminuir hacia el NE.

El comportamiento circular en las isolíneas es atribuido a pozos donde hay mayor extracción de agua.

Las equidistancias entre las curvas piezométricas son mayores en la parte inicial hacia al W (pozos Auditorio San Pedro, Suachiate I, Miravalle, Rincón del Valle y San Jerónimo), así como en la zona central derecha hacia el E (pozos Metrorrey Oriente II, Macroplaza II y Riva Palacio), lo cual indica cambios en K, lo que también se ve reflejado en los valores dentro de estas zonas donde se observan cambios en las equidistancias de las curvas piezométricas; identificando mayores valores de K en áreas donde se perciben menores distancias entre las curvas; dentro de esta área, según los valores de K se tiene un promedio de 734.3 m/día, lo cual es considerado como permeable,

El gradiente piezométrico (i) calculado para el mes de marzo de 2018 presentó un valor medio de 0.00651 (0.65%) y los niveles estáticos del agua subterránea medidos se encontraron entre los valores de 5.18 (Riva Palacio) y 27.85 m (San Jerónimo III) con niveles piezométricos que oscilan entre 574.1 a 496.64, la menor cota correspondiendo al pozo Buenos Aires, mientras la mayor al pozo Auditorio San Pedro.

El promedio de valores estimados de conductividad hidráulica a partir de los métodos de análisis granulométrico varía de 2.4 m/día a 8.7×10^4 .

En general, los valores de K más altos se encuentran en la Terraza 1 y los más bajos en la Terraza 3. Lo anterior atribuido a que en la T1 hay mayor contenido de material como gravas y arenas de mayor tamaño, lo cual permite el transporte de flujo a través de sus poros; por otro lado, la T3, a pesar de también ser considerada permeable, presenta menor valores debido a la disminución del tamaño de partículas.

La terraza con valores más altos de conductividad hidráulica, es la Terraza 1 Guadalupe, alcanzando valores de hasta 8.7×10^4 (muestra 26,000, ubicada en la carta geológica de la Figura 67), 6.1×10^3 (muestra 29,000, varta geológica de la Figura 70) y 3.7×10^3 m/día (muestra 25,000, carta geológica de la Figura 66), calificadas como “muy permeables”. Por otro lado, la Terraza 3 Monterrey presenta el valor más bajo muestreado con 2.4×10^0 m/día (muestra 12,000_T3, ubicada en la carta geológica de la Figura 51), considerándose en el límite entre “algo permeable” a “permeable”.

CAPÍTULO 5

CARTA DE DOCUMENTACIÓN DE DESCARGAS DEL RÍO SANTA CATARINA

5.1. Metodología

5.1.1. Carta de descargas

A partir del recorrido en campo, se documentó cada punto de posible fuente contaminante específicamente en el río (considerando descargas, basureros/tiraderos, colectores de drenaje, tirajes de agua residual y tiraderos de escorias), generando en gabinete una base de datos en *Google Earth*, geoposicionando cada punto con su respectiva clave, estatus (activo o no activo considerando el momento en el que se documentaron) y referencia fotográfica (en ciertos casos) (Figura 95). Para fines prácticos de identificación, se optó por: a la clave asignada, conformarla por una letra: D en el caso de descarga, B al tratarse de acumulaciones de basura/ tiradero, T al referirse a tiraderos de escorias y O al referirse a otras, más un número asignado según el recorrido en campo y letra al final dependiendo si la descarga es doble (d), triple (t) o cuádruple (c).

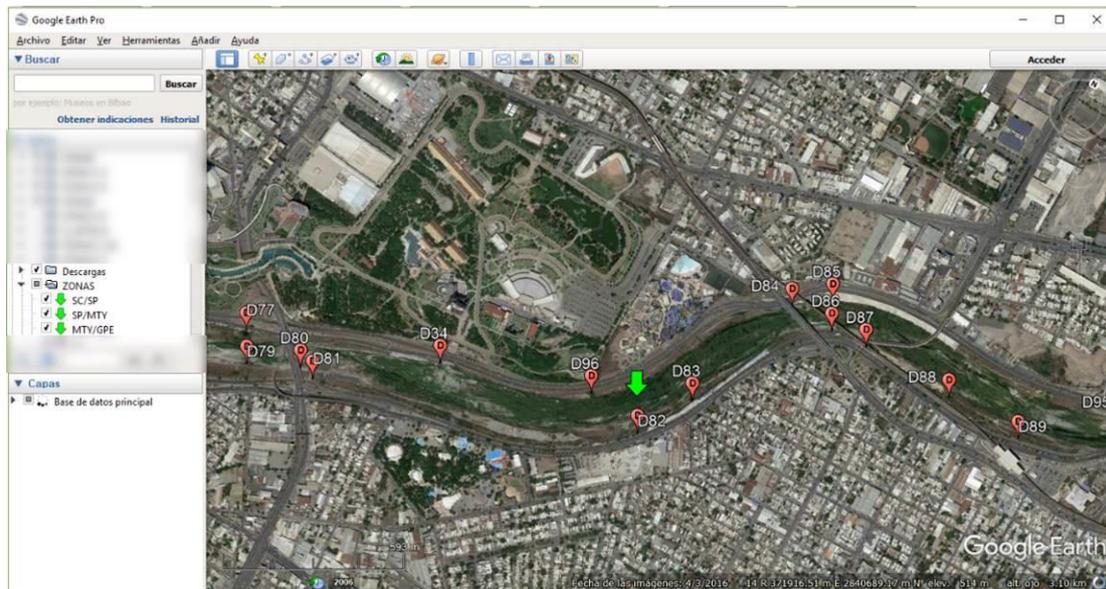


Figura 95. Base de datos de descargas a partir de Google Earth, zona de límite municipal entre Monterrey y Guadalupe.

Con la información anterior, a partir de la base de datos se realizaron los 7 mapas de las descargas correspondientes a la zona de estudio en el Río Santa Catarina, a escala 1:10,000, llevándose a cabo de la siguiente manera:

A partir de la base de datos de *Google Earth*, se creó la base de datos en Excel, para cargar los puntos de descargas al programa ArcGis 10.3 en formato .txt para de este, extraer el “shape” (.shp) de los puntos. Por otro lado, se añadieron los límites municipales como punto de referencia, que se descargaron en formato .shp de la página oficial de INEGI, usándose como imagen de fondo la imagen del mismo programa cuya fuente es Esri, 2018.

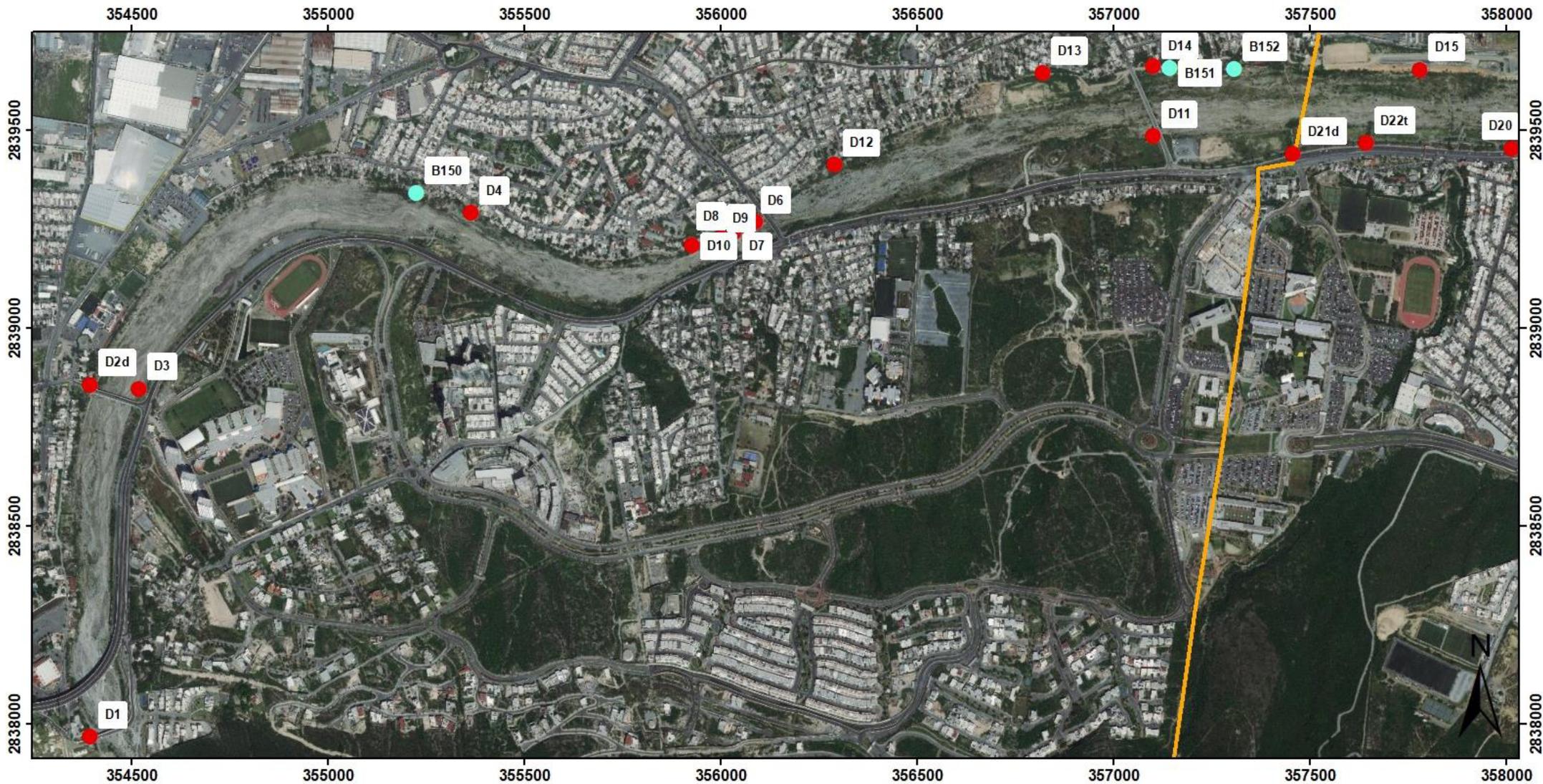
5.2. Clasificación de las fuentes contaminantes

En total, se identificaron 154 fuentes de descargas hacia el río, documentadas por municipio en las cartas de descargas.

Para fines del presente trabajo se consideran cuatro clasificaciones de posibles fuentes de contaminantes del agua: Basureros a la Intemperie/ Tiraderos, Descargas de aguas residuales (Gómez y Ramírez, 2007), Tiraderos de escoria y Otros.

El listado que contiene todas las descargas encontradas durante las visitas de campo por municipio (documentadas en las cartas de la Figura 96 a la Figura 103), se puede revisar en el apartado de los Anexos (del 2 al 5).

Carta de descargas Santa Catarina- San Pedro



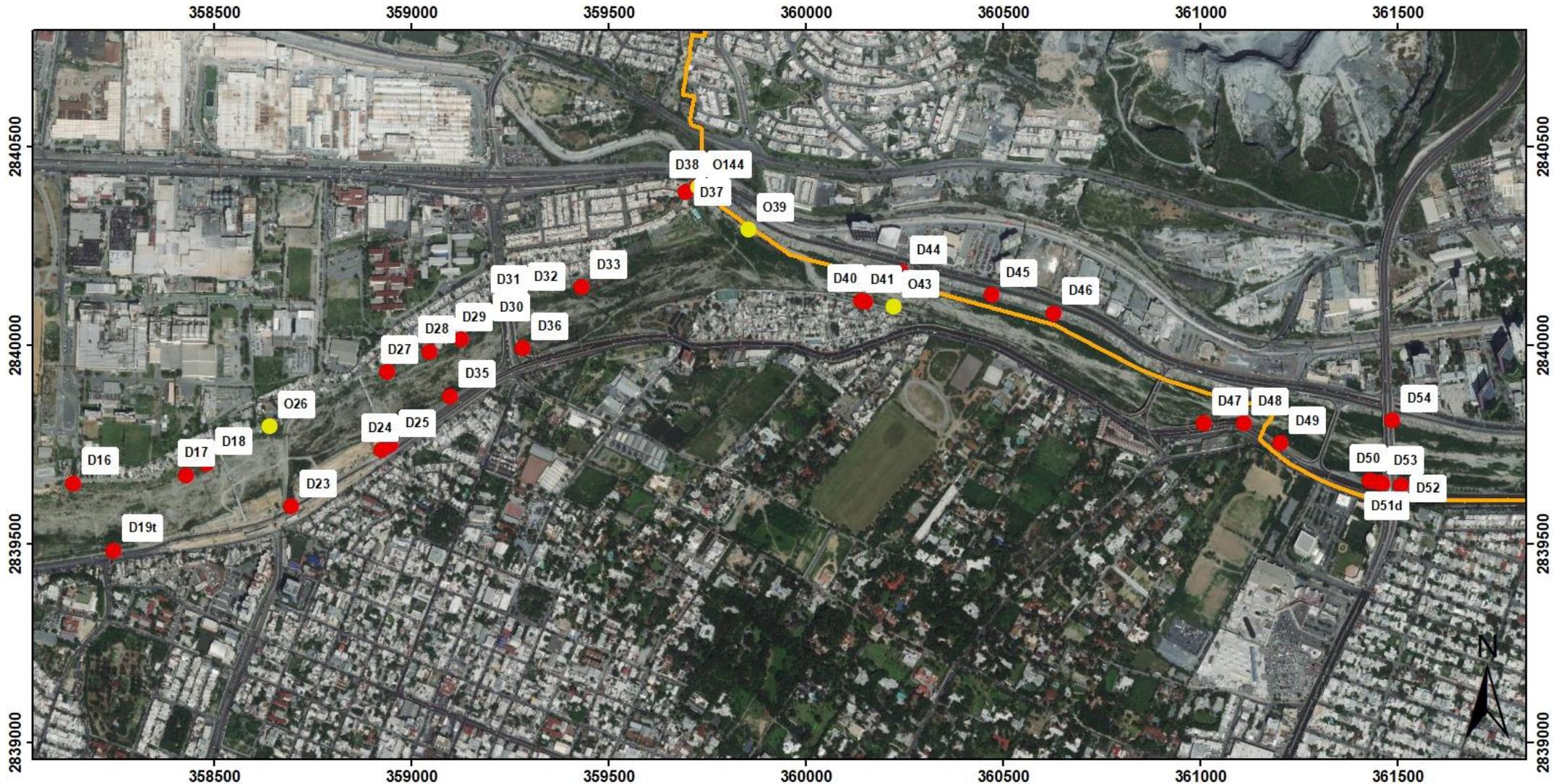
Simbología

- | | | |
|---|------------------------|--|
| Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga | ● Tiradero de escorias | ● Otros (colectores y tirajes de aguas residuales) |
| Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N | ● Descarga | ▭ Limite municipal |
| DATUM: WGS84 | ● Basurero/ Tiradero | |
| Escala: 1:10,000 | | |
| Imagen: Esri, 2018 | | |



Figura 96. Carta de descargas en el municipio de Santa Catarina y San Pedro.

Carta de descargas San Pedro- Monterrey



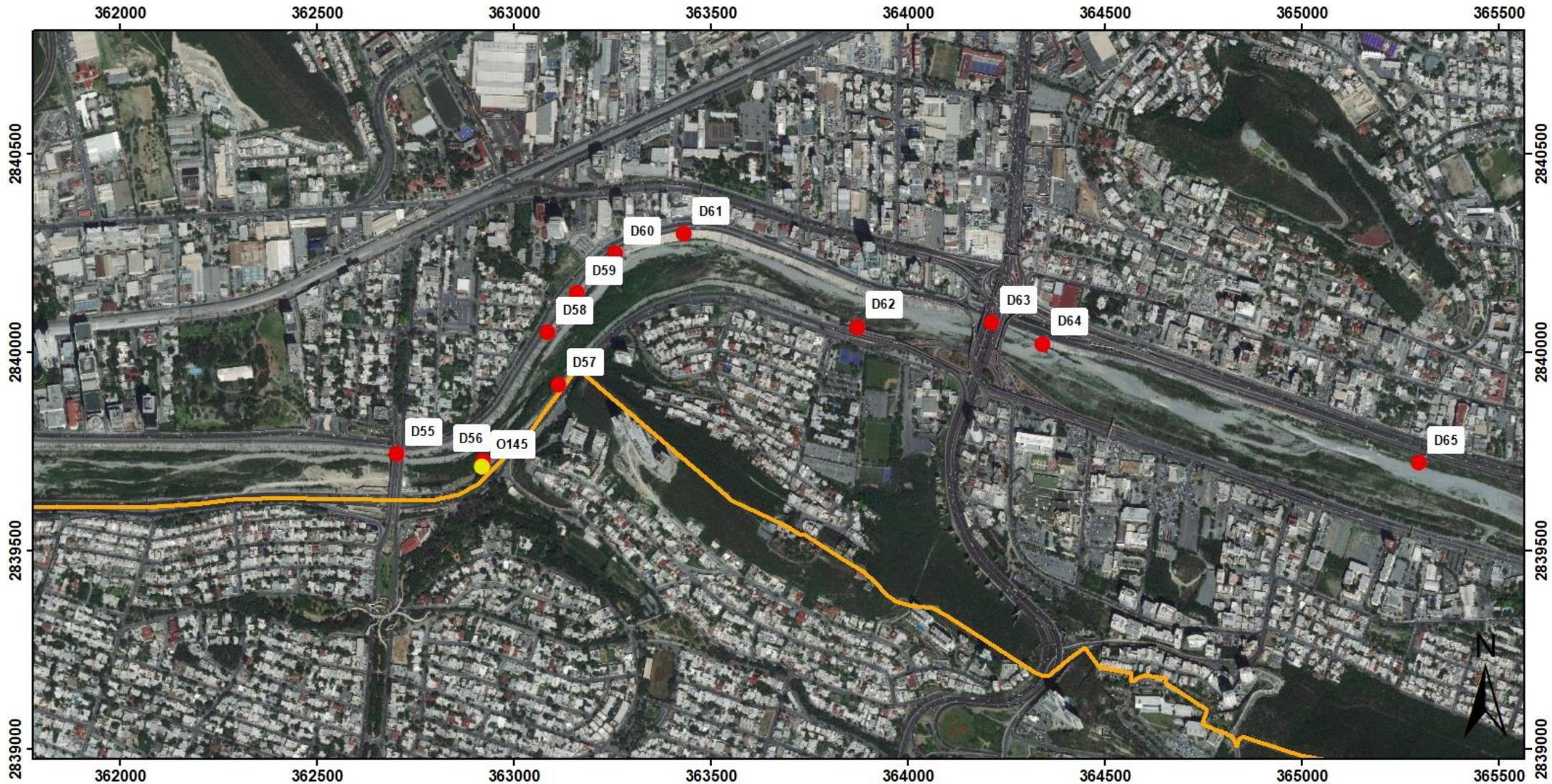
Simbología

- | | | |
|---|----------------------|--|
| Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga | Tiradero de escorias | Otros (colectores y tirajes de aguas residuales) |
| Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N | Descarga | Límite municipal |
| DATUM: WGS84 | Basurero/ Tiradero | |
| Escala: 1:10,000 | | |
| Imagen: Esri, 2018 | | |



Figura 97. Carta de descargas en el municipio de San Pedro y Monterrey.

Carta de descargas Monterrey I



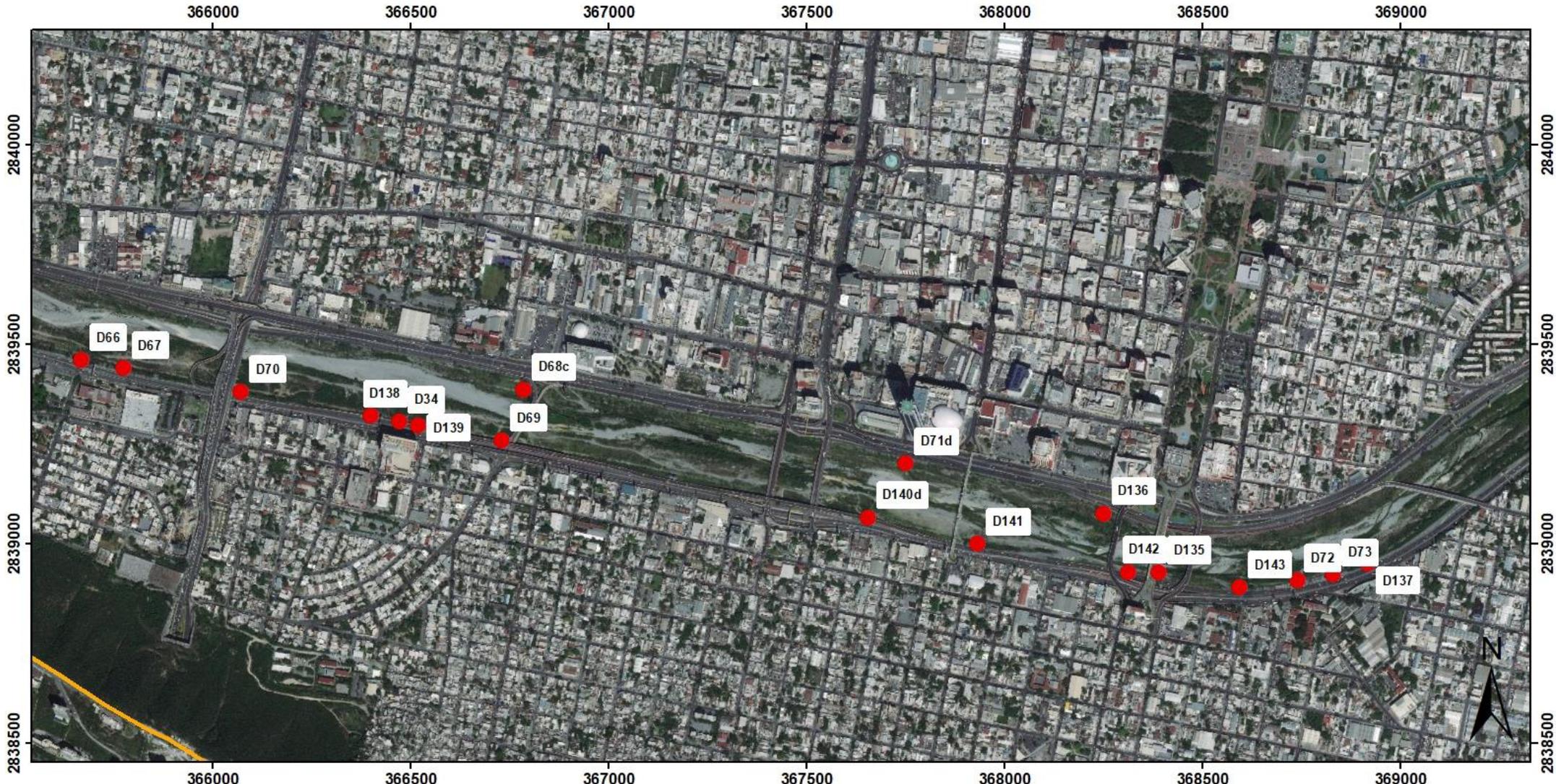
Simbología

- | | | | | |
|---|---|----------------------|---|--|
| Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga |  | Tiradero de escorias |  | Otros (colectores y tirajes de aguas residuales) |
| Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N |  | Descarga |  | Limite municipal |
| DATUM: WGS84 |  | Basurero/ Tiradero | | |
| Escala: 1:10,000 | | | | |
| Imagen: Esri, 2018 | | | | |



Figura 98. Carta de descargas I en el municipio de Monterrey.

Carta de descargas Monterrey II



Simbología

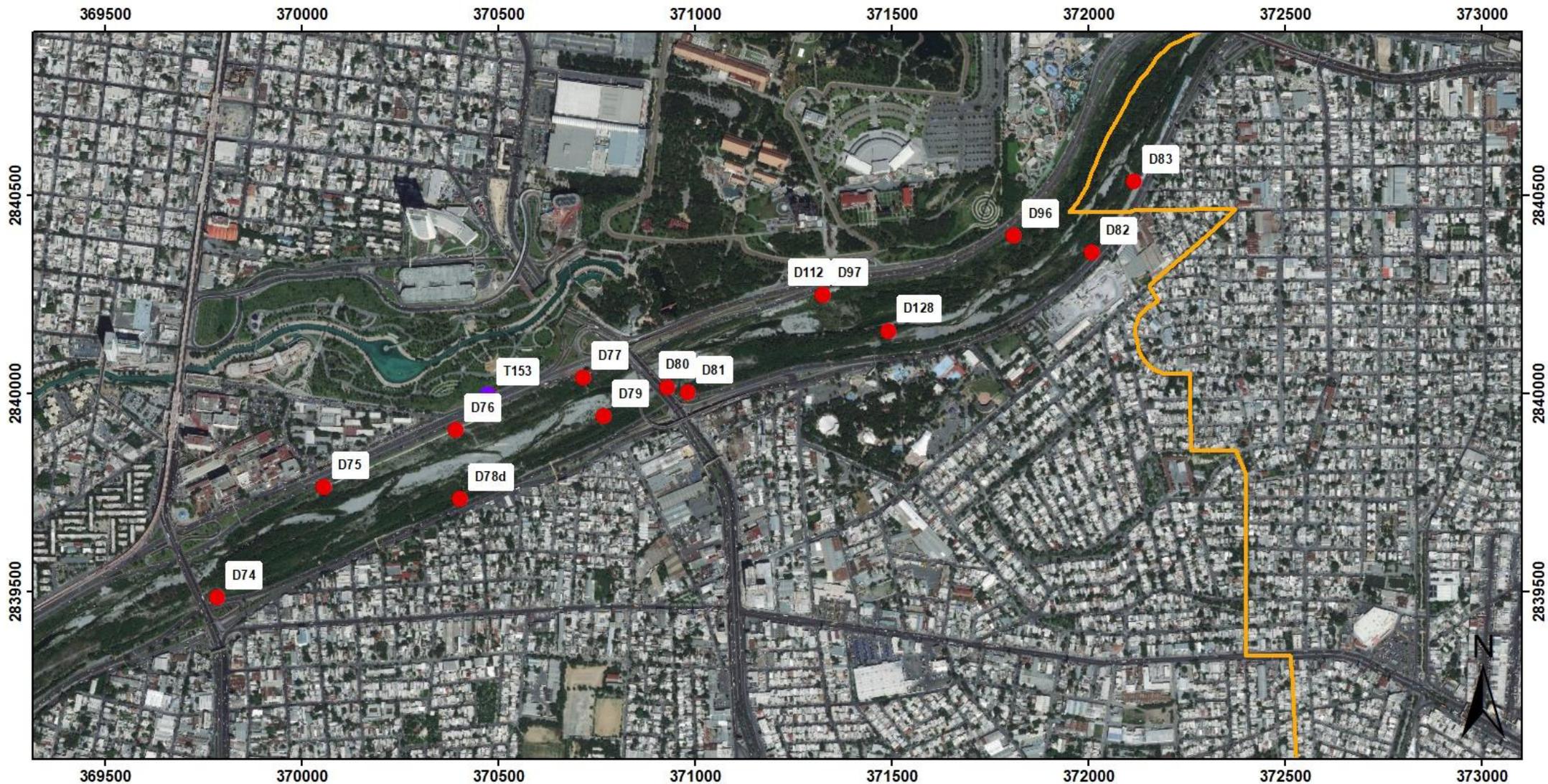
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 DATUM: WGS84
 Escala: 1:10,000
 Imagen: Esri, 2018

- Tiradero de escorias
- Descarga
- Basurero/ Tiradero
- Otros (colectores y tirajes de aguas residuales)
- Límite municipal



Figura 99. Carta de descargas II en el municipio de Monterrey.

Carta de descargas Monterrey- Guadalupe I



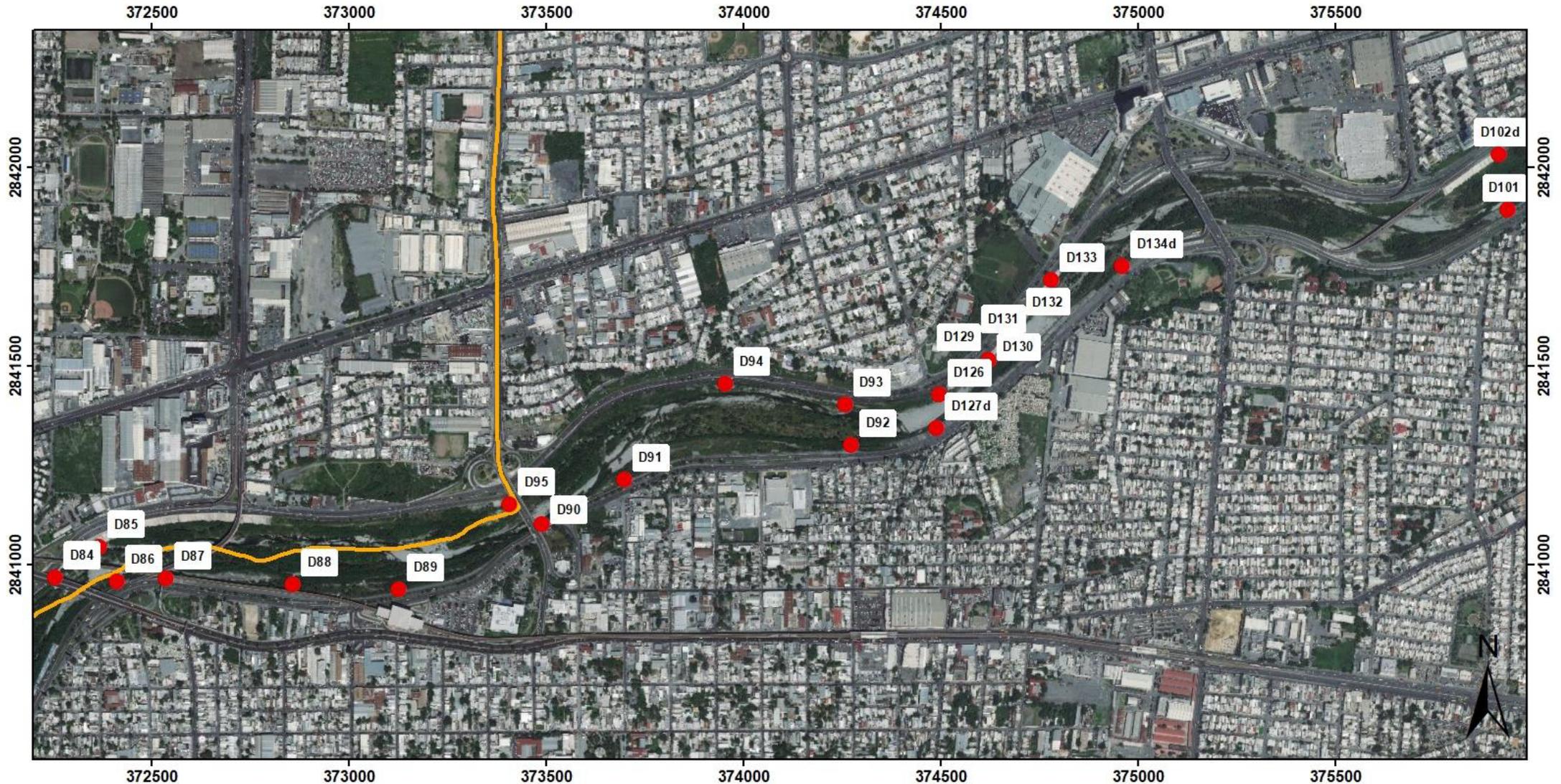
Simbología

- | | | |
|---|----------------------|--|
| Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga | Tiradero de escorias | Otros (colectores y tirajes de aguas residuales) |
| Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N | Descarga | Limite municipal |
| DATUM: WGS84 | Basurero/ Tiradero | |
| Escala: 1:10,000 | | |
| Imagen: Esri, 2018 | | |



Figura 100. Carta de descargas I en el municipio de Monterrey y Guadalupe

Carta de descargas Monterrey- Guadalupe II



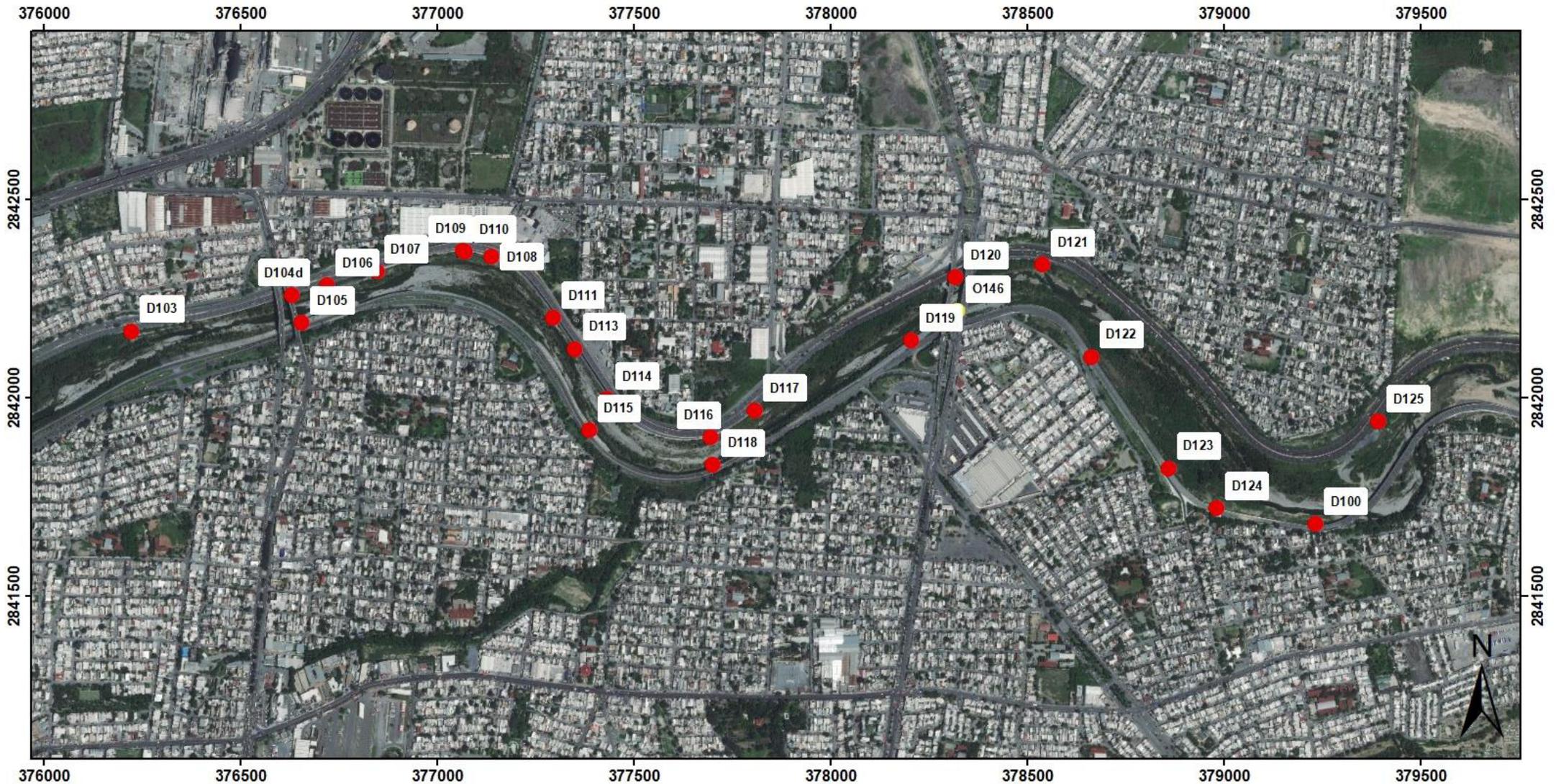
Simbología

- | | | |
|---|----------------------|--|
| Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga | Tiradero de escorias | Otros (colectores y tirajes de aguas residuales) |
| Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N | Descarga | Límite municipal |
| DATUM: WGS84 | Basurero/ Tiradero | |
| Escala: 1:10,000 | | |
| Imagen: Esri, 2018 | | |



Figura 101. Carta de descargas II en el municipio de Monterrey y Guadalupe.

Carta de descargas Guadalupe I



0 115 230 460 690 920 m.

Simbología

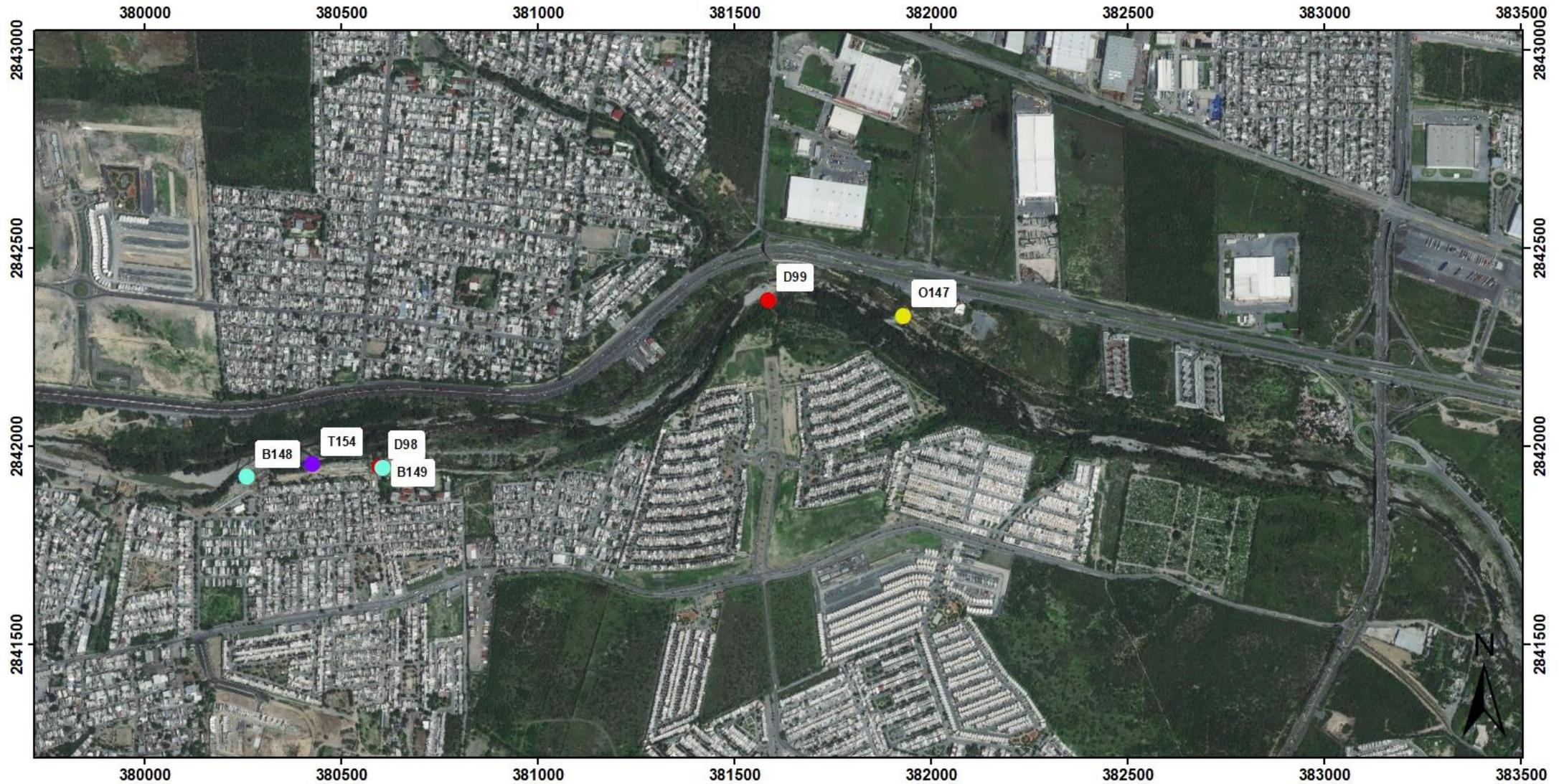
Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 DATUM: WGS84
 Escala: 1:10,000
 Imagen: Esri, 2018

- Tiradero de escorias
- Descarga
- Basurero/ Tiradero
- Otros (colectores y tirajes de aguas residuales)
- Limite municipal



Figura 102. Carta de descargas I en el municipio de Guadalupe.

Carta de descargas Guadalupe II



Simbología

- Autor: Ing. Glenda Elena Martínez Quiroga
 Sistema de coordenadas: UTM Zona 14 N
 DATUM: WGS84
 Escala: 1:10,000
 Imagen: Esri, 2018
- Tiradero de escorias
 - Otros (colectores y tirajes de aguas residuales)
 - Descarga
 - Limite municipal
 - Basurero/ Tiradero



Figura 103. Carta de descargas II en el municipio de Guadalupe.

5.2.1. Basureros / Tiraderos clandestinos

Se ubicaron 5 puntos de este tipo de zonas a lo largo del área de estudio en el Río Santa Catarina, en los municipios de Santa Catarina y Guadalupe.

Estas zonas se distinguen por ser altamente peligrosas por contribuir a la contaminación de suelos, sedimentos y aguas tanto superficiales, como subterráneas, debido a la diversa cantidad de sustancias (tanto líquidas como sólidas) que en ellas se encuentran, que, al entrar en contacto con el agua, resultan en la distribución de los contaminantes al producirse gran cantidad de líquidos lixiviados, que escurren y se infiltran, aumentando así el potencial de contaminación de los recursos hídricos (Gómez y Ramírez, 2007; 8º Foro Internacional de Residuos Sólidos, 2017).

Casos como estos se pueden encontrar en varias zonas a lo largo del Río, aunque esta problemática siendo más evidente en los municipios de Santa Catarina (B150, 151 y 152) en la carta de descargas Santa Catarina –San Pedro Garza García (Figura 96) y Guadalupe (B148 y 149) en la carta de Guadalupe II (Figura 103) con tiraderos clandestinos. Siendo más evidente el punto B149 (Figura 103), debido a la enorme acumulación de todo tipo de basura que cubre y conforma la T2 y T3 (Figura 104), e incluso alcanza la T1 (Figura 105). Aparentemente es un punto en el que las personas con viviendas cercanas acostumbran verter y quemar los residuos sólidos, encontrándose desde llantas, sillones y colchones hasta desechos de consumo diario como restos y productos de alimentos.



Figura 104. Tiradero municipal a la intemperie de Guadalupe

En general, los cúmulos de basura entran en contacto con la misma corriente de agua propia del río (Figura 105), el agua que llega por precipitación y proveniente de descargas de aguas residuales.

Lo anterior ocasionando la contaminación de las aguas, en este caso, considerando registros anteriores del análisis en las aguas superficiales, en esta zona resultaron con presencia de los metales pesados: arsénico (0.003 y 0.004 mg/L), cobre (0.002 y 0.006), cromo (0.001 y 0.002 mg/L), mercurio (0.0003 mg/L), níquel (0.001 y 0.002 mg/L), plomo (0.0009 mg/L) y zinc (0.002 mg/L), (Ramírez-Gallegos, 2017).



Figura 105. Contaminación del agua superficial por el contacto con los residuos de basura.

Otros casos específicos similares a este tipo (B149) son los B148, 150, 151 y 152, que al igual que el B149, son sitios que funcionan como tiraderos sobre los cuales se vierte y quema la basura.

5.2.2. Aguas residuales

La generación de aguas residuales es común entre habitantes ciudadanos, sin embargo, estadísticamente son en menor proporción las que reciben tratamientos adecuados. La contaminación de aguas residuales debido al vertimiento de descargas puntuales sin previo tratamiento y que pasan por tratamientos insuficientes o no adecuados son problemas relevantes que puede provocar cambios significativos en la calidad del agua de la corriente y de infiltración (Reynolds, 2002; Fabela-Saldaña, 2006; Jáuregui-Medina, et al.,

2007), ya que los contaminantes pueden llegar a las aguas subterráneas en forma disuelta, por infiltración directa de las aguas superficiales y disolución/lixiviación, o bien como un líquido independiente, si se encuentran en este estado (Conde, 1987).

En el caso del Río Santa Catarina se han identificado alrededor de 154 descargas de distintas fuentes, documentadas de la Figura 96 a la Figura 103, de las cuales, en algunas de ellas, a simple vista se ha logrado identificar en ellas residuos de aceites, jabones o detergentes, pinturas y fecales, las cuales pueden representar riesgo por la contaminación de las corrientes del río, además de lo que se pudiese infiltrar hacia las aguas subterráneas.

La D75 (Figura 106, en la carta de la Figura 100), documentada e identificada en trabajos previos como “Descarga IMSS” se encuentra drenando de manera constante aguas con coloración grisácea con algo de desechos sólidos urbanos, con estos identificándose acumulada una capa sobre el agua de color blanca con café (Figura 106).

En análisis previos en este sitio, se reportaron presencia de los contaminantes emergentes: cocaína y DEHP; así como los metales pesados: arsénico (0.0003 mg/L), cobre (0.4 y 0.04 mg/L), cromo (0.01 y 0.007 mg/L), mercurio (0.0002 mg/L), níquel (0.002 y 0.001 mg/L), plomo (0.0002 y 0.0009 mg/L) y zinc (0.02 y 0.01 mg/L), (Ramírez-Gallegos, 20017; Puente-Martínez, 2017).



Figura 106. a) Descarga D75 en el río; b) Residuos de la D75 en el río.

La D108 (Figura 107 en la carta de la Figura 102), documentada en trabajos previos como “Materno Infantil” por su cercanía a este hospital, vierte aguas grisáceas sobre la T1 del río, que posteriormente se va extendiendo. En esta zona se identificó abundante vegetación y fauna como peces y tortugas de de tamaño pequeño como hasta de 50 cm aproximadamente. El tamaño peculiar de estos se presume es debida al gran contenido de nutrientes contenidos en el agua descargada.

En análisis previos en este sitio, se reportaron presencia de los contaminantes emergentes: anfetaminas, cocaína y DEHP; así como los metales pesados: arsénico (0.005 y 0.003 mg/L), cobre (0.003 y 0.06mg/L), cromo (0.002 y 0.005mg/L), mercurio (0.0003 mg/L), níquel (0.007 y 0.06 mg/L), plomo (0.002 mg/L) y zinc (0.003 y 0.2mg/L) (Ramírez-Gallegos, 20017; Puente-Martínez, 2017).



Figura 107. Descarga D108 en el Río Santa Catarina.

Otras descargas de agua residual dentro de la zona de estudio son: D1 a D24, D27 a D38, de D40 a D42, D44 a D74, D76 a D90, D92 a D107 y D109 a D143 (ver ANEXOS del 2 al 5).

Además de la contaminación que directamente es causada por el vertido del agua residual, con el tiempo se puede generar acumulación de compuestos contaminantes y tóxicos que van quedando adheridos en los sedimentos, como claro efecto adverso de las actividades humanas a través de los años, ya que es por este medio por el cual se transporta el agua y, por tanto, también genera peligro de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Sabroso y Pastor, 2004; Guzmán-Colis, 2011).

A lo largo del Río Santa Catarina se identificaron diversas modificaciones de este tipo, en las que las descargas de agua residual muestran evidente afectación y alteración en la composición de las terrazas debido al contenido de estas mismas, dejando coloraciones anómalas en ellas como producto de los desechos que vierten, habiendo casos en los que el vertido de contaminantes solo es evidente por estas coloraciones en el medio, ejemplo claro de este caso, D112 (Figura 109, en la carta de la Figura 100).

En la Carta Monterrey-Guadalupe I (Figura 100), también se puede distinguir este tipo de afectación en la descarga D78d, (Figura 108 a), en la que del lado izquierdo se es visible el vertimiento de aguas con coloraciones principalmente

de variaciones de café con tonalidades rojizas en los sedimentos de la terraza 2 (Figura 108 b).



Figura 108. a) Descarga D78d con coloraciones café y rojizas y b) Alteración en la T2Mty, producto del contenido en la descarga D78d.

Este punto, anteriormente muestreado e identificado como “Pabellón ciudadano” (por su cercanía a este sitio), tiene registro de la presencia de los contaminantes emergentes: cocaína, DEHP y bisfenol-A, así como los metales pesados: cadmio (0.01 mg/L), cobre (0.2 y 0.4 mg/L), cromo (0.007 y 0.003 mg/L), mercurio (0.0003 mg/L), níquel (0.06 y 0.1 mg/L), plomo (0.001 mg/L) y zinc (3.4 y 15.4 mg/L) (Ramírez-Gallegos, 20017; Puente-Martínez, 2017).

La descarga D112 de la Figura 109, vierte agua sin color y sin olor aparente a través de una tubería metálica. A pesar de la ausencia de color y olor del agua, se identifica una evidente coloración verde aqua sobre la zona en la que cae y es vertida el agua, dejando esta coloración en parte de la zona de la terraza 1 y 2.

En este sitio también conocido como “Parque Fundidora”, se tiene antecedente de la presencia de los contaminantes emergentes: anfetamina, cocaína, y bisfenol-A, así como los metales pesados: arsénico (0.002 y 0.01 mg/L), cadmio (0.0001 mg/L), cobre (1.3 y 0.1 mg/L), cromo (0.04 y 0.02 mg/L), mercurio (0.0004 mg/L), níquel (0.002 y 0.002 mg/L), plomo (0.002 mg/L) y zinc (0.01 y 0.02 mg/L) (Puente- Martínez, 2017; Ramírez-Gallegos, 2017).



Figura 109. Descarga D112 de agua residual con afectación en la composición de la terraza (Tomada de: De León-Gómez, 2015).

Otro caso es la D128 (Figura 110 a), en el que a pesar de que se corresponde a una antigua descarga (lo cual se presume a partir del quiebre de la tubería), a pesar de no encontrarse actualmente rastro de fluido resiente, se percibe que persiste una coloración oxidada (rojiza) en las gravas de la T2 de la zona (Figura 110 b), la cual se presume, es el resto de lo que se vertió y desechó en cierto tiempo y que continúa hasta el día de hoy.

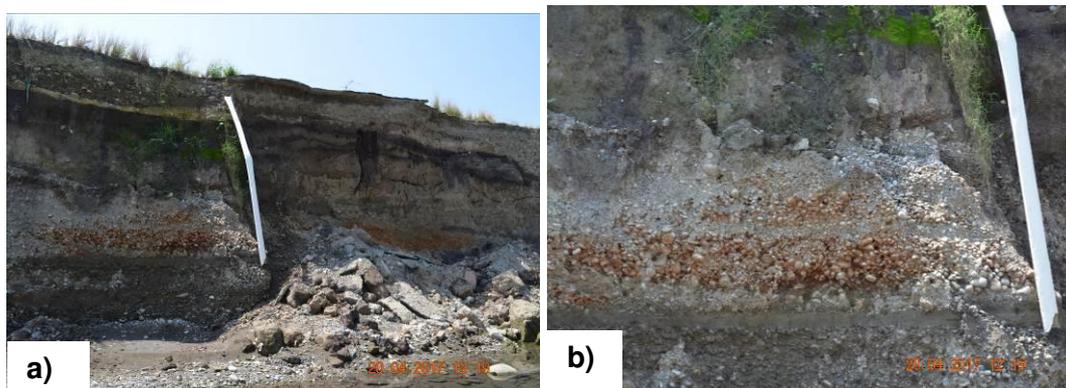


Figura 110. a) Descarga D128 en la T2 del río y, b) Coloración rojiza en los sedimentos de la T2.

Otros casos documentados similares a estos donde se presenta alteración en la coloración de la propia terraza o medio de la descarga son en la D19t, O43, D47, D49, D55, D71d, D74, D79, D68, D86, D87, D88, D91, y D134 (Ver ANEXOS del 3 al 5).

5.2.3. Tiraderos de Escoria

Se ubicaron 2 puntos de este tipo de zonas a lo largo del área de estudio en el Río Santa Catarina, en los municipios de Monterrey (T154) y Guadalupe (T153, Figura 111) en las cartas de descargas de la Figura 100 y la Figura 103 respectivamente (Anexos 4 y 5).

Estas escorias de distintos tipos de fundición (Antigua industria siderúrgica de fundiciones de hierro y acero de Fundidora Monterrey) fueron depositadas en cantidades no cuantificadas en varias zonas del área metropolitana de Monterrey, entre ellas en los cauces del río Santa Catarina (Limón -Rodríguez, 2000).

Las escorias de fundición son consideradas como residuos industriales peligrosos, representando un impacto ambiental negativo significativo, ya que puede provocar la contaminación del suelo, el manto freático y aguas superficiales (INECC, 2007 y Queipo-García et al., 2011).



Figura 111. Tiradero de escorias (T152) por el margen derecho del Río Santa Catarina, Guadalupe.

5.2.4. Otros

Dentro de este apartado se consideran las fuentes de: colectores sépticos, fugas en tuberías en el río, desborde de red de alcantarillado de drenaje y sitios puntuales identificados donde se vierten residuos líquidos.

La contaminación de aguas y pozos someros (incluso profundos con el paso del tiempo) debida a fugas de los sistemas de alcantarillado, tanques sépticos y letrinas en zonas urbanas es reconocida como un gran problema. Estas probablemente constituyen la fuente más común y propagada de contaminación difusa que puede traer consecuencias inmediatas como la migración de bacterias y virus patógenos (Dávila- Porcel, *et al.*, 2011).

En la zona de estudio se identificaron casos de afectación por parte de colectores sépticos, en los que se puede sobrepasar su capacidad provocando derrames en el Río, así como también fugas por parte del traslado y almacenamiento (O144, O145, O146, O147 y O39). En el caso de la O26 (Figura 97), se presenta derrame por parte de alcantarillado de drenaje sanitario, vertiendo los excedentes directamente hacia el Río (Figura 112). Como característica, se distingue abundante vegetación en la zona del derrame de “aguas negras” hacia el Río.



Figura 112. Derrame de drenaje sanitario vertido directamente hacia el río (O26).

Por otro lado, en el O145 (Figura 98) hay derrame de aguas con coloración grisácea con olores desagradables. Este punto también señalado como “Colector San Pedro” (Figura 113), presenta antecedentes con resultados que evidencian la presencia de los contaminantes emergentes: cocaína, DEHP y bisfenol-A; así como los metales pesados: arsénico (0.0001 mg/L), cobre (0.004 y 0.005 mg/L), cromo (0.005 y 0.0004 mg/L), mercurio (0.0002 mg/L), níquel (0.1 y 0.002 mg/L), plomo (0.005 y 0.0001 mg/L) y zinc (0.2 y 0.007 mg/L).

Dentro de este apartado entran también los puntos O144, O146, O147 (colectores), O39 (fuga en tubería) y O43 (fuente puntual de desechos líquidos) (Figura 97, Figura 98 , Figura 103 y Anexos del 2 al 5).



Figura 113. Derrame de aguas en el colector San Pedro Garza García sobre el río.

5.3. Áreas contaminantes y de descargas de los cuatro municipios

Los mapas escala 1:10,000 muestran la ubicación de cada una de las fuentes contaminantes documentadas. A continuación, se presenta la respectiva distribución por municipio:

5.3.1. Fuentes contaminantes y descargas en Santa Catarina

En el área del municipio de Santa Catarina se identificaron 18 posibles fuentes contaminantes en el río (Figura 96), de las cuales 9 se encontraron activas durante las visitas a campo como descargas y 3 como pequeños tiraderos clandestinos.

Partiendo desde la salida de la Huasteca (inicio del tramo de estudio) hacia el Norte por el margen izquierdo, predominan los asentamientos irregulares y pequeñas viviendas, por otro lado, por el margen derecho se encuentra colindando directamente con la equivalente a la Av. Dr Ignacio Morones Prieto, y esta a su vez con unidades habitacionales, académicas y negocios locales.

Como parte de las descargas, se identificaron que algunas de ellas correspondían a origen doméstico, provenientes de las casas y asentamientos irregulares que colindan con el río, de los que incluso las mismas personas vierten y conectan sus residuos líquidos directamente hacia este como se muestra en la Figura 114 a y b (D4 y D12 respectivamente).

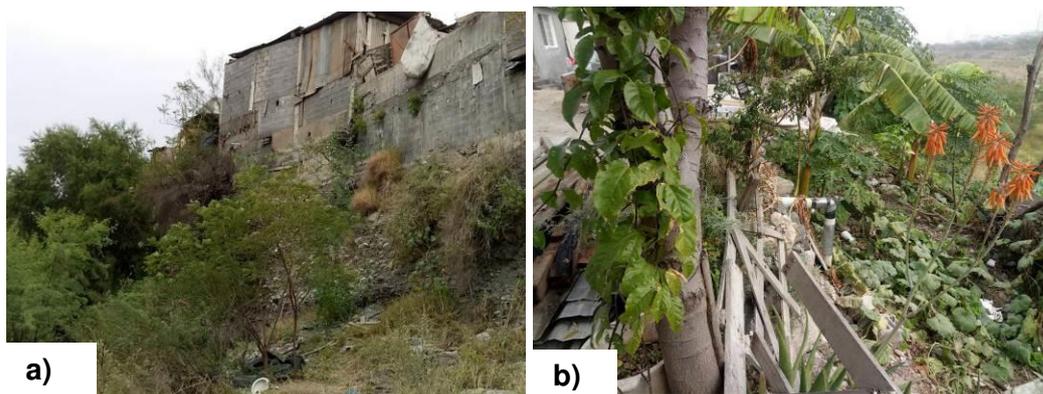


Figura 114. a) Descargas vertidas directamente de asentamiento irregular hacia el río y b) Conexión de la descarga D12 directamente hacia el río.

Como parte de las fuentes en el río también se encuentran pequeños tiraderos clandestinos, cuyo origen se presume es por parte de la misma gente que vive aledaña al río, que vierte y quema sus residuos sólidos en ciertas zonas establecidas por ellos mismos como se muestra en la Figura 115 a y b (B151 y B152).

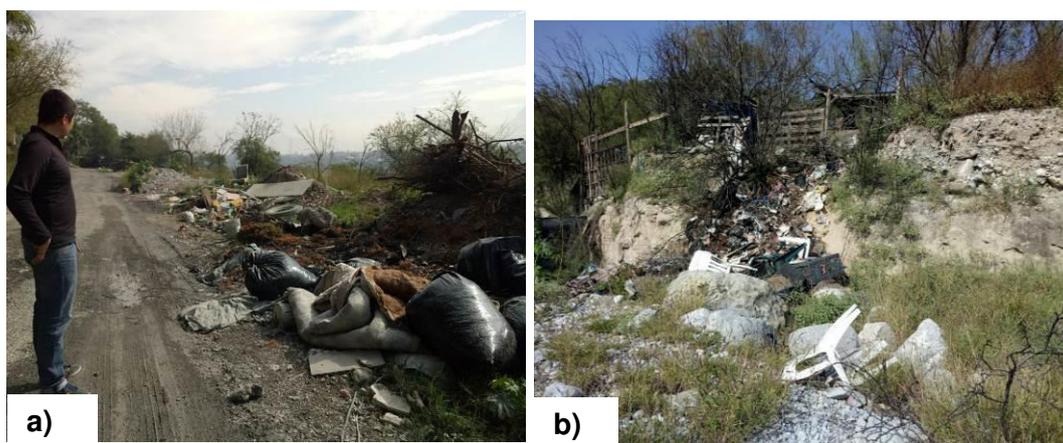


Figura 115. Tiraderos de basura B151 y B152 (a) y (b), respectivamente, con vertimiento y quema de basura.

5.3.2. Fuentes contaminantes en San Pedro Garza García

En el área de San Pedro Garza García se identificaron 34 posibles fuentes contaminantes hacia el río (Figura 96 y Figura 97), las cuales 29 corresponden a descargas, 2 a colectores, 1 a derrame en la red de drenaje, 1 a fuga en la tubería con desechos líquidos, y 1 correspondiente a un lugar puntual donde se vierten desechos líquidos. De las cuales, del total, 16 se encontraron de forma activa (referido específicamente al momento que fueron documentadas).

Partiendo hacia el Este por el margen izquierdo, predominan unidades habitacionales, pequeñas viviendas irregulares y la Av. Antonio L. Rodríguez

(previa a Av. Constitución); por otro lado, por el margen derecho se encuentra colindando directamente con la Av. Dr Ignacio Morones Prieto, y ésta a su vez con unidades habitacionales y negocios locales.

Se infiere el origen de algunas de las fuentes, como es el caso por ejemplo de descargas pluviales, que hasta cierto punto serían las más comunes, pero se percibe que estas se usan de manera clandestina para verter otro tipo de desechos líquidos hacia el río evidenciados por los colores y aparente contenido de las descargas identificados en cada punto.

Algo que empieza a ser más común a partir de este municipio, es encontrar vegetación más abundante justo en los puntos de descarga, lo que hace presumir el contenido de contaminantes y materia orgánica en estas mismas. Tanto así, que llegó a ser un parámetro en campo para localizar las descargas que no se encontraban a simple vista, si no por dentro de estos puntos de abundante vegetación. Un ejemplo de lo anterior es la D15 ubicada en la Figura 96 (Figura 116 a), a pesar de no contar con olor aparentemente desagradable, se localizó dentro de abundante vegetación específicamente en el sitio (Figura 116 b).



Figura 116. a) Abundante vegetación en el sitio de la D15 y b) Descarga D15 en la T2. a) Abundante vegetación en el sitio de la D15 y b) Descarga D15 en la T2.

Otros ejemplos similares son en las descargas D18 y D33, localizadas bajo el mismo parámetro de presencia de vegetación y el sonido que produce el agua al caer dentro de esta (Figura 117 a y b).

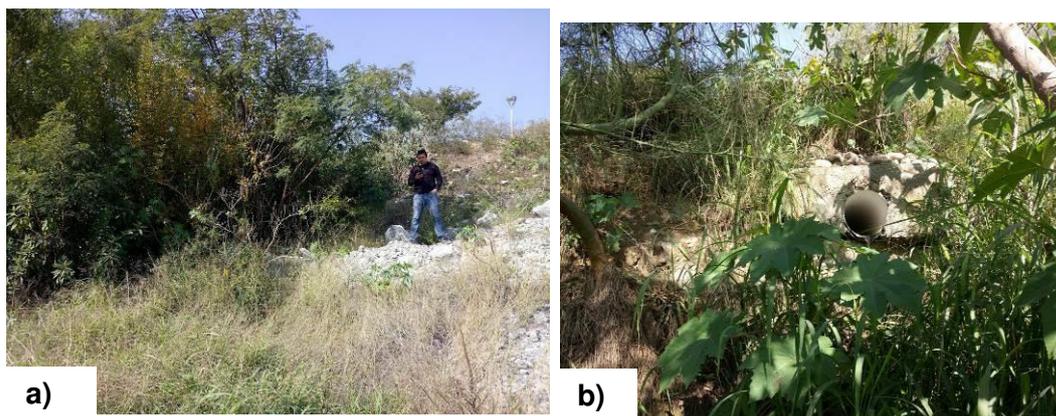


Figura 117. Descargas D18 y D33 con presencia de abundante vegetación.

Se identificaron descargas probablemente domésticas, con aparente contenido de detergentes o jabones debido a la coloración blancuzca y la espuma generada en esta misma. Lo anterior relacionado de manera superficial, cabe mencionar que son necesarios los análisis físico-químicos a detalle para la completa caracterización de los componentes vertidos. La descarga D24 ubicada en la Figura 97, vierte residuos líquidos con coloración blanca, acompañada de residuos sólidos de basura (Figura 118 a); por otro lado, la D47 (Figura 97), vierte los residuos líquidos directamente sobre el río, identificándose una peculiar espuma blanca producida al ser vertida sobre la T1, con olores fétidos (Figura 118 b).



Figura 118. a) Descarga D24 hacia el río y b) Descarga D47 sobre el río.

Otra fuente contaminante que vale la pena mencionar, es la zona de aporte del arroyo “El Obispo” (Figura 119 a), el cual vierte gran cantidad de desechos sólidos y líquidos residuales hacia el río Santa Catarina.

Este arroyo está catalogado como corriente intermitente (presenta caudal principalmente en épocas de lluvia) y como aportante de contaminación debido a la disposición de basura y desechos sólidos en este (San Pedro, 2010).

En este sitio D38 ubicado en la Figura 97, se identificó aporte de residuos líquidos (origen desconocido) con olor desagradable, así como coloración grisácea y café en las zonas estancadas (Figura 119 b).



Figura 119. a) Sitio de aporte del arroyo “El Obispo” arroyo al hacia el río, y b) Vertimiento de residuos líquidos del río Santa Catarina.

Además del vertimiento de aguas residuales, se identifica el aporte de basura, ya que, a ciertos metros de esta zona de aporte, se encuentra gran cantidad de basura esparcida por la vegetación en la zona (Figura 120 a), que esta a su vez se sigue extendiendo a cientos de metros a través de la T1 (Figura 120 b).



Figura 120. a) Basura esparcida cercana al sitio de la D38 y b) Basura extendida a través de la T1.

5.3.3. Fuentes contaminantes y descargas en Monterrey

En el área de Monterrey se identificaron 49 posibles fuentes contaminantes de descargas hacia el río (de la Figura 97 a la Figura 101), de las cuales 25 se identificaron activas (referido específicamente al tiempo de documentación) y 3 de ellas tienen antecedentes de contenido de metales pesados y contaminantes emergentes (D75, D78d y D112).

Partiendo hacia el este por el margen izquierdo se colinda con la Av. Antonio L. Rodríguez, posteriormente Av. Constitución; por otro lado, por el margen derecho se encuentra colindando directamente con la Av. Dr Ignacio Morones Prieto. Estas avenidas a su vez colindan con colonias de viviendas, negocios locales, parques recreativos, instituciones educativas, industrias, hospitales, siendo la zona mayormente urbanizada.

La descarga D49 presenta derrame de aguas residuales asociadas a drenaje sanitario (Figura 121 a), debido al intenso olor fétido característico de este origen, con coloración café a grisácea, en ciertas zonas con capas formadas en la superficie color blancas a grises (Figura 121 b).



Figura 121. a) Descarga de aguas residuales D49 y b) Aguas negras” provenientes de la D49.

La descarga D68c, consta de tres ductos de vertimiento circulares y a un costado inferior, una salida rectangular de vertimiento de gran dimensión (Figura 122 a). En este sitio el agua presenta en general, un peculiar color turquesa oscuro, distribuido en la zona, posiblemente proveniente del ducto rectangular (Figura 122 b).



Figura 122. a) Descarga cuádruple D68cy b) Aguas residuales de la D68c.

Por otro lado, en la zona de vertimiento de los tres ductos circulares, se percibe una coloración blanca, que posteriormente se va extendiendo (Figura 123 a). A pesar de las aguas descargadas con tal peculiar coloración, no se reconoció aparentes olores desagradables. Cabe mencionar que en esta zona se encuentra con la presencia de fauna como peces de talla pequeña a mediana y se logró distinguir una tortuga sin vida (Figura 123 b).

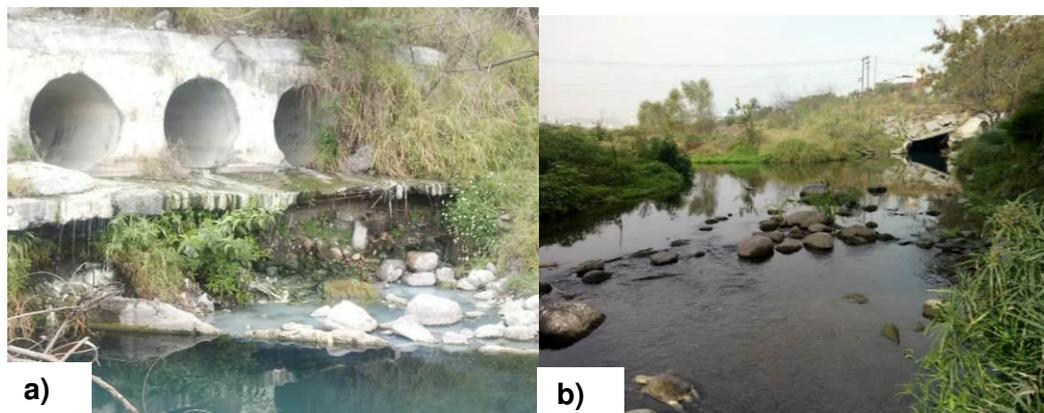


Figura 123. a) Residuos líquidos de la D68c y b) Tortuga sin vida en sitio de descarga D68c

5.3.4 Fuentes contaminantes y descargas en Guadalupe

En el área de Guadalupe se identificaron 53 posibles fuentes contaminantes de descargas hacia el río (de la Figura 100 a la Figura 103), de las cuales 28 se identificaron activas (referido específicamente al tiempo de documentación), 2 de ellas tienen antecedentes de contenido de metales pesados, y de esas, una de contaminantes emergentes (D108 y B148).

Partiendo hacia el este por el margen izquierdo se colinda con la Av. Constitución, posteriormente carretera libre Mty-Reynosa; por otro lado, por el margen derecho se encuentra colindando directamente con la Av. Dr Ignacio

Morones Prieto. Estas avenidas a su vez colindan con colonias de viviendas, negocios locales, parques recreativos, industrias y hospitales.

Dentro de la zona, en la D91 se registran aparentes residuos fecales, evidentes en forma aún sólida (Figura 124 a) y vertidos a través de un colector de gran dimensión que además drena aguas con coloración café grisácea e intenso olor fecal (Figura 124 b)



Figura 124. a) Aparente descarga de residuos fecales y b) Residuos fecales en descarga de agua residual D91.

Caso similar al anterior, es la D92 vertiendo aguas con coloración café grisácea, incluyendo residuos sólidos directamente hacia el río. El sitio de la descarga se encuentra rodeado por abundante vegetación y es distintivo a causa del intenso olor desagradable que emiten los residuos (Figura 125).



Figura 125. Descarga de agua residual D91.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La acción humana y el acelerado crecimiento demográfico del AMM han alterado de manera permanente y continua el Río Santa Catarina. La necesidad de identificar y evaluar el medio geológico ha derivado en esta tesis, la cual provee la caracterización geológica de las terrazas del mismo río, las direcciones del flujo del agua subterránea y sus variables de conductividad hidráulica, así como la identificación y documentación de descargas contaminantes.

En general, se identificaron 4 tipos de terrazas en las margenes del Río Santa Catarina, siendo estas la más reciente la T1 y la más antigua la T4, con espesores que varían de 2 a 8 metros, con composición de gravas arenosas a gravas-arenosas-arcillosas-limosas. El espesor de ellas es decreciente desde el municipio de Santa Catarina hasta Guadalupe. Además, se observó el contacto geológico discordante de las terrazas con las lutitas de la Formación Méndez y las calizas, margas y lutitas de la Formación San Felipe. Estas Formaciones geológicas representan la base cretácica de rocas consolidadas, en las cuales sobreyacen los sedimentos cuaternarios de las terrazas.

La composición general de las terrazas por municipio es el siguiente: gravas arenosas en la T1SC, gravas arenosas limosas en la T2SC, arenas limosas en la T3SC, gravas arenosas limosas en la T4SC, arenas gravosas limosa en la T1SP y T2SP, arenas limosas en la T3SP, arenas limosas gravosas en la T4SP, gravas arenosas en la T1 Mty, gravas arenosas limosas en la T2Mty, gravas arenosas en la T3Mty, T1Gpe y T2Gpe y arenas gravosas en la T3Gpe.

Acorde a los análisis granulométricos, la composición general de la T1, T2 y T4 es similar; éstas presentan gravas arenosas con bajo contenido en finos. Por su parte, la T3 está compuesta por gravas arenosas y arenas gravosas con bajo contenido en finos; cuyas composiciones concuerdan con las observaciones de campo, por lo que se considera estas representan el acuífero de poros del área de estudio.

La carta piezométrica muestra niveles piezométricos entre 516 a 557 msnm con un nivel promedio de 543 msnm con una configuración de isolíneas que muestran una dirección general del flujo del agua subterránea de W a E. Los niveles estáticos varían entre 5 a 28 metros. El gradiente piezométrico medio es de 0.00651 (0.65%).

Los valores de conductividad hidráulica (K) del área de estudios obtenidos a partir de la composición granulométrica, oscilan entre los 2.4 a 8.7×10^4 m/día. Los valores de K más altos se encuentran en la T1 y los más bajos en la T3.

La terraza con valor más alto de conductividad hidráulica, es la T1 Guadalupe, alcanzando valores de hasta 8.7×10^4 m/día, considerada como “muy permeable”; por otro lado, la T3 Monterrey presenta el valor más bajo con 2.4 m/día, considerándose en el límite entre “algo permeable” a “permeable”. Los datos de K son cruciales para identificar como es el transporte del agua y las descargas en el área de estudio del Río Santa Catarina. Consecuentemente, considerando la información granulométrica y composicional observada en campo, los contaminantes líquidos que alcancen la T1 serán mas susceptibles a ser transportados a través del Río.

El área de estudio del Río Santa Catarina, se encuentra en una zona urbanizada con afectación directa hacia este por medio de descargas, tiraderos, entre otros tipos de fuentes contaminantes, los cuales causan un impacto negativo hacia el agua tanto superficial como subterránea, ya que entre los contaminantes que se han identificado en estudios previos (Rámirez-Gallegos, 2017 y Puente-Martínez, 2017), se encuentran como afectantes metales pesados y contaminantes emergentes. Se identificó un total de 154 fuentes de descargas hacia el río; de las cuales 18 en el municipio de Santa Catarina, 34 en San Pedro Garza García, 49 en Monterrey y 53 en Guadalupe. De las cuales se identificaron descargas con flujos intermitentes (D71) y con flujos perennes (D75).

Las terrazas que resultaron tener mayor afectación de acumulaciones de desechos de basura fueron la T1SC, T2SC, T1SP, T2SP, T1Gpe y T2Gpe. Lo anterior puede ocasionar que, a causa de los desechos acumulados, al entrar en contacto con el agua, pudieran afectar no solamente el agua superficial que escurre a la presa El Cuchillo, si no también generar lixiviados que se movilizan hacia el agua subterránea.

Los aspectos geológicos, hidrogeológicos y descargas proporcionan un panorama general de la situación actual del Río Santa Catarina y el medio geológico por el cual se conduce el agua y sus contaminantes, importantes como base para futuras evaluaciones y estudios ambientales vinculados con el abastecimiento y la calidad del agua potable para la ciudad de Monterrey y su zona metropolitana.

6.2. Recomendaciones

- Realizar análisis granulométricos detallados a equidistancias y profundidades para corroborar y complementar la composición de las terrazas.
- Llevar a cabo un control de los pozos existentes y su estatus, así como el monitoreo de los niveles estáticos, para realizar comparativas de las cartas piezométricas y su comportamiento hidrogeológico en los distintos tiempos: ordinario, sequía y de lluvias.
- Realizar pruebas de bombeo en distintos puntos del área de estudio, de preferencia que coincidan con los puntos de muestreo granulométrico, para así comparar con los datos de conductividad hidráulica obtenidos en el presente trabajo a partir de datos granulométricos.

- Se recomienda realizar análisis hidrogeoquímicos, bacteriológicos, de metales pesados y contaminantes emergentes, y hacer una comparativa con la NOM-127-SSA1-1994 de salud ambiental, agua para uso y consumo humano y límites permisibles de calidad para conocer si estas representan riesgos para la salud de las personas considerando que son parte de abastecimiento superficial y subterráneo.
- Evaluar si las descargas cumplen con los lineamientos y parámetros marcados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.
- Continuar con la identificación de las descargas hasta la presa El Cuchillo y complementar la presente base de datos para detectar y rastrear fuentes contaminantes ilegales que viertan residuos al Río.
- Prestar especial atención a la presencia de contaminantes emergentes en el agua, considerando que estos no están aún incluidos en la NOM para agua potable, y que a largo plazo podrían representar un riesgo para la salud.
- Crear un programa ambiental eficiente para regular las descargas vertidas hacia el Río Santa Catarina bajo la normatividad y operación de las normas ambientales mexicanas.
- Elaborar programas de remediación y/o saneamiento de las áreas contaminadas del Río cuya finalidad sea disminuir la contaminación de las aguas escurridas hacia el vaso de la presa El Cuchillo, fuente superficial de abastecimiento de agua potable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar-Martínez, G. A. (2014): "Información digital como apoyo a Proyectos de Ingeniería. Caso de aplicación: Proyectos de Hidrología. (Tesis de Licenciatura). FI/UNAM, Ciudad de México, México.
2. Alva-Niño, E. (1995): Datos Base y Metodología para la elaboración de una carta Ingeniero-Geológica de la Zona Metropolitana de Monterrey, N.L., México (Tesis de Licenciatura). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
3. Alva-Niño, E. (1997): Estudio Geológico –Hidrogeológico de la Región Noroeste (Sierra las Mitras- Cerro el Topo- Cerro el Durazno) de Monterrey, Nuevo León/ México (Tesis de Maestría). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
4. Andrés de Pablo, N., Zamorano Orozco, J. J., de Sanjosé Blasco, J. J., Tanarro García, L. M., & Palacios Estremera, D. (2014). Evolución post-lahárica de un canal proglaciar: garganta de Huiloac (México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66(2), 305-328.
5. Arango-Guevara, A. F., Mitre-Salazar, L. M., Martínez-Reyes, J., 2007. Actualización del conocimiento geológico en la Cuenca del Río Chichimequillas, Estado de Querétaro, México: Trabajos de Geología, 27, 29-39.
6. ASTM Committee D-18 on Soil and Rock. (2011). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International.
7. Biswal, Sabinaya, Madan K. Jha, and Shashi P. Sharma. "Hydrogeologic and hydraulic characterization of aquifer and nonaquifer layers in a lateritic terrain (West Bengal, India)." Hydrogeology Journal (2018): 1-27.
8. Brauns, B., Bjerg, P. L., Song, X., & Jakobsen, R. (2016). Field scale interaction and nutrient exchange between surface water and shallow groundwater in the Baiyang Lake region, North China Plain. Journal of Environmental Sciences, 45, 60-75.
9. Collazo-Caraballo, M. P. y Montaña-Xavier, J. (2012). Manual de Agua Subterránea: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay. 121 pp.
10. CONAGUA. (2007). Guía para el control de descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Recuperado de: <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Gu%EDa%20para%20el%20control%20de%20descargas.pdf>
11. CONAGUA. (2011). Estudios de impacto a lo largo del Río Santa Catarina por el Huracán Alex. Recuperado de: CONAGUA.
12. CONAGUA. (2015). Agua Subterránea. México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de: <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/aguasubterranea?idiom=es>
13. CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Área Metropolitana de Monterrey (1906). Gobierno del

- Estado: Nuevo León. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103158/DR_1906.pdf
14. Custodio E., & Llamas M.R. (1996). Hidrología subterránea. Segunda edición. Omega. Tomo I. Barcelona.
 15. Dávila–Porcel, R. A., De León- Gómez, H., 2011, Importancia de la hidrogeología urbana; ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63(3).
 16. Davis S.N y West R. (1971). Hidrogeología. Primera edición. ARIEL. Barcelona.
 17. De la Garza-Garza, C. M. (1988): El Agua y la Sociedad: Abastecimiento y contaminación del agua en el Área Metropolitana de Monterrey, N.L. (Tesis de Maestría). FFyL/ UANL, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
 18. De León-Gómez, H., Schetelig, K., Meiburg, P., 1994, Abastecimiento de agua potable en el noreste de México. Ejemplo: Presa Cerro Prieto: Zbl. Geol. Palaont. Teil I, 593-602.
 19. De León-Gutiérrez, A. (1999): Investigación sobre las terrazas fluviales del Cañón Santa Rosa, Iturbide, N.L., como base para el establecimiento de una estratigrafía del Cuaternario en el Norestes de México. (Tesis de Maestría). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
 20. Devlin, J. F., 2015, HydrogeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis: Hydrogeology Journal, 23, 837-844.
 21. Devlin, J. F. (2017). Reply to Comment on “HydrogeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis”: Hydrogeology Journal (2015) 23: 837–844, by JF Devlin. Hydrogeology Journal, 25(2), 593-596.
 22. Eguiluz de Antuñano, S., Aranda–García, M., Marrett, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 53, 1–26.
 23. ELAPR. (2008). Protección de Aguas Subterráneas: Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Recuperado de: http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/SAIA/Laboratorio_%20Agrologico/Folleto%20Informativo/PROTECCION%20DE%20AGUAS%20SUBTERRANEAS.pdf
 24. Esparza-Hernández, L. G. (2014): Estudio del manejo y conservación del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), según decreto del 2000 bajo un enfoque de desarrollo sustentable basado en la participación ciudadana (Tesis Doctoral). IINSO/UANL, Monterrey, Nuevo León, México.
 25. Ferrino-Fierro, A. L., Guerra-Cobián, V. H., Bruster-Flores, J. L., De Lira-Reyes, G., Cavazos-González, R. A., 2010. Control de inundaciones en zonas urbanas, caso de estudio: Presa Rompe Picos “Corral de Palmas” ubicada en Santa Catarina, Nuevo León (México): Ciencia FIC, 1, 5-9.
 26. Fiandaca, G., Maurya, P. K., Balbarini, N., Hördt, A., Christiansen, A. V., Foged, N., Auken, E. (2018). Permeability Estimation Directly From

- Logging-While-Drilling Induced Polarization Data. *Water Resources Research*, 54(4), 2851-2870.
27. Flores-Laureano, J. (1997): Evaluación de la calidad de agua del Río San Juan en el Estado de Nuevo León (Tesis de Maestría). FCF/UANL, Linares, Nuevo León, México
 28. Foster, S., Ventura, M. & Hirata, R. (1987). Groundwater Pollution: An Executive Overview of the Latin America- Caribbean Situation in Relation to Potable Water Supply (Lima, Perú: WHO, PAHO & CEPIS).
 29. Frollini, Eleonora, et al. "A Methodological Approach to Assess the Dissolution of Residual LNAPL in Saturated Porous Media and Its Effect on Groundwater Quality: Preliminary Experimental Results." *Water, Air, & Soil Pollution* 227.10 (2016): 379.
 30. Fuentes-Mariles, O. A., Aragón-Hernández, J. L., De Luna-Cruz, F., Vélez-Morales, L., Morales-Rodríguez, H. L., Franco, V., 2014. Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México, zona de estudio Área Metropolitana de Monterrey: Ríos Pesquería, Santa Catarina y San Juan: CONAGUA. México.
 31. Galván-Mancilla, S.M. (1996): Cartografía Hidrogeológica de la terraza baja entre Hualahuis y Linares N.L. (Tesis de Licenciatura). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
 32. García-Quintero, J. (2008): Determinación de los riesgos geológicos en el Noreste del Cerro de las Mitras dentro del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México (Tesis de Licenciatura). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
 33. Giacobone, D., et al. "Assessment of groundwater volumes and quality suitability for different uses." *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2018.
 34. Gómez-Anguiano, M., Ramírez- Chávez, R. J., 2007. Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas en la Heroica Ciudad de Huajapan de León, Oaxaca: *Temas de ciencia y tecnología*, 11(33), 23-28.
 35. González, A., & Moñino, M. (2000). Fotointerpretación geomorfológica aplicada al estudio de la evolución del relieve. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(1), 23-31.
 36. Guzmán-Colis, G., Ramírez- López, E. M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Barrera-Guerrero, A. L. y Avelar- González F. J., 2011, Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes: *Universidad y Ciencia*. 27(1).
 37. INECC (2007): Fuentes contaminantes en México. Recuperado de: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html>
 38. INEGI, (sin fecha). Clima: Cuéntame INEGI. Recuperado de: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/territorio/clima.aspx?tema=me&e=19>
 39. INEGI. (sin fecha). Fisiografía: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>

40. INEGI (1976): Carta Geológica Garza García G14C25. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
41. INEGI (1977): Carta Geológica Monterrey G14C26. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
42. INEGI. (2008). Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.
43. INEGI. (2017). Clima. Nuevo León: Cuéntame INEGI. Recuperado de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/territorio/clima.aspx?tema=me&e=19>
44. INEGI. (2015). Número de habitantes. México: Cuéntame INEGI. (<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/NL/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=19>).
45. INE. (1988). Estudio de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de: http://repositorio.inecc.gob.mx/ae/ae_001639-2.pdf
46. Jáuregui-Medina, C., Ramírez-Hernández, S., Espinosa-Rodríguez, M. A., Tovar-Rodarte, R., Quintero-Hernández, B. y Rodríguez-Castañeda, I., 2007. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución: Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3(1), 65-73.
47. Limón-Rodríguez, B. (2000): Residuos peligrosos en el estado de Nuevo León, situación actual y perspectivas. (Tesis de Maestría). FIC/UANL, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
48. Lizárraga-Mendiola, L. G. (2003): Análisis y Evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y La Petaca, Linares, N.L., México (Tesis de Maestría). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México.
49. Lizárraga-Mendiola, L. G., De León-Gómez, H., Medina-Barrera, F. y Navar, J., 2006. Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México: Ciencia UANL, 9, 426-430.
50. Longwell, C. R., Flint, R. (1983), Geología física, 1ª ed., México DF, México: Limusa.
51. Lugo-Hubp, J. 1990. El relieve de la República Mexicana: Revista del Instituto de Geología, UNAM. 9(1), 82-111.
52. Martínez-Solís, A. (2016): Impacto de la sequía en el acuífero del Centro de Producción Agropecuaria (CPA)/UANL, Linares, N.L. (Tesis de Maestría). FCT/UANL, Linares, Nuevo León, México
53. Maurya, Pradip Kumar, et al. "Subsurface imaging of water electrical conductivity, hydraulic permeability and lithology at contaminated sites by induced polarization." *Geophysical Journal International* 213.2 (2018): 770-785.
54. Mazari-Hiriart, M. (2003). El agua como recurso. *¿Cómo ves?* (54), 10-12.
55. Miller, J.R., y Orbock-Miller, S.M., (1 Ed.). (2007). *Contaminated Rivers*: Springer. USA. 418 pp.
56. Montalvo-Arrieta, J. C., Cavazos-Tovar, P., de León, I. N., Alva-Niño, E., & Medina-Barrera, F. (2008). Mapping seismic site classes in Monterrey Metropolitan Area, northeast Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2), 147-157.

57. Montalvo-Arrieta, J. C., Ramos-Zúñiga, L. G., Navarro-de León, I., Ramírez-Fernández, J. A. (2011). Una aproximación a la regionalización del estado de Nuevo León, basada en velocidades de propagación de ondas de corte y evidencias geológicas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 217-233.
58. Mora, A., Rosales-Lagarde, L., Hernández-Antonio, A., y Mahlkecht, J. (2017). Hydrogeochemistry of groundwater supplied to the City of Monterrey, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17(2017), 356-359.
59. Morán-Zenteno, D.J. 1984. Geología de la República Mexicana. INEGI. México, D.F. 88p.
60. NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
61. NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
62. Okoyeh, E. I., et al. "Evaluation of water resources potential of part of benin formation, niger delta, Nigeria." *Journal of Basic Research*, January 2018.
63. Olmos-Ramos, R., Sepúlveda-Marqués, R. y Villalobos-Moreto, F. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México: Plaza y Valdés, 210 pp.
64. Olsen, Jonas Thu. (2016). Modeling the evolution of salinity in the Motril-Salobreña aquifer using a paleo-hydrogeological model (Tesis de maestría). Universitas Osloensis.
65. OMS. (2017). Agua: World Health Organization (WHO). Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
66. Padilla y Sánchez, R.J., 1985, Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 6, 1–20.
67. Padilla y Sánchez, R.J., 1982. Geologic Evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, Mexico: Austin, Texas, E.U.A., The University of Texas at Austin, tesis doctoral, 217 p.
68. Plan de desarrollo urbano municipal San Pedro Garza García Nuevo León 2024. Diagnóstico y pronóstico. Recuperado de: <https://www.sanpedro.gob.mx/gobierno/PlanDesarrolloUrbano/PDFs%20202/diagnosticoypronostico.pdf>
69. Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza García, N. L. 2000-2020. Diagnóstico y pronóstico de los asentamientos humanos. Recuperado de: https://www.sanpedro.gob.mx/gobierno/PlanDesarrolloUrbano/PDFs/05_PLAN_3.pdf.
70. Porras-Martín, J., Nieto López-Guerrero, P., Álvarez- Fernández, C., Fernández-Urúa, A. Gimeno, M. V. (1985). Calidad y Contaminación de las

- Aguas Subterráneas en España. Recuperado de: <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/lib43.htm>
71. Puente-Martínez, U. A. (2017): Desarrollo de un modelo para analizar la movilización de contaminantes emergentes hacia el Río Santa Catarina, en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México, en un sistema de información geográfica. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería civil /UANL, Monterrey, Nuevo León, México.
 72. Queipo-García, M., Montalván-Estrada, A., Ferrer-Ramos, A. L., Rosa-Suárez, R., Veitia-Rodríguez, E. y Caparrós-Cubeña, Y. 2011. Aprovechamiento de los residuales sólidos de la unidad básica de fundición en la fábrica de cemento 26 de julio de Nuevititas: Revista de tecnología química, 31, 1.
 73. Ramírez-Gallegos, D. (1997): Caracterización Hidrogeoquímica de Metales Pesados en el Río Santa Catarina/Monterrey, Nuevo León (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería/UASLP, San Luis Potosí, S.L.P., México.
 74. Reynolds, K. A., 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica: identificación del problema: Agua Latinoamericana, De La Llave.
 75. Rosas- Aguilar, J. (2013). Analysis of Grain Size Distribution and Hydraulic Conductivity for a Variety of Sediment Types with Application to Wadi Sediments (Tesis Doctoral). King Abdullah University and Technology, Thuwal, Kingdom of Saudi Arabia.
 76. Rosas-Aguilar, J., Lopez, O., Missimer, T. M., Coulibaly, K. M., Dehwah, A. H., Sesler, K., Mantilla, D. (2014). Determination of hydraulic conductivity from grain-size distribution for different depositional environments. *Groundwater*, *Groundwater* 52(3), 399-413.
 77. Ruiz, M. (1990) Zur Gliederung Verbreitung und ökologischen Bewertung der Boden im Gebiet von Linares, N.L. PhD thesis, Göttingen Beitr. Z. Land U. Forstw. Tropen und Suptropen, Göttingen.
 78. Russoniello, Christopher J., James W. Heiss, and Holly A. Michael. "Variability in benthic exchange rate, depth, and residence time beneath a shallow coastal estuary" (2018). *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123.3: 1860-1876.
 79. Sabroso-González, M. C. y Pastor- Eixarch, A., 2004, Guía sobre suelos contaminados: CEPYME Aragón.
 80. Saldaña-Fabela, M. D. P., Díaz-Pardo, E., y Gutiérrez-Hernández, A. (2011). Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses en cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 2(3), 115-126.
 81. Sánchez de Llanos, J.A., Carbajal- Tradacete, F. J., González-Burdiel, J. L., Del Río-Benito, O., Gonzalvo-Navarro, J., García-Moral, F. J. y Gutiérrez-Iglesias, D. (2015). Uso del agua en Nuevo León: Oferta y demanda perspectiva del proyecto Monterrey VI. The Nature Conservancy.
 82. Sánchez F.J. (2014). Conceptos fundamentales de hidrogeología.
 83. SAyDM. (sin fecha). Análisis de Alternativas de Fuentes de Abastecimiento a la Zona Metropolitana de Monterrey, NL: Servicios de

- Agua y Drenaje de Monterrey. Recuperado de:
https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Resumen_Analisis_de_Fuentes_MTYVI.pdf
84. SAyDM. (2011). Soluciones Sencillas a un problema difícil. Monterrey, N.L., México: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. Recuperado de <https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/prensa.jsp?id=270>
 85. SAyDM. (2017). Infraestructura- Fuentes de Abastecimiento: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. Recuperado de: <https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/seccion.jsp?id=141>
 86. SDS. (2010). Atlas de riesgo para el Estado de Nuevo León: Secretaría de Desarrollo Sustentable Nuevo León. Recuperado de: http://200.23.43.29/atlas/INFORME_ATLAS_RIESGO_NL_AGO_2010.pdf
 87. SEMARNAT. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México: El agua. SEMARNAT. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
 88. SGM (2015): Carta Geológico-Minera Garza-García G14-C25. Servicio Geológico Mexicano
 89. Tarbuck, E.J. , y Lutgens, F.K. (8 Ed.). (2005). Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física: Prentice Hall. Madrid, España. 736 pp.
 90. Vera, C., y Camilloni, I. (2007). El ciclo del agua: Explora las ciencias en el mundo contemporáneo. Recuperado de: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>
 91. Werner J. (1996). Introducción a la Hidrogeología. Primera edición. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL.
 92. Westholm, L. J. (2006). Substrates for phosphorus removal—Potential benefits for on-site wastewater treatment?. *Water research*, 40(1), 23-36.
 93. Zenteno D.J. (1984). Geología de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México.

ANEXO 1:
**Resultados de análisis granulométricos y
conductividad hidráulica de las muestras.**



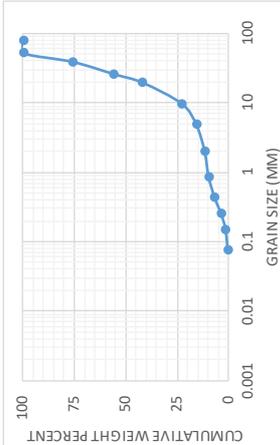
Sample Name: 1000_T1
Mass Sample (g): 6996.8

Sample Name: 1000_T1
Mass Sample (g): 6996.8

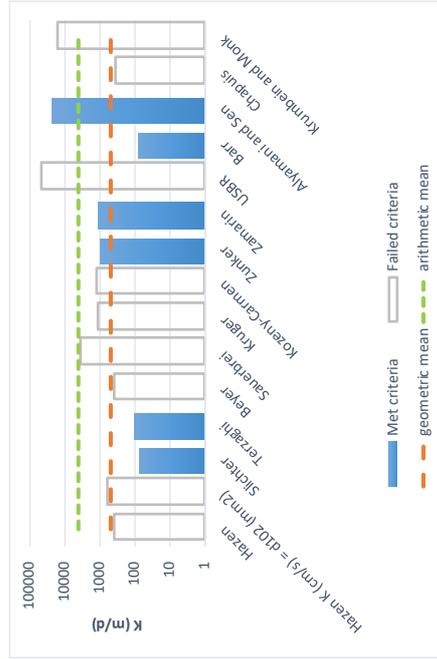
T (oC) 22.3

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retained d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10 0.840	Uniformity Coef. 33.26
50.8	0	0	100	d17 5.440	n computed 0.26
38.1	1679.23	0.24	76	d20 7.480	g (cm/s ²) 980.00
25.4	1399.36	0.2	56	d50 22.700	ρ (g/cm ³) 0.9976
19.1	979.552	0.14	42	d60 27.940	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	1329.39	0.19	23	de (Kruger) 2.474	pg/μ (1/cm s) 1.0518E+05
4.76	489.776	0.07	16	de (Kozeny) 2.253	tau (Sauebrei) 1.112
2	279.872	0.04	12	de (Zunker) 2.324	d _{geometric mean} 16.586
0.84	139.936	0.02	10	de (Zamarrin) 2.399	α _g 1.893
0.42	209.904	0.03	7	lo (Alyamer) -4.625	
0.25	209.904	0.03	4		
0.149	153.93	0.022	1.8		
0.074	69.968	0.01	0.8		
				mm	
				>64	0
				16 - 64	Boulder
				8 - 16	coarse gravel
				2 - 8	medium gravel
				0.5 - 2	fine gravel
				0.25 - 0.5	coarse sand
				0.063 - 0.25	medium sand
				0.016 - 0.063	fine sand
				0.008 - 0.016	coarse silt
				0.002 - 0.008	medium silt
				<0.002	fine silt
					clay

Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.425E+00	.425E-02	367.48
Hazen K (cm/s) = c ₁₀ (mm)	.706E+00	.706E-02	609.64
Slichter	.837E-01	.837E-03	72.31
Terzaghi	.120E+00	.120E-02	103.31
Beyer	.454E+00	.454E-02	392.45
Sauebrei	.391E+01	.391E-01	3375.47
Kruger	.129E+01	.129E-01	1115.88
Kozeny-Carmen	.133E+01	.133E-01	1152.57
Zunker	.104E+01	.104E-01	896.52
Zamarrin	.125E+01	.125E-01	1083.04
USBR	.517E+02	.517E+00	44632.93
Barr	.898E-01	.898E-03	77.59
Alyamani and Sen	.250E+02	.250E+00	21624.41
Chapuis	.386E+00	.386E-02	333.35
Krumbain and Monk	.182E+02	.182E-00	15696.05
geometric mean	.555E+00	.555E-02	479.60
arithmetic mean	.460E+01	.460E-01	3976.20



K from Grain Size Analysis Report

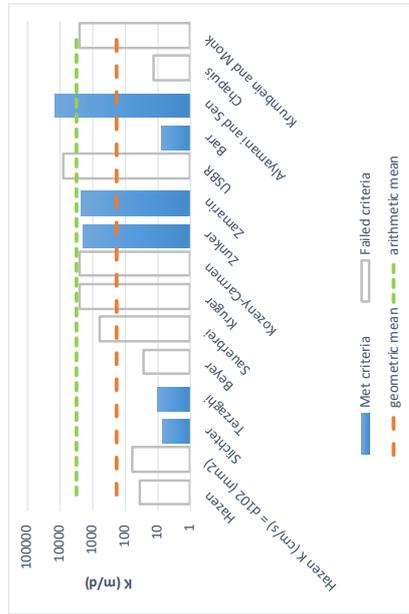
Date: jun-18

Sample Name: 1000_T2

Mass Sample (g): 9386

T (oC) 22.3

Poorly sorted gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.415E-01	.415E-03	35.82
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	.692E-01	.692E-03	59.76
Slichter	.815E-02	.815E-04	7.04
Terzaghi	.116E-01	.116E-03	10.04
Beyer	.302E-01	.302E-03	26.11
Sauerbrei	.653E+00	.653E-02	563.84
Kruger	.280E+01	.277E-01	2416.68
Kozeny-Carmen	.277E+01	.277E-01	2394.47
Zunker	.219E+01	.219E-01	1889.60
Zamarin	.268E+01	.268E-01	2311.68
USBR	.872E+01	.872E-01	7533.45
Barr	.874E-02	.874E-04	7.55
Alyamani and Sen	.166E+00	.166E+00	14345.10
Chapuis	.146E-01	.146E-03	12.60
Krumbein and Monk	.276E+01	.276E-01	2382.92
geometric mean	.208E+00	.208E-02	179.48
arithmetic mean	.358E+01	.358E-01	3095.17



Grain Size Analysis Report

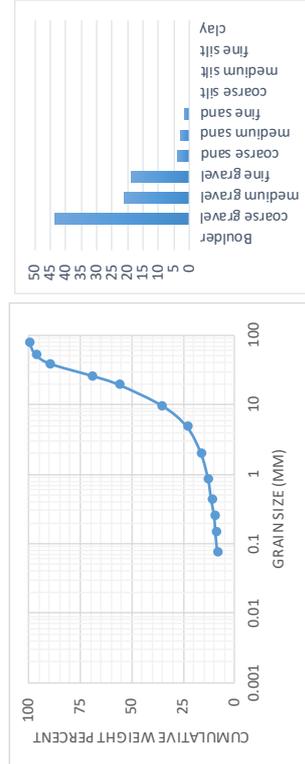
Date: jun-18

Sample Name: 1000_T2

Mass Sample (g): 9386

T (oC) 22.3

Poorly sorted gravel low in fines



Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	Uniformity Coef. 79.43
d17	n computed 0.26
d20	g (cm/s ²) 980.00
d50	ρ (g/cm ³) 0.9976
d60	μ (g/cm s) 0.0093
de (Kruger)	ρg/μ (l/cm s) 1.0518E+05
de (Kozeny)	tau (Sauerbrei) 1.112
de (Zunker)	d _g geometric mean 10.128
de (Zamarin)	c _u 2.579
to (Alyamer)	
mm	% in sample
>64	Boulder 0
16 - 64	coarse gravel 43.6
8 - 16	medium gravel 21.11
2 - 8	fine gravel 18.86
0.5 - 2	coarse sand 3.59
0.25 - 0.5	medium sand 2.95
0.063 - 0.25	fine sand 1.53
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay

Sieve opening di (mm)	Mass of retained d (m) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0	100
50.8	304.106	0.0324	96.76
38.1	653.266	0.0696	89.8
25.4	1944.78	0.2072	69.08
19.1	1190.14	0.1268	56.4
9.52	1981.38	0.2111	35.29
4.76	1132.89	0.1207	23.22
2	637.309	0.0679	16.43
0.84	336.957	0.0359	12.84
0.42	141.729	0.0151	11.33
0.25	135.158	0.0144	9.89
0.149	50.6844	0.0054	9.35
0.074	92.9214	0.0099	8.36



K from Grain Size Analysis Report

Date: jun-18

Sample Name: T4

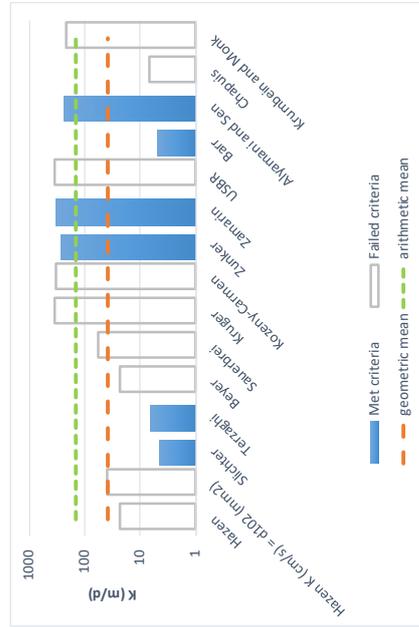
T4

Mass Sample (g): 9463

9463

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.266E-01	.266E-03	22.99
Hazen K (cm/s) = d_{10}^2 (mm)	.443E-01	.443E-03	38.24
Slichter	.523E-02	.523E-04	4.52
Terzaghi	.747E-02	.747E-04	6.45
Beyer	.273E-01	.273E-03	23.59
Sauerbrei	.655E-01	.655E-03	56.61
Kruger	.395E+00	.395E-02	340.89
Kozeny-Carmen	.383E+00	.383E-02	330.91
Zunker	.304E+00	.304E-02	262.83
Zamarin	.375E+00	.375E-02	324.08
USBR	.404E+00	.404E-02	348.80
Barr	.561E-02	.561E-04	4.85
Alyamani and Sen	.280E+00	.280E-02	241.80
Chapuis	.780E-02	.780E-04	6.74
Krumbein and Monk	.252E+00	.252E-02	217.50
geometric mean	.437E-01	.437E-03	37.79
arithmetic mean	.163E+00	.163E-02	140.76



Grain Size Analysis Report

Date: jun-18

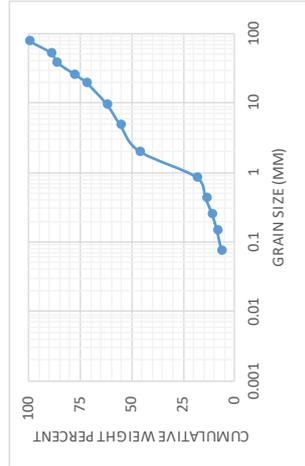
Sample Name: T4

T4

Mass Sample (g): 9463

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retained d (mf) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10	Uniformity Coef. 37.27
50.8	1039.04	0.1098	89.02	d17	n computed 0.26
38.1	221.434	0.0234	86.68	d20	g (cm/s ²) 980.00
25.4	827.066	0.0874	77.94	d50	ρ (g/cm ³) 0.9976
19.1	559.263	0.0591	72.03	d60	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	916.018	0.0968	62.35	de (Kruger)	ρg/μ (1/cm s) 1.0518E+05
4.76	630.236	0.0666	55.69	de (Kozeny)	tau (Sauerbrei) 1.112
2	875.328	0.0925	46.44	de (Zunker)	d _g geometric mean 3.992
0.84	2656.26	0.2807	18.37	de (Zamarin)	α _g 2.985
0.42	405.963	0.0429	14.08	lo (Alyamer)	
0.25	299.977	0.0317	10.91	mm	
0.149	219.542	0.0232	8.59	>64	0 % in sample
0.074	213.864	0.0226	6.33	16 - 64	Boulder 0
				8 - 16	coarse gravel 27.97
				2 - 8	medium gravel 9.68
				0.5 - 2	fine gravel 15.91
				0.25 - 0.5	coarse sand 28.07
				0.063 - 0.25	medium sand 7.46
				0.016 - 0.063	fine sand 4.58
				0.008 - 0.016	coarse silt
				0.002 - 0.008	medium silt
				<0.002	fine silt
					clay



K from Grain Size Analysis Report

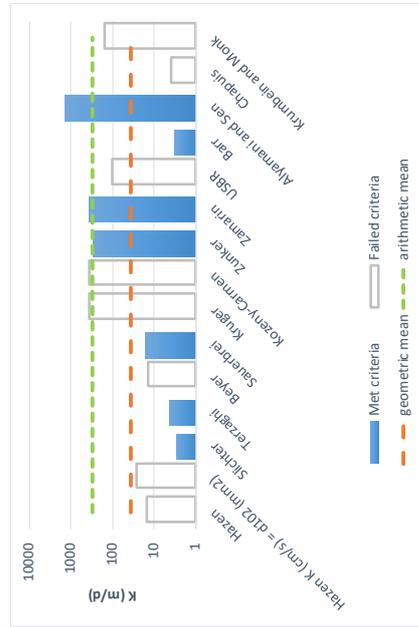
Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 8000_T1

Mass Sample (g): 6998.1

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Grain Size Analysis Report

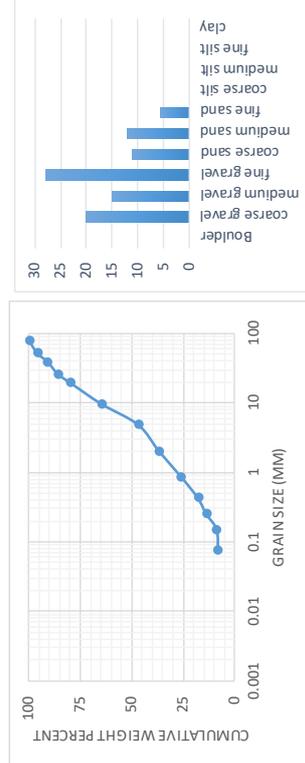
Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 8000_T1

Mass Sample (g): 6998.1

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retainate d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0	100
50.8	279.924	0.04	96
38.1	349.905	0.05	91
25.4	349.905	0.05	86
19.1	419.886	0.06	80
9.52	1049.72	0.15	65
4.76	1259.66	0.18	47
2	699.81	0.1	37
0.84	769.791	0.11	26
0.42	559.848	0.08	18
0.25	279.924	0.04	14
0.149	356.903	0.051	8.9
0.074	41.9886	0.006	8.3

Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	0.171
d17	0.378
d20	0.525
d50	5.553
d60	8.198
de (Kruzer)	1.419
de (Kozeny)	1.283
de (Zunker)	1.327
de (Zamarir)	1.373
to (Alyamer)	-1.175
Uniformity Coef.	48.00
n computed	0.26
g (cm/s ²)	980.00
ρ (g/cm ³)	0.9976
μ (g/cm s)	0.0093
ρg/μ (1/cm s)	1.0518E+05
tau (Sauerbrei)	1.112
d _{geometric mean}	3.511
c%	3.057
mm	0
>64	Boulder
16 - 64	coarse gravel
8 - 16	medium gravel
2 - 8	fine gravel
0.5 - 2	coarse sand
0.25 - 0.5	medium sand
0.063 - 0.25	fine sand
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay

Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.175E-01	.175E-03	15.11
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	.292E-01	.292E-03	25.20
Slichter	.344E-02	.344E-04	2.97
Terzaghi	.490E-02	.490E-04	4.24
Beyer	.162E-01	.162E-03	14.03
Sauerbrei	.187E-01	.187E-03	16.14
Kruzer	.423E+00	.423E-02	365.90
Kozeny-Carmen	.430E+00	.430E-02	371.37
Zunker	.337E+00	.337E-02	290.75
Zamarin	.408E+00	.408E-02	352.81
USBR	.115E+00	.115E-02	99.09
Barr	.369E-02	.369E-04	3.18
Alyamani and Sen	.163E+01	.163E-01	1406.86
Chapuis	.432E-02	.432E-04	3.74
Krumben and Monk	.177E+00	.177E-02	153.13
geometric mean	.427E-01	.427E-03	36.91
arithmetic mean	.343E+00	.343E-02	296.71



K from Grain Size Analysis Report

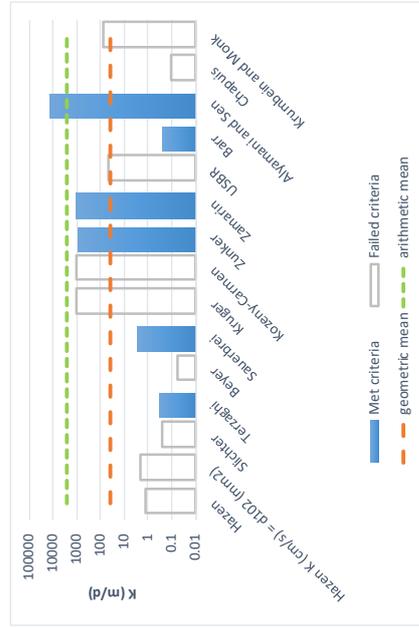
Date: Jun-18

Sample Name: 8000_T2

Mass Sample (g): 10100

T (oC): 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.141E-02	.141E-04	1.22
Hazen K (cm/s) = d_{10} (mm)	.235E-02	.235E-04	2.03
Sligher	.277E-03	.277E-05	0.24
Terzaghi	.394E-03	.394E-05	0.34
Beyer	.672E-04	.672E-06	0.06
Sauerbri	.296E-02	.296E-04	2.56
Kruger	.125E+01	.125E-01	1079.61
Kozeny-Carmen	.125E+01	.125E-01	1081.86
Zunker	.984E+00	.984E-02	850.55
Zamarin	.120E+01	.120E-01	1036.47
USBR	.548E-01	.548E-03	47.36
Barr	.297E-03	.297E-05	0.26
Alyamani and Sen	.169E+02	.169E+00	14579.99
Chapuis	.124E-03	.124E-05	0.11
Krumbain and Monk	.825E-01	.825E-03	71.32
geometric mean	.435E-01	.435E-03	37.70
arithmetic mean	.318E+01	.318E-01	2745.03



Grain Size Analysis Report

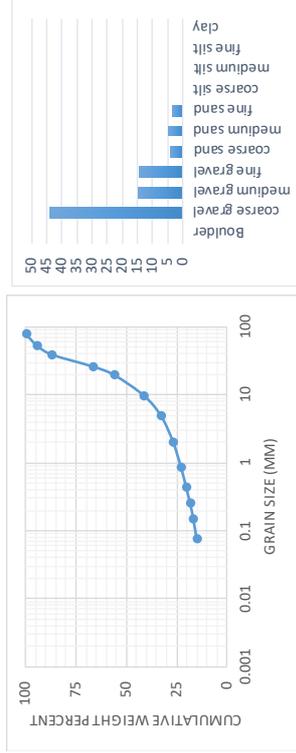
Date: Jun-18

Sample Name: 8000_T2

Mass Sample (g): 10100

T (oC): 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retaine d (mm) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10	Uniformity Coef. 443.24
50.8	583.78	0.0578	94.22	d17	n computed 0.26
38.1	739.32	0.0732	86.9	d20	g (cm/s ²) 980.00
25.4	2061.41	0.2041	66.49	d50	ρ (g/cm ³) 0.9976
19.1	1053.43	0.1043	56.06	d60	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	1483.69	0.1469	41.37	de (Kruger)	$\rho g/\mu$ (1/cm s) 1.0518E+05
4.76	859.51	0.0851	32.86	de (Kozeny)	tau (Sauerbri) 1.112
2	589.84	0.0584	27.02	de (Zunker)	$d_{\text{geometric mean}}$ 3.875
0.84	406.02	0.0402	23	de (Zamarin)	c_p 3.791
0.42	258.56	0.0256	20.44	lo (Alyamer)	
0.25	192.91	0.0191	18.53	mm	
0.149	156.55	0.0155	16.98	>64	0
0.074	172.71	0.0171	15.27	16 - 64	Boulder
				8 - 16	coarse gravel
				2 - 8	medium gravel
				0.5 - 2	fine gravel
				0.25 - 0.5	coarse sand
				0.063 - 0.25	medium sand
				0.016 - 0.063	fine sand
				0.008 - 0.016	coarse silt
				0.002 - 0.008	medium silt
				<0.002	fine silt
					clay



K from Grain Size Analysis Report

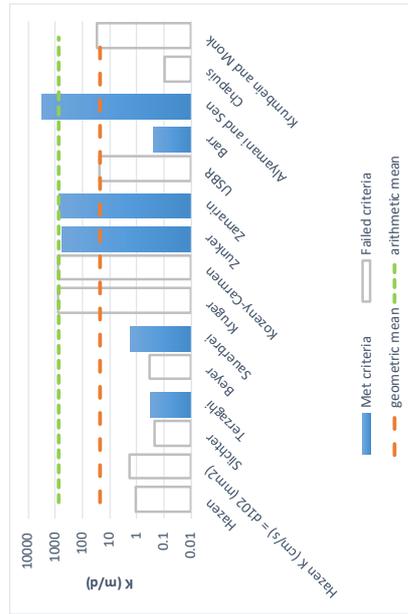
Date: jun-18

Sample Name: 8000_T3

Mass Sample (g): 19246

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Grain Size Analysis Report

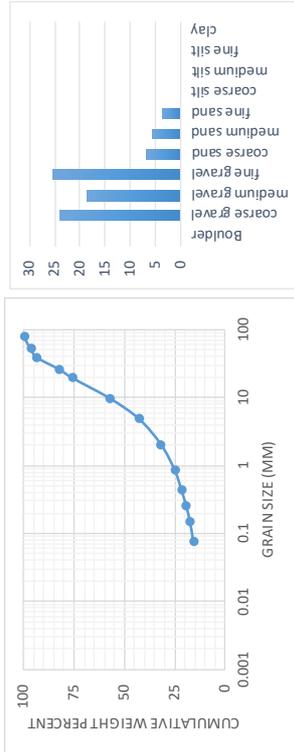
Date: jun-18

Sample Name: 8000_T3

Mass Sample (g): 19246

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening (ps) dt (mm)	Mass of retaine d (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0.0323	96.77
50.8	621.646	0.0316	93.61
38.1	608.174	0.1116	82.45
25.4	2147.85	0.0641	76.04
19.1	1233.67	0.1874	57.3
9.52	3606.7	0.144	42.9
4.76	2771.42	0.1088	32.02
2	2093.96	0.0679	25.23
0.84	1306.8	0.0343	21.8
0.42	660.138	0.0225	19.55
0.25	433.035	0.0184	17.71
0.149	354.126	0.017	16.01
0.074	327.182		

Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	Uniformity Coef. 235.83
d17	n computed 0.26
d20	g (cm/s ²) 980.00
d50	p (g/cm ³) 0.9976
d60	μ (g/cm s) 0.0093
de (Kruger)	τ (Sauebrei) 1.0518E+05
de (Kozeny)	tau (Sauebrei) 1.112
de (Zunker)	d _{geometric mean} 2.425
de (Zamarin)	α _g 3.779
de (Alaymer)	
mm	0 % in sample
>64	Boulder 0
16 - 64	coarse gravel 23.96
8 - 16	medium gravel 18.74
2 - 8	fine gravel 25.28
0.5 - 2	coarse sand 6.79
0.25 - 0.5	medium sand 5.68
0.063 - 0.25	fine sand 3.54
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay



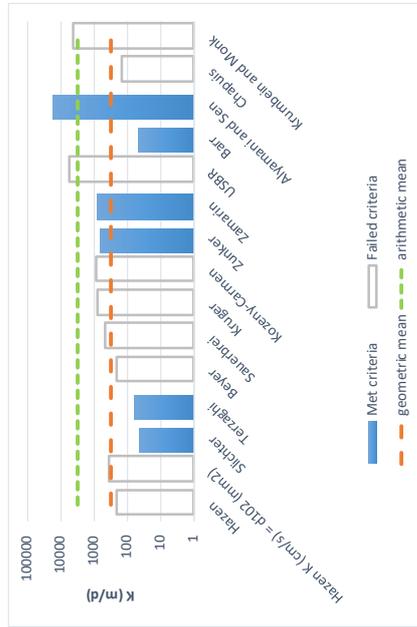
K from Grain Size Analysis Report Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 12000_T1

Mass Sample (g): 6998

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.238E+00	.238E-02	205.94
Hazen K (cm/s) = d_{10} (mm)	.397E+00	.397E-02	342.92
Slichter	.469E-01	.469E-03	40.49
Terzaghi	.669E-01	.669E-03	57.76
Beyer	.239E+00	.239E-02	206.79
Sauerbrei	.525E+00	.525E-02	453.91
Kozeny-Carmen	.921E+00	.921E-02	796.05
Zunker	.933E+00	.933E-02	806.04
Zamarin	.731E+00	.731E-02	631.41
USBR	.888E+00	.888E-02	767.11
Alyamani and Sen	.649E-01	.649E-03	5605.92
Chapuis	.503E-01	.503E-03	43.42
Krumbain and Monk	.200E+02	.200E+00	17261.17
geometric mean	.171E+00	.171E-02	147.92
arithmetic mean	.480E+01	.480E-01	4147.83
	.356E+00	.356E-02	307.71
	.363E+01	.363E-01	3133.56



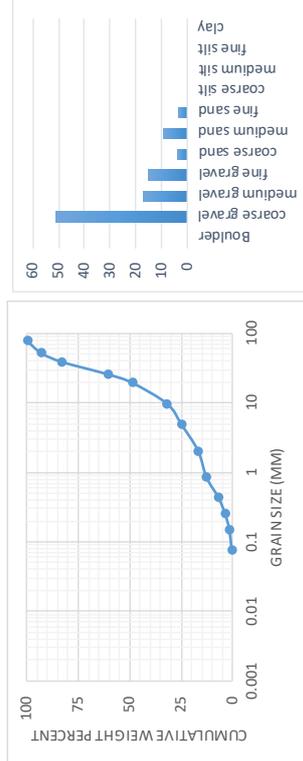
Grain Size Analysis Report Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 12000_T1

Mass Sample (g): 6998

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retaine d (gr)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10 0.630	Uniformity Coef. 39.48
50.8	489.86	0.07	93	d17 2.000	n computed 0.26
38.1	699.8	0.1	83	d20 3.035	g (cm/s ²) 980.00
25.4	1539.56	0.22	61	d50 19.625	p (g/cm ³) 0.9976
19.1	839.76	0.12	49	d60 24.875	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	1189.66	0.17	32	de (Kruger) 2.092	ρg/μ (l/cm s) 1.0518E+05
4.76	489.86	0.07	25	de (Kozeny) 1.889	tau (Sauerbrei) 1.112
2	559.84	0.08	17	de (Zunker) 1.954	d _{geometric mean} 10.964
0.84	279.92	0.04	13	de (Zamarin) 2.023	c% 2.277
0.42	419.88	0.06	7	to (Alyamer) -4.119	
0.25	209.94	0.03	4		
0.149	146.958	0.021	1.9		
0.074	76.978	0.011	0.8		
				mm	% in sample
				>64	Boulder 0
				16 - 64	coarse gravel 51
				8 - 16	medium gravel 17
				2 - 8	fine gravel 15
				0.5 - 2	coarse sand 4
				0.25 - 0.5	medium sand 9
				0.063 - 0.25	fine sand 3.2
				0.016 - 0.063	coarse silt
				0.008 - 0.016	medium silt
				0.002 - 0.008	fine silt
				<0.002	clay



K from Grain Size Analysis Report

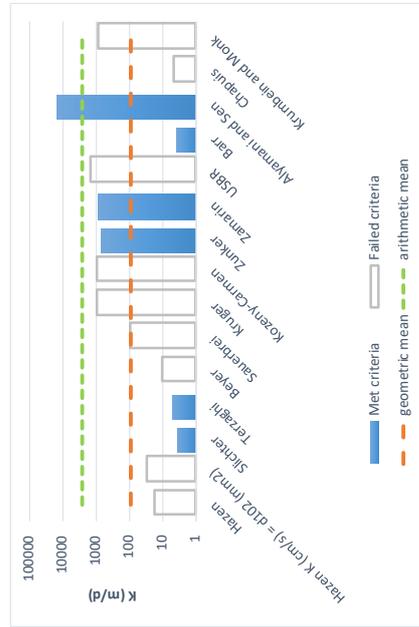
Date: Jun-18

Sample Name: 12000_T2

Mass Sample (g): 6703

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.204E-01	.204E-03	17.61
Hazen K (cm/s) = d_{10} (mm)	.340E-01	.340E-03	29.37
Slichter	.401E-02	.401E-04	3.46
Terzaghi	.571E-02	.571E-04	4.93
Beyer	.119E-01	.119E-03	10.28
Sauerbrei	.107E+00	.107E-02	92.16
Kruger	.104E+01	.104E-01	900.34
Kozeny-Carmen	.105E+01	.105E-01	902.91
Zunker	.821E+00	.821E-02	709.70
Zamarin	.100E+01	.100E-01	864.62
USBR	.160E+01	.160E-01	1378.15
Barr	.429E-02	.429E-04	3.71
Alaymani and Sen	.163E+02	.163E+00	14055.76
Chapuis	.536E-02	.536E-04	4.63
Krumbein and Monk	.984E+00	.984E-02	850.39
geometric mean	.105E+00	.105E-02	90.42
arithmetic mean	.302E+01	.302E-01	2607.03



Grain Size Analysis Report

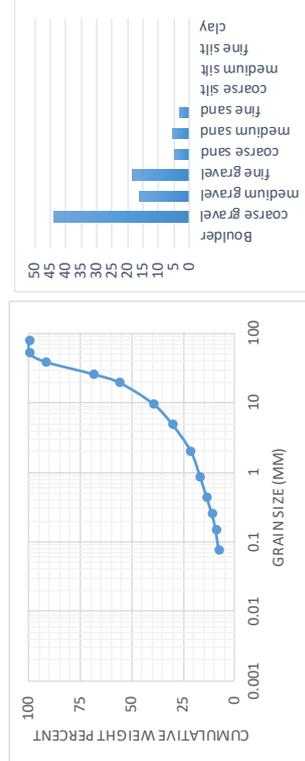
Date: Jun-18

Sample Name: 12000_T2

Mass Sample (g): 6703

T (oC) 22.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retainate d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10	Uniformity Coef. 114.48
50.8	0	0	100	d17	n computed 0.26
38.1	538.921	0.0804	91.96	d20	g (cm/s ²) 980.00
25.4	1556.44	0.2322	68.74	d50	p (g/cm ³) 0.9976
19.1	859.995	0.1283	55.91	d60	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	1089.91	0.1626	39.65	de (Kruger)	ρg/μ (1/cm s) 1.0518E+05
4.76	629.412	0.0939	30.26	de (Kozeny)	tau (Sauerbrei) 1.112
2	593.216	0.0885	21.41	de (Zunker)	d _{geometric mean} 7.302
0.84	312.36	0.0466	16.75	de (Zamarin)	c% 2.866
0.42	211.815	0.0316	13.59	to (Alyamer)	
0.25	163.553	0.0244	11.15		
0.149	118.643	0.0177	9.38		
0.074	103.897	0.0155	7.83		
				mm	% in sample
				>64	Boulder 0
				16 - 64	coarse gravel 44.09
				8 - 16	medium gravel 16.26
				2 - 8	fine gravel 18.24
				0.5 - 2	coarse sand 4.66
				0.25 - 0.5	medium sand 5.6
				0.063 - 0.25	fine sand 3.32
				0.016 - 0.063	coarse silt
				0.008 - 0.016	medium silt
				0.002 - 0.008	fine silt
				<0.002	clay



K from Grain Size Analysis Report

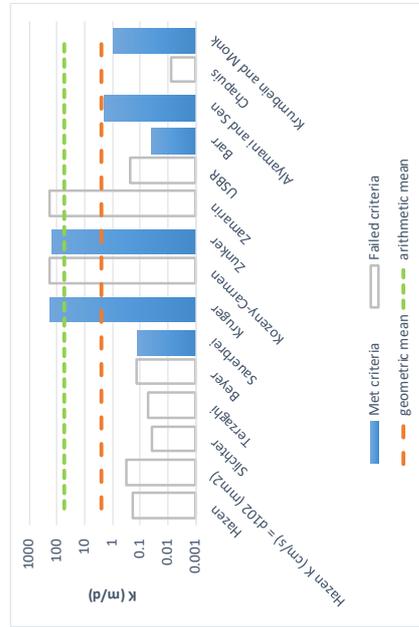
Date: Jun-18

Sample Name: 12000_T3

Mass Sample (g): 6203.8

T (oC) 22.3

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.215E-03	.215E-05	0.19
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	.359E-03	.359E-05	0.31
Slichter	.423E-04	.423E-06	0.04
Terzaghi	.603E-04	.603E-06	0.05
Beyer	.160E-03	.160E-05	0.14
Sauerbrei	.136E-03	.136E-05	0.12
Kozeny-Carmen	.216E+00	.216E-02	186.98
Zunker	.172E+00	.172E-02	189.19
Zamarin	.208E+00	.208E-02	148.25
USBR	.272E-03	.272E-05	180.06
Barr	.454E-04	.454E-06	0.23
Alaymani and Sen	.221E-02	.221E-04	1.91
Chapuis	.882E-05	.882E-07	0.01
Krumben and Monk	.994E-03	.994E-05	0.86
geometric mean	.282E-02	.282E-04	2.44
arithmetic mean	.652E-01	.652E-03	56.36



Grain Size Analysis Report

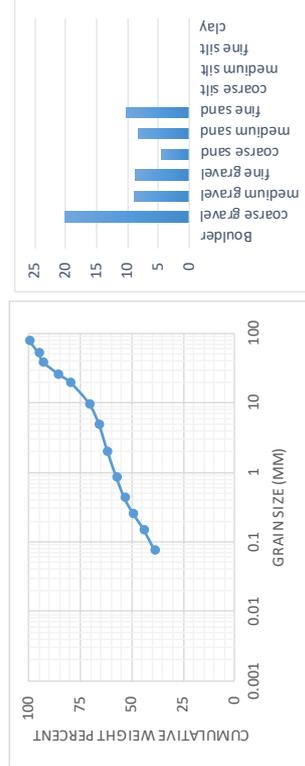
Date: Jun-18

Sample Name: 12000_T3

Mass Sample (g): 6203.8

T (oC) 22.3

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retainate d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10	Uniformity Coef. 77.01
50.8	284.754	0.0459	95.41	d17	n computed 0.26
38.1	129.659	0.0209	93.32	d20	g (cm/s ²) 980.00
25.4	471.489	0.076	85.72	d50	p (g/cm ³) 0.9976
19.1	371.608	0.0599	79.73	d60	μ (g/cm s) 0.0093
9.52	553.999	0.0893	70.8	de (Kozeny)	ρg/μ (l/cm s) 1.0518E+05
4.76	295.301	0.0476	66.04	de (Zunker)	tau (Sauerbrei) 1.112
2	246.911	0.0398	62.06	de (Zamarin)	d _{geometric mean} 0.581
0.84	274.208	0.0442	57.64	de (Alyamer)	c% 4.267
0.42	243.809	0.0393	53.71		
0.25	267.384	0.0431	49.4		
0.149	307.088	0.0495	44.45		
0.074	335.005	0.054	39.05		
				mm	
				>64	0
				16 - 64	Boulder
				8 - 16	coarse gravel
				2 - 8	medium gravel
				0.5 - 2	fine gravel
				0.063 - 0.25	coarse sand
				0.016 - 0.063	medium sand
				0.008 - 0.016	fine sand
				0.002 - 0.008	coarse silt
				<0.002	medium silt
					fine silt
					clay



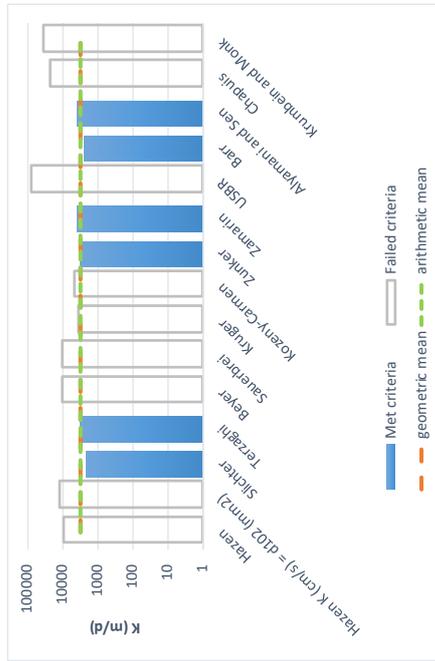
K from Grain Size Analysis Report Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 16000_T1

Mass Sample (g): 6999.1

T (oC) 20.3

Poorly sorted gravel low in fines



Grain Size Analysis Report Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 16000_T1

Mass Sample (g): 6999.1

T (oC) 20.3

Poorly sorted gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retained d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	1259.84	0.18	82
50.8	419.946	0.06	76
38.1	1049.87	0.15	61
25.4	909.883	0.13	48
19.1	559.928	0.08	40
9.52	1399.82	0.2	20
4.76	559.928	0.08	12
2	349.955	0.05	7
0.84	139.982	0.02	5
0.42	69.991	0.01	4
0.25	69.991	0.01	3
0.149	83.9892	0.012	1.8
0.074	62.9919	0.009	0.9

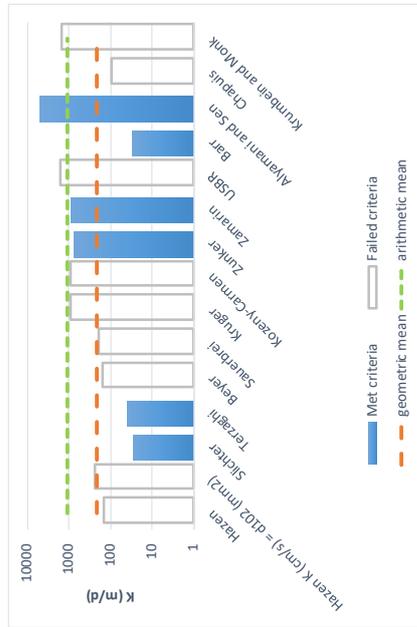
Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	Uniformity Coef. 10.15
d17	n computed 0.29
d20	g (cm/s ²) 980.00
d50	p (g/cm ³) 0.9981
d60	μ (g/cm s) 0.0098
de (Kruger)	ρg/μ (L/cm s) 1.0009E+05
de (Kozeny)	tau (Sauerbri) 1.061
de (Zunker)	d _{geometric mean} 24.774
de (Zamarir)	c% 1.880
to (Alyamer)	
mm	0 % in sample
>64	Boulder 18
16 - 64	coarse gravel 42
8 - 16	medium gravel 20
2 - 8	fine gravel 13
0.5 - 2	coarse sand 2
0.25 - 0.5	medium sand 2
0.063 - 0.25	fine sand 2.1
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay

Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.107E+02	.107E+00	9254.77
Hazen K (cm/s) = d ₃₀ (mm)	.134E+02	.134E+00	11548.51
Slichter	.238E+01	.238E-01	2054.35
Terzaghi	.378E+01	.378E-01	3269.70
Beyer	.118E+02	.118E+00	10171.76
Sauerbri	.121E+02	.121E+00	10416.33
Kruger	.401E+01	.401E-01	3463.80
Kozeny-Carmen	.535E+01	.535E-01	4620.52
Zunker	.365E+01	.365E-01	3151.36
Zamarir	.447E+01	.447E-01	3859.75
USBR	.856E+02	.856E+00	73960.68
Barr	.272E+01	.272E-01	2351.96
Alayami and Sen	.423E+01	.423E-01	3651.74
Chapuis	.253E+02	.253E+00	21829.40
Krumbin and Monk	.392E+02	.392E+00	33910.09
geometric mean	.345E+01	.345E-01	2981.00
arithmetic mean	.354E+01	.354E-01	3056.48



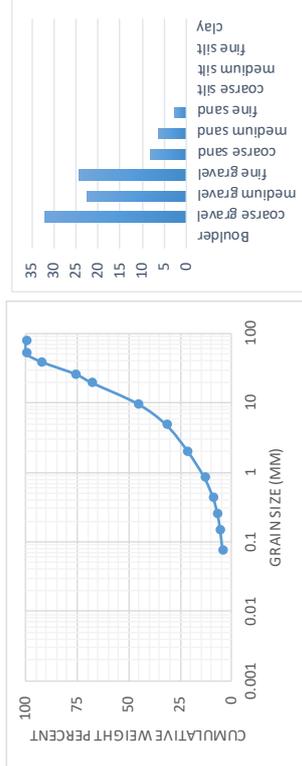
K from Grain Size Analysis Report Date: jun-18
 Sample Name: 16000_T2
 Mass Sample (g): 9343 T (oC) 20.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Grain Size Analysis Report Date: jun-18
 Sample Name: 16000_T2
 Mass Sample (g): 9343 T (oC) 20.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening di (mm)	Mass of retained d (mm)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0	100
50.8	0	0	100
38.1	719.411	0.077	92.3
25.4	1542.53	0.1651	75.79
19.1	736.228	0.0788	67.91
9.52	2086.29	0.2233	45.58
4.76	1288.4	0.1379	31.79
2	970.738	0.1039	21.4
0.84	757.717	0.0811	13.29
0.42	414.829	0.0444	8.85
0.25	186.86	0.02	6.85
0.149	127.065	0.0136	5.49
0.074	105.576	0.0113	4.36

Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	0.529
d17	1.371
d20	1.800
d50	11.416
d60	15.706
de (Kruger)	2.310
de (Kozeny)	2.059
de (Zunker)	2.139
de (Zamarir)	2.224
to (Alyamer)	-2.193
	mm
>64	Boulder
16 - 64	coarse gravel
8 - 16	medium gravel
2 - 8	fine gravel
0.5 - 2	coarse sand
0.25 - 0.5	medium sand
0.063 - 0.25	fine sand
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay

Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.161E+00	.161E-02	139.28
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	.280E+00	.280E-02	241.59
Slichter	.318E-01	.318E-03	27.44
Terzaghi	.455E-01	.455E-03	39.28
Beyer	.178E+00	.178E-02	154.17
Saurebrel	.227E+00	.227E-02	195.87
Kruger	.107E+01	.107E-01	928.21
Kozeny-Carmen	.107E+01	.107E-01	922.10
Zunker	.840E+00	.840E-02	726.08
Zamarin	.103E+01	.103E-01	890.36
USBR	.186E+01	.186E-01	1603.71
Barr	.341E-01	.341E-03	29.46
Alaymani and Sen	.555E+01	.555E-01	4796.81
Chapuis	.105E+00	.105E-02	90.89
Krumbein and Monk	.173E+01	.173E-01	1498.29
geometric mean	.249E+00	.249E-02	214.89
arithmetic mean	.126E+01	.126E-01	1084.91



K from Grain Size Analysis Report

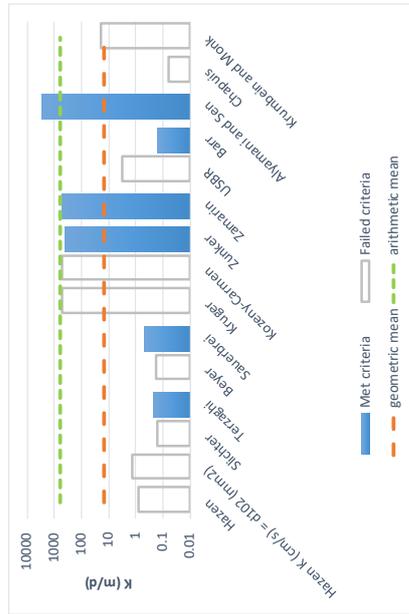
Date: Jun-18

Sample Name: 16000_T3

Mass Sample (g): 8093.34

T (°C) 20.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.900E-03	.900E-05	0.78
Hazen K (cm/s) = d_{10} (mm)	.158E-02	.158E-04	1.36
Slichter	.177E-03	.177E-05	0.15
Terzaghi	.252E-03	.252E-05	0.22
Beyer	.212E-03	.212E-05	0.18
Sauerbrey	.542E-03	.542E-05	0.47
Kruger	.603E+00	.603E-02	520.68
Kozeny-Carmen	.601E+00	.601E-02	519.38
Zunker	.473E+00	.473E-02	408.94
Zammarin	.578E+00	.578E-02	499.12
USBR	.347E-02	.347E-04	3.00
Barr	.190E-03	.190E-05	0.16
Alaymani and Sen	.308E+01	.308E-01	2664.46
Chapuis	.710E-04	.710E-06	0.06
Krumbein and Monk	.219E-01	.219E-03	18.96
geometric mean	.167E-01	.167E-03	14.45
arithmetic mean	.689E-00	.689E-02	595.56



Grain Size Analysis Report

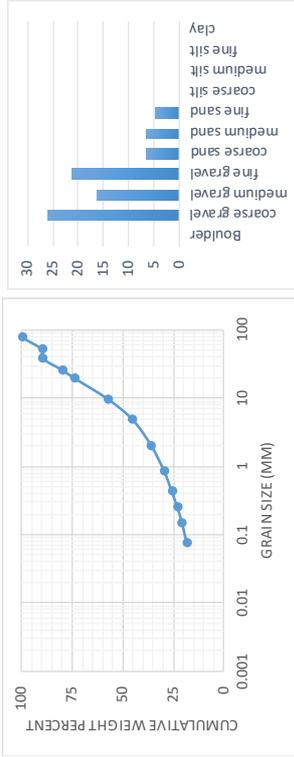
Date: Jun-18

Sample Name: 16000_T3

Mass Sample (g): 8093.34

T (°C) 20.3

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retained d (mm) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10 0.040	Uniformity Coef. 275.81
50.8	794.766	0.0982	90.18	d17 0.068	n computed 0.26
38.1	0	0	90.18	d20 0.117	g (cm/s ²) 980.00
25.4	805.287	0.0995	80.23	d50 6.579	p (g/cm ³) 0.9981
19.1	512.308	0.0633	73.9	d60 10.956	μ (g/cm s) 0.0098
9.52	1323.26	0.1635	57.55	de (Kozeny) 1.736	ρg/μ (l/cm s) 1.0009E+05
4.76	989.006	0.1222	45.33	de (Kozeny) 1.556	tau (Sauerbrey) 1.061
2	737.303	0.0911	36.22	de (Zunker) 1.614	d _g geometric mean 2.328
0.84	522.83	0.0646	29.76	de (Zamari) 1.675	c _u 3.986
0.42	308.356	0.0381	25.95	lo (Alaymer) -1.595	
0.25	215.283	0.0266	23.29		
0.149	184.528	0.0228	21.01		
0.074	192.621	0.0238	18.63		
				mm	% in sample
				>64	0
				16 - 64	Boulder
				8 - 16	coarse gravel
				2 - 8	medium gravel
				0.5 - 2	fine gravel
				0.25 - 0.5	coarse sand
				0.063 - 0.25	medium sand
				0.016 - 0.063	fine sand
				0.008 - 0.016	coarse silt
				0.002 - 0.008	medium silt
				<0.002	fine silt
					clay



K from Grain Size Analysis Report

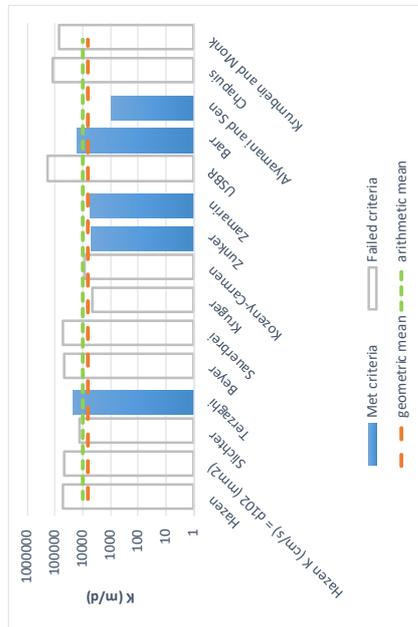
Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 29000_T1

Mass Sample (g): 6936.8

T (oC) 20.9

Poorly sorted gravel low in fines



Grain Size Analysis Report

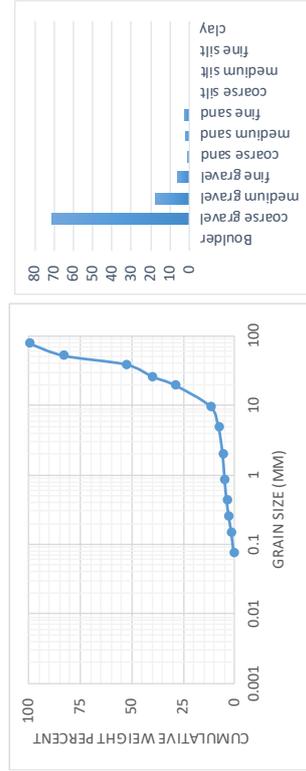
Date: 2011 (CONAGUA)

Sample Name: 29000_T1

Mass Sample (g): 6936.8

T (oC) 20.9

Poorly sorted gravel low in fines



Screen opening (mm)	Mass of retained (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0	100
50.8	1179.26	0.17	83
38.1	2081.04	0.3	53
25.4	901.784	0.13	40
19.1	763.048	0.11	29
9.52	1179.26	0.17	12
4.76	277.472	0.04	8
2	138.736	0.02	6
0.84	69.368	0.01	5
0.42	69.368	0.01	4
0.25	69.368	0.01	3
0.149	83.2416	0.012	1.8
0.074	83.2416	0.012	0.6

Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	7.140
d17	12.338
d20	14.028
d50	35.169
d60	41.063
de (Kruzer)	3.811
de (Kozeny)	3.453
de (Zunker)	3.568
de (Zamani)	3.689
to (Alyamer)	0.133
Uniformity Coef.	5.75
n computed	0.34
g (cm/s ²)	980.00
ρ (g/cm ³)	0.9980
μ (g/cm s)	0.0096
ρg/μ (1/cm s)	1.0161E+05
tau (Sauerbrei)	1.076
d _{geometric mean}	27.847
c _u	1.501
mm	0
>64	Boulder
16 - 64	coarse gravel
8 - 16	medium gravel
2 - 8	fine gravel
0.5 - 2	coarse sand
0.25 - 0.5	medium sand
0.063 - 0.25	fine sand
0.016 - 0.063	coarse silt
0.008 - 0.016	medium silt
0.002 - 0.008	fine silt
<0.002	clay



K from Grain Size Analysis Report

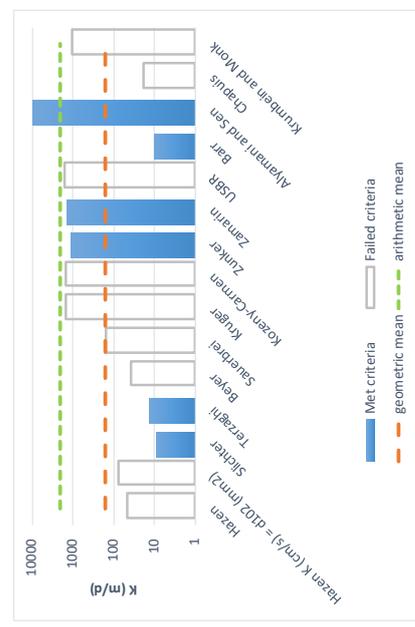
Date: jun-18

Sample Name: 29000_T2

Mass Sample (g): 5313.4

T (oC) 20.9

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Grain Size Analysis Report

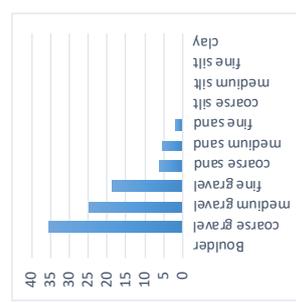
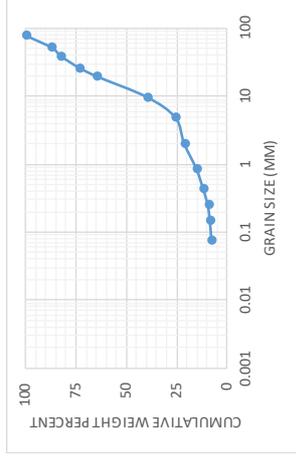
Date: jun-18

Sample Name: 29000_T2

Mass Sample (g): 5313.4

T (oC) 20.9

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening (ps) dt (mm)	Mass of retained (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
76.2	0	0	100
50.8	684.366	0.1288	87.12
38.1	241.228	0.0454	82.58
25.4	498.928	0.0939	73.19
19.1	463.86	0.0873	64.46
9.52	1324.1	0.2492	39.54
4.76	749.721	0.1411	25.43
2	227.945	0.0429	21.14
0.84	325.711	0.0613	15.01
0.42	184.906	0.0348	11.53
0.25	114.769	0.0216	9.37
0.149	56.8534	0.0107	8.3
0.074	41.4445	0.0078	7.52

Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
d10	0.300
d17	1.217
d20	1.784
d50	13.541
d60	17.385
de (Kruger)	2.888
de (Kozeny)	2.588
de (Zunker)	2.684
de (Zamari)	2.786
lo (Alyamer)	-3.011

% in sample	
Boulder	0
coarse gravel	35.54
medium gravel	24.92
fine gravel	18.4
coarse sand	6.13
medium sand	5.64
fine sand	1.85
coarse silt	
medium silt	
fine silt	
clay	

Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	520E-01	520E-03	44.92
Hazen K (cm/s) = d_{10} (mm)	898E-01	898E-03	77.54
Slichter	102E-01	102E-03	8.83
Terzaghi	146E-01	146E-03	12.59
Beyer	444E-01	444E-03	38.32
Sauerbrey	181E+00	181E-02	156.64
Kruger	169E+01	169E-01	1463.36
Kozeny-Carmen	169E+01	169E-01	1458.39
Zunker	133E+01	133E-01	1148.68
Zamari	162E+01	162E-01	1402.47
USBR	185E+01	185E-01	1596.10
Barr	110E-01	110E-03	9.46
Alyamani and Sen	108E+02	108E+00	9335.50
Chapuis	211E-01	211E-03	18.20
Krumbein and Monk	117E+01	117E-01	1011.27
geometric mean	.183E+00	.183E-02	158.43
arithmetic mean	.230E+01	230E-01	1986.25

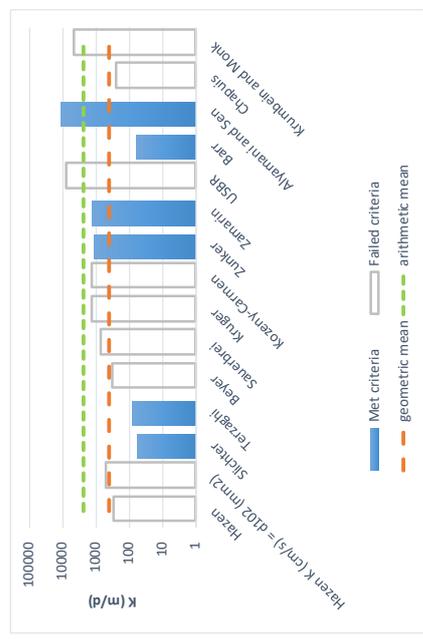


K from Grain Size Analysis Report Date: Jun-18

Sample Name: 29000_T3 T (oC) 20.9

Mass Sample (g): 7068

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d
Hazen	.329E+00	.329E-02	284.62
Hazen K (cm/s) = d_{10}^2 (mm)	.562E+00	.562E-02	485.87
Slichter	.649E-01	.649E-03	56.08
Terzaghi	.929E-01	.929E-03	80.30
Beyer	.366E+00	.366E-02	316.33
Sauerbri	.780E+00	.780E-02	674.14
Kruger	.154E+01	.154E-01	1327.52
Kozeny-Carmen	.155E+01	.155E-01	1337.18
Zunker	.121E+01	.121E-01	1048.03
Zamarin	.148E+01	.148E-01	1279.38
USBR	.870E+01	.870E-01	7514.35
Barr	.697E-01	.697E-03	60.23
Alaymani and Sen	.127E+02	.127E+00	10952.57
Chapuis	.281E+00	.281E-02	243.06
Krumben and Monk	.520E+01	.520E-01	4489.07
geometric mean	.461E+00	.461E-02	398.14
arithmetic mean	.260E+01	.260E-01	2246.10

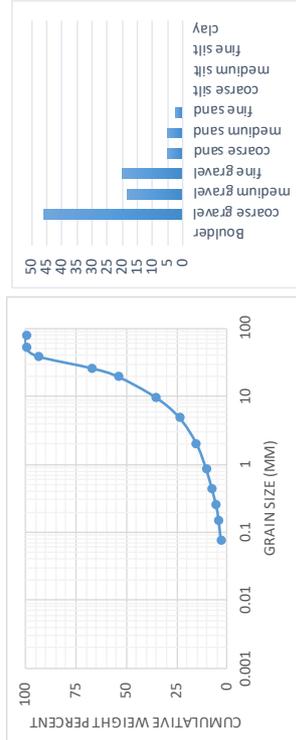


Grain Size Analysis Report Date: Jun-18

Sample Name: 29000_T3 T (oC) 20.9

Mass Sample (g): 7068

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retaine d (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	Effective Grain Diameters (mm)	Other Useful Parameters
76.2	0	0	100	d10 0.750	Uniformity Coef. 29.30
50.8	0	0	100	d17 2.504	n computed 0.26
38.1	430.441	0.0609	93.91	d20 3.499	g (cm/s ²) 980.00
25.4	1897.05	0.2684	67.07	d50 16.983	ρ (g/cm ³) 0.9980
19.1	917.426	0.1298	54.09	d60 21.968	μ (g/cm s) 0.0096
9.52	1308.29	0.1851	35.58	de (Kruger) 2.741	$\rho g/\mu$ (1/cm s) 1.0161E+05
4.76	832.61	0.1178	23.8	de (Kozeny) 2.459	tau (Sauerbri) 1.076
2	588.058	0.0832	15.48	de (Zunker) 2.549	$d_{geometric\ mean}$ 10.714
0.84	343.505	0.0486	10.62	de (Zamarin) 2.645	C_u 2.156
0.42	204.265	0.0289	7.73	Lo (Alayman) -3.308	
0.25	139.24	0.0197	5.76		
0.149	92.5908	0.0131	4.45		
0.074	71.3868	0.0101	3.44		
				mm	% in sample
				>64	Boulder 0
				16 - 64	coarse gravel 45.91
				8 - 16	medium gravel 18.51
				2 - 8	fine gravel 20.1
				0.5 - 2	coarse sand 4.86
				0.25 - 0.5	medium sand 4.86
				0.063 - 0.25	fine sand 2.32
				0.016 - 0.063	coarse silt
				0.008 - 0.016	medium silt
				0.002 - 0.008	fine silt
				<0.002	clay

ANEXO 2:
**Base de datos de las descargas en el río en
el municipio de Santa Catarina**



Clave: D1

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0354397 m E,2837967 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D2

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0354398 m E,2838857 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D3

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0354522 m E,2838847 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D4

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0355368 m E,2839291 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Proviene de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D5

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0356091 m E,2839270 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D6

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0356085 m E,2839267 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D7

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0356037 m E,2839242 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D8

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0356004 m E,2839226 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D9

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0355996 m E,2839221 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D10

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0355930 m E,2839208 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D11

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0357104 m E,2839484 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:



Clave: D12

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0356294 m E,2839412 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D13

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0356823 m E,2839644 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga en zona de aparentes asentamientos irregulares



Clave: D14

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0357104 m E,2839661 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Fuerte olor a drenaje. Fuente no identificada con exactitud.



Clave: D21d

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0357461 m E,2839441 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: B150

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0355229 m E,2839341 m N

Activa: constante

Clasificación: Basurero / tiradero

Obs.: Punto de acumulación de basura.



Clave: B151

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0357146 m E,2839656 m N

Activa: constante

Clasificación: Basurero / tiradero

Obs.: Punto de gran acumulación y quema de basura.



Clave: B152

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0357311 m E,2839654 m N

Activa: constante

Clasificación: Basurero / tiradero

Obs.: Punto de acumulación y quema de basura.

ANEXO 3:
**Base de datos de las descargas en el río en
el municipio de San Pedro**



Clave: D15

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0357784 m E,2839653 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Agua sin color y sin olor aparente.



Clave: D16

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0358143 m E,2839654 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Acumulación de basura.



Clave: D17

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0358430 m E,2839674 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D18

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0358482 m E,2839703 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga cubierta mayormente por vegetación.



Clave: D19t

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0358246 m E,2839485 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Se identificaron aceites



Clave: D20

Fecha de identificación: diciembre 2017

Coordenadas: 0358016 m E,2839454 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D22t

Fecha de identificación: diciembre 2017
Coordenadas: 0357646 m E,2839468 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga triple.



Clave: D23

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0358697 m E,2839596 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D24

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0358926 m E,2839737 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Coloración blanca, aparentemente detergentes.



Clave: D25

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0358948 m E,2839749 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Aparentemente descarga con aceites



Clave: O26

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0358641 m E,2839796 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Red de alcantarillado desbordado hacia el río, olor a drenaje.



Clave: D27

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0358941 m E ,2839934 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Marca de agua residual en pared de la descarga.



Clave: D28

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359046 m E,2839985 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D29

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359126 m E,2840016 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D30

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359187 m E,2840075 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D31

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359255 m E,2840111 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D32

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359275 m E,2840118 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D33

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359433 m E,2840148 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D35

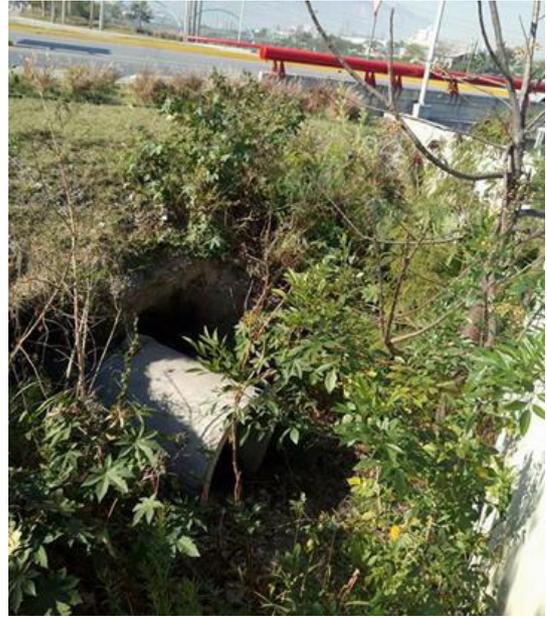
Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359099 m E, 2839873 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Se identificaron residuos líquidos de coloraciones morado y azul.



Clave: D36

Fecha de identificación: enero 2018

Activa: No

Coordenadas: 0359284 m E, 2839993 m N

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -





Clave: D38

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359723 m E,2840400 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Proveniente del arroyo "El Obispo". Agua verdosa-café, espuma en zona de descarga, con pequeñas burbujas en zonas estancadas; fuerte olor a drenaje.



Clave: O39

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359855 m E,2840292 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Fuga en tubería. Agua verdosa burbujeante, aparentemente con aceites.

Clave: D37

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359696 m E,2840386 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: No se tiene referencia fotográfica

Clave: D42

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359858 m E,2840144 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: No se tiene referencia fotográfica



Clave: D40
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0360143 m E,2840114 m N
Activa: No
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: -



Clave: D41
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0360152 m E,2840111 m N
Activa: No
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: -



Clave: O43
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0360223 m E,2840099 m N
Activa: Si
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: Tiradero de residuos líquidos de gente de la zona (por escaleras de acceso al río). Aparentemente residuos domésticos, incluyendo pinturas y cenizas de quema de basura.



Clave: D44
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0360245 m E,2840185 m N
Activa: No
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: -



Clave: D45

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0360472 m E,2840127 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D46

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0360630 m E,2840082 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D47

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361009 m E,2839804 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Espuma en zona de descarga (blanco)



Clave: O145

Fecha de identificación: octubre 2017

Coordenadas: 0362921 m E,2839712 m N

Activa: -

Clasificación: Otros

Obs.: Colector de aguas residuales

Clave: O144

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0359728 m E,2840400 m N

Activa: -

Clasificación: Otros

Obs.: Colector en zona de arroyo "El Obispo".

No se tiene referencia fotográfica.

ANEXO 4:
**Base de datos de las descargas en el río en
el municipio de Monterrey**



Clave: D49

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361204 m E,2839755 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Fuerte olor a drenaje



Clave: D54

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361488 m E,2839811 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D51d

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361464 m E,2839653 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Aparentemente con poco tiempo; doble.



Clave: D52

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361511 m E,2839649 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Doble



Clave: D50

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361430 m E,2839661 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:Cubierta con abundante vegetación



Clave: D53

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0361453 m E,2839655 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D55

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0362705 m E,2839744 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D56

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0362925,2839728

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D57

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0363115 m E,2839919 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D58

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0363089 m E,2840050 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D59

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0363163 m E,2840150 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D60

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0363261 m E,2840250 m N

Activa: No se distingue

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D61

Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0363435 m E,2840300 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D62

Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0363874 m E,2840064 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D63

Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0364216 m E,2840076 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Clave: D64

Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0364346 m E,2840022 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:Se observó una capa grisácea formada sobre el agua desvargada



Clave: D65
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0365301 m E,2839723 m N
Activa: Si
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: Olor a drenaje



Clave: D66
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0365671 m E,2839461 m N
Activa: No
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.:-



Clave: D67
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0365776 m E,2839441 m N
Activa: No
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.:-



Clave: D68c
Fecha de identificación: enero 2018
Coordenadas: 0366787 m E,2839387 m N
Activa: Si
Clasificación: Descarga de aguas residuales
Obs.: Cuádruple. Zona de descarga triple con coloración blancosa. Fuente de lado izquierdo, fuerte color azul aqua.



Clave: D69

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0366732 m E,2839259 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Olor algo desagradable



Clave: D70

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0366074 m E,2839381 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Con aceite



Clave: D71d

Fecha de identificación: septiembre 2017

Coordenadas: 0367753 m E,2839201 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Doble (a derecha y b izquierda)



Clave: D72

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0368742 m E,2838908 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.:-



Fecha de identificación: enero 2018

Activa: Si (a) y No (b)



Clave: D73

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0368832 m E,2838922 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: T153

Fecha de identificación: octubre 2017

Coordenadas: 370477 m E,2839999 m E

Activa: -

Obs.: - Antiguo tiradero de escorias Fundidora.



Clave: D74

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0369788 m E,2839486 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Agua color café fuerte, olor desagradable.



Clave: D75

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0370058 m E,2839764 m N

Activa: Sí

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga acompañada de residuos sólidos. Cercana al hospital IMSS



Clave: D76

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0370395 m E ,2839909 m N

Activa: Sí

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Se identificó espuma en la zona de descarga



Clave: D77

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0370718 m E,2840041 m N

Activa: Sí

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Sin olor desagradable



Clave: D78d

Fecha de identificación: enero 2018 Coordenadas: 0370406 m E,2839734 m N

Activa: Sí

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Coloración café-rojiza, pinturas, a un costado descarga con olor desagradable



Clave: D79
 Fecha de identificación: enero 2018
 Coordenadas: 0370771 m E,2839944 m N
 Activa: Sí
 Clasificación: Descarga de aguas residuales
 Obs.: Residuos de aceites.



Clave: D80
 Fecha de identificación: enero 2018
 Coordenadas: 0370932 m E,2840017 m N
 Activa: No
 Clasificación: Descarga de aguas residuales
 Obs.:-



Clave: D81
 Fecha de identificación: enero 2018
 Coordenadas: 0370984 m E,2840004 m N
 Activa: No
 Clasificación: Descarga de aguas residuales
 Obs.:-



Clave: D82
 Fecha de identificación: enero 2018
 Coordenadas: 0372011 m E,2840356 m N
 Activa: No
 Clasificación: Descarga de aguas residuales
 Obs.:-



Clave: D112

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0371329 m E,2840250 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Coloración verde aqua en los sedimentos donde la descarga es vertida



Clave: D97

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0371329 m E,2840250 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Frente a Fundidora



Clave: D128

Fecha de identificación: abril 2017

Coordenadas: 0371495 m E,2840159 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: coloración oxido en los sedimentos alrededor de la descarga



Clave: D138

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0366401 m E,2839320 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D34

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0366474 m E,2839305 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D139

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0366521 m E,2839297 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Residuo café chocolate, olor desagradable, algo de aceite.



Clave: D140

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0367657 m E,2839066 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D141

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0367935 m E,2838999 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: aceite



Clave: D142

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0368314 m E,2838929 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: sin olor desagradable



Clave: D135

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0368392 m E,2838928 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D143

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0368596 m E,2838891 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D137

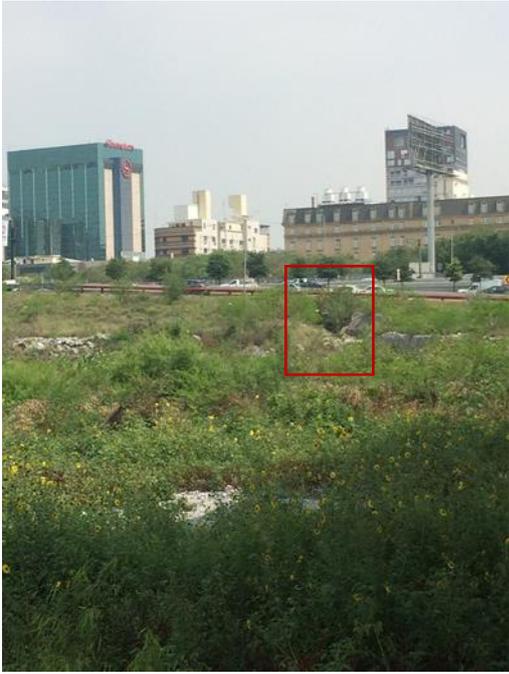
Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0368919 m E,2838950 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D136

Fecha de identificación: mayo 2018

Coordenadas: 0368252 m E,2839076 m N

Activa: -

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -

ANEXO 5:
**Base de datos de las descargas en el río en
el municipio de Guadalupe**



Clave: D83

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372119 m E,2840536 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Agua con coloración verde, aparentemente por estancamiento



Clave: D84

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372258 m E,2840968 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D85

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372369 m E,2841046 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Agua con coloración azul aqua, sin olor desagradable.



Clave: D86

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372413 m E,2840959 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Residuos con coloración negra



Clave: D87

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372539 m E,2840966 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D88

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0372860 m E,2840950 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Olor desagradable



Clave: D89

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0373128 m E,2840938 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Fuerte olor a drenaje



Clave: D90

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0373492 m E,2841104 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D91

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0373699 m E,2841214 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Muy fuerte olor a drenaje, residuos fecales.



Clave: D92

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0374275 m E,2841301 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Muy fuerte olor a drenaje.



Clave: D93

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0374259 m E,2841403 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D94

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0373955 m E,2841456 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D95

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0373410 m E,2841153 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D97

Fecha de identificación: enero 2018

Coordenadas: 0371329 m E,2840250 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D98

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0380600 m E,2841949 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Color café-oscuro, olor drenaje vertida directamente sobre cúmulos de basura



Clave: D99

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0381589 m E,2842371 m N

Activa: No se identifica

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D100

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0379235 m E,2841683 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D101

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0375939 m E,2841893 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D102

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0375916 m E,2842033 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D103

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0376226 m E,2842169 m N

Activa: No se distingue

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D104

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0376634 m E,2842260 m N

Activa: No se distingue

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D105

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0376658 m E,2842190 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D106

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0376722 m E,2842285 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D107

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0376850 m E,2842319 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D108

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377140 m E,2842356 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Cercana al hospital materno infantil, se identificaron peces y tortugas de gran tamaño en la zona.



Clave: D109

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377068 m E,2842371 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga superior derecho



Clave: D110

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377072 m E,2842370 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga inferior izquierda



Clave: D111

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377297 m E,2842203 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D113

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377351 m E,2842124 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D114

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377434 m E,2841999 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D115

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377388 m E,2841918

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D116

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377697 m E,2841901

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D117

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377810 m E,2841969 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Referencia obtenida de *Google Earth*, 2014



Clave: D118

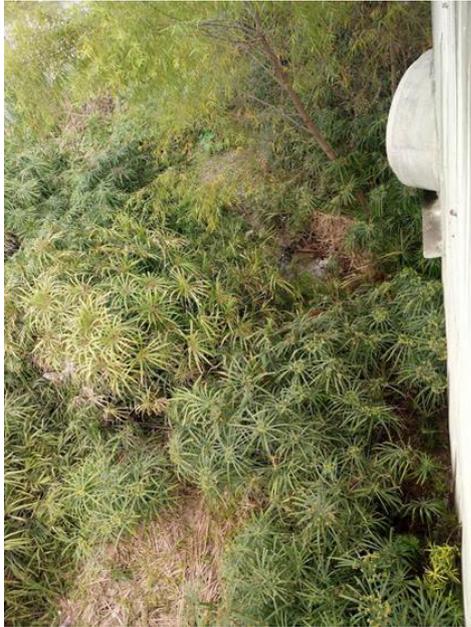
Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0377703 m E,2841831 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D119

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378207 m E,2842146 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Abundante vegetación en zona de la descarga



Clave: D122

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378665 m E,2842104 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D121

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378541 m E,2842336 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D120

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378320 m E,2842304 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D123

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378861 m E,2841823 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Agua color grisácea verdosa.



Clave: D124

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378984 m E,2841722 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D125

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0379394 m E,2841942 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D126

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374498 m E,2841428 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D127d

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374491 m E,2841343 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: C147

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0381932 m E,2842331 m N

Activa: -

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D129

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374622 m E,2841517 m N

Activa: No

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga superior izquierda



Clave: D130

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374622 m E,2841517 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Descarga inferior derecha



Clave: D131

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374664 m E,2841563 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D132

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374697 m E,2841606 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D133

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374783 m E,2841717 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: -



Clave: D134

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0374961 m E,2841751 m N

Activa: Si

Clasificación: Descarga de aguas residuales

Obs.: Doble. Predomina coloración negra en la zona de descarga, residuos líquidos café oscuro con presencia de pequeñas burbujas.



Clave: B148

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0380263 m E,2841925 m N

Activa: Constante

Clasificación: Basurero /Tiradero

Obs.: Terrazas invadidas por basura de todo tipo, se realiza quema de basura en la zona. Se identificaron cerdos entre la basura.



Clave: B149

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0380608 m E,2841947 m N

Activa: Constante

Clasificación: Basurero /Tiradero

Obs.: Justo por encima de la acumulación de basura es vertida agua residual de la D98



Clave: O146

Fecha de identificación: febrero 2018

Coordenadas: 0378325 m E,2842219 m N

Activa: Si

Clasificación: Otros

Obs.: -



Clave: T154

Fecha de identificación: junio 2018

Coordenadas: 380429 m E,2841957 m N

Activa: Si

Obs.: Antiguo tiradero de escorias