

termo:
wte

APROVECHAMIENTO DEL PODER CALORÍFICO
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MIA
REGIONAL

CAPITULO IV
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL
Y SENALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL
DESARROLLO Y DETERIORO DE LA REGIÓN



CONTENIDO

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL Y SEÑALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y DETERIORO DE LA REGIÓN..... 1

IV.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DONDE SE PRETENDE ESTABLECER EL PROYECTO..... 1

IV.1.1 Consideraciones previas 1

IV.1.2 Subsistema de la Geósfera 11

IV.1.3 Subsistema de la atmósfera 20

IV.1.4 Procesamiento de imágenes 30

IV.1.5 Regiones de interés ambiental 36

IV.2 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR) 65

IV.2.1 Medio Abiótico..... 65

 IV.2.1.1 Clima 65

 IV.2.1.1.1 Clasificación climática..... 65

 IV.2.1.1.2 Temperaturas máximas y mínimas, precipitación y evaporación 98

 IV.2.1.1.3 Vientos..... 107

 IV.2.1.1.4 Calidad del aire..... 112

 IV.2.1.1.5 Calidad del aire en el SARA 135

 IV.2.1.2 Ambiente sonoro 149

 IV.2.1.3 Fisiografía..... 157

IV.2.1.4 Geología.....	166
IV.2.1.5 Sismicidad.....	174
IV.2.1.6 Suelos	182
IV.2.1.6.1 Generalidades	182
IV.2.1.6.3 Descripción de perfiles de suelo	189
IV.2.1.6.4 Identificación de los tipos de suelo presentes a nivel del SAR del proyecto.	190
IV.2.1.6.5 Tipos de suelo presentes en el predio del proyecto.....	197
IV.2.1.6.6 Análisis de peligrosidad del suelo.....	207
IV.2.1.7 Grado de erosión.....	214
IV.2.1.7.1 Descripción general	214
IV.2.1.7.2 Determinación de pérdida de suelo por erosión hídrica en el SAR.....	216
IV.2.1.8 Hidrografía.....	225
IV.2.1.8.1 Hidrología subterránea	233
IV.2.1.8.2 Hidrología superficial	241
IV.2.1.8.3 Determinación de la calidad del agua superficial.....	244
IV.2.2 Medio biótico	248
IV.2.2.1 Fauna silvestre	248
IV.2.2.1.1 Trabajo de campo.....	248
IV.2.2.1.2 Resultados del muestreo de fauna silvestre	251

IV.2.2.1.3 Diagnóstico de la importancia del SAR respecto al grupo faunístico Aves.....	264
IV.2.2.2 Flora silvestre	284
IV.2.2.2.1 Metodología implementada para la caracterización en el SAR	284
IV.2.2.2.2 Resultados del trabajo de campo para la caracterización del SAR.....	285
IV.2.2.2.3 Metodología implementada para la caracterización en el AI.	289
IV.2.2.2.4 Resultados del trabajo de campo para la caracterización del AI	296
<i>IV.2.3 Medio socioeconómico</i>	<i>318</i>
IV.2.3.1 Descripción territorial.....	318
IV.2.3.2 Población	318
IV.2.3.2.1 Dinámica poblacional a nivel del SAR	320
IV.2.3.2.2 Variables de la dinámica poblacional.....	323
IV.2.3.2.3 Economía regional.....	331
IV.2.3.2.4 Participación de remesas en la economía	336
IV.2.3.2.5 Educación	339
IV.2.3.2.6 Salud	344
IV.2.3.2.7 Evaluación del bienestar.....	357
<i>IV.2.4 Integridad funcional</i>	<i>361</i>
IV.2.4.1 Fragilidad ambiental	361
IV.2.4.2 Fragilidad Ecológica en el SAR	362

IV.2.4.3 Contexto histórico de la transformación del SAR	365
IV.2.4.4 Evaluación de la fragilidad ecológica	367
IV.2.4.5 Desarrollo del modelo y resultados	371
IV.2.4.6 Discusión y conclusiones	372

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla IV-1. Coordenadas UTM del subsistema de la Geósfera delimitado para el desarrollo del proyecto.....	16
Tabla IV-2. Contaminantes y concentraciones consideradas que serán emitidas durante la operación de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.	23
Tabla IV-3. Criterios y restricciones definidas en el modelo CALPUFF para la definición de emisiones y dispersión de contaminantes por la operación de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.	24
Tabla IV-4 Rango de valores obtenidos para el NDVI del predio del proyecto.....	36
Tabla IV-5. Áreas naturales protegidas de los tres niveles de gobierno que se ubican aledañas al predio y SAR definido para el proyecto.....	37
Tabla IV-6. Estaciones meteorológicas que se encuentran dentro o en los límites del sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico§.....	68
Tabla IV-7. Clasificación climática en el sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico tomando en cuenta la base de datos de las estaciones meteorológicas de la región.....	71
Tabla IV-8. Temperaturas máximas y mínimas promedio anuales, evaporación y días con lluvia en las estaciones meteorológicas ubicadas en el sistema ambiental regional definido para el proyecto.	99
Tabla IV-9. Normas oficiales mexicanas actualmente vigentes que definen los estándares máximos para el monitoreo de la calidad del aire a nivel nacional§..	115
Tabla IV-10. Categorías del índice de calidad del aire establecido en la norma ambiental NADF-009-AIRE-2006 y sus implicaciones para la población.	117

Tabla IV-11. Activación de las fases de contingencia ambiental de 1988 a marzo de 2017 en la Zona Metropolitana del Valle de México§.....	132
Tabla IV-12. Listado de estaciones de monitoreo ambiental y de contaminantes monitoreados por estación en el SARA definido para el proyecto.	135
Tabla IV-13. Valores para el ruido de fondo establecidos por la Organización Mundial de la Salud para ambientes específicos y los efectos críticos a la salud en caso de ser rebasados.	151
Tabla IV-14. Valores máximos permisibles de ruido de fondo establecidos en el acuerdo de modificación de la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994.	153
Tabla IV-15. Niveles sonoros continuos equivalentes “A” y “C” promedios obtenidos en el área del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico durante el día.	155
Tabla IV-16. Grandes sismos que han ocasionado daños significativos en la Ciudad de México y áreas aledañas de 1900 al 2012§.....	178
Tabla IV-17. Clasificación de las partículas del suelo con base a su tamaño, según la clasificación de la USDA* y la USCS*.....	184
Tabla IV-18. Superficie y porcentajes de los tipos de suelos, y cuerpos de agua, presentes en el sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.	192
Tabla IV-19. Composición química y textura, por perfil y estrato, de las muestras de suelo tomadas en las áreas con y sin vegetación en el predio del proyecto en cuestión.....	206
Tabla IV-20. Resultado del análisis CRIT realizado a cuatro muestras de “suelo” tomadas en el predio de pretendida construcción de la planta termovalorizadora, con base a las especificaciones de la NOM-052-SEMARNAT-2005.	212

Tabla IV-21. Superficie (ha) de suelo degradada por procesos físicos, químicos, eólicos e hídricos en la Ciudad de México y el Estado de México para el año 2002§.	216
Tabla IV-22. Composición físico-química y bacteriológica de las muestras de agua de la laguna y río Churubusco y de la tarquina.....	246
Tabla IV-23. Especies de fauna silvestre registradas en el SAR que se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010.	259
Tabla IV-24. Listado de las especies de fauna silvestre registradas en el SAR que mantienen algún estatus de endemismo.....	261
Tabla IV-25. Listado de especies bajo alguna categoría de endemismo presentes en el SAR.....	269
Tabla IV-26. Seis especies de aves que deberían ser elevadas a especies. Se muestra la taxonomía aceptada y la propuesta.	270
Tabla IV-27. Especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y que se distribuyen en el SAR.	270
Tabla IV-28. Especies Especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la IUCN (2017).	271
Tabla IV-29. Tipo de Vegetación y Uso del Suelo, y su superficie, presentes en el SAR.	275
Tabla IV-30. Uso de suelo y tipos de vegetación identificados en el SAR definido para el proyecto.	285
Tabla IV-31. Coordenadas UTM, Datum WGS 84 zona 14 Q, de los sitios de muestreo para la caracterización de la flora silvestre.	293
Tabla IV-32. Clasificación del uso del suelo, y su cobertura, identificado en las áreas para el desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.	296

Tabla IV-33. Usos de suelo y vegetación identificados por obra que constituye el desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.....	297
Tabla IV-34. Listado de especies de flora silvestre identificadas en el área de influencia del proyecto de la planta termovalorizadora.	312
Tabla IV-35. Población nacional de las entidades inmersas en el sistema ambiental regional definido para el proyecto de acuerdo con los censos directos realizados por el INEGI de 1970 al 2010 y la tasa de crecimiento poblacional promedio estima para este periodo§.	321
Tabla IV-36. Población no nacida en la entidad (%) con respecto al total de habitantes resultado de los censos directos realizado por el INEGI.....	325
Tabla IV-37. Total de viviendas y grado de intensidad migratoria en las entidades involucradas en el sistema ambiental regional del proyecto.	330
Tabla IV-38. Nivel educativo de la población estimado con el porcentaje de la población mayor de 15 años sin educación media y porcentaje de la población con estudios superiores respecto a la población total con base a los censos directos del INEGI§.	342
Tabla IV-39. Veinte principales causas de enfermedades en el 2015, y número de casos, a nivel nacional, Ciudad de México y el Estado de México§.....	352
Tabla IV-40. Población con afiliación (%) a los servicios de salud a nivel nacional y de las entidades inmersas en el sistema ambiental atmosférico del proyecto al 2015§.	355
Tabla IV-41. Rezago social en las entidades estatales entre el 2000 y el 2015, por quinquenio, de acuerdo a lo estimado por el CONEVAL§.	358

Tabla IV-42. Rezago social en los municipios y delegaciones del sistema ambiental regional del proyecto entre el 2000 y el 2015, por quinquenio, de acuerdo a lo estimado por el CONEVAL§.....	360
Tabla IV-43. Uso de suelo y tipos de vegetación identificados en el SAR definido para el proyecto.	363
Tabla IV-44. Valores modelados para el IFE por cada uso de suelo/vegetación registrado en el SAR.	372

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV—1. Ubicación del predio del proyecto con respecto a la delimitación del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. .	13
Figura IV—2. Ubicación del predio del proyecto con respecto al subsistema de la Geósfera delimitado para su desarrollo.....	19
Figura IV—3. Resultados obtenidos de la modelación de la dispersión de contaminantes emitidos por la operación de la planta considerando las máximas emisiones.....	28
Figura IV—4. Polígono del SARA definido para el proyecto de la planta termovalorizadora, delimitada por la dispersión de NOx en concentraciones mayores a 0.027 ppm (50.76 µg m3-1).....	29
Figura IV—5. Índices de vegetación.....	32
Figura IV—6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	34
Figura IV—7. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a nivel del predio del proyecto.....	35
Figura IV—8. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter federal más cercanas al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.	39
Figura IV—9. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter federal más cercanas al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.....	40
Figura IV—10. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter estatal más cercanas al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.	42

Figura IV—11. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter estatal más cercanas al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico..... 43

Figura IV—12. Ubicación del Parque Municipal Tlalnepantla con respecto al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico..... 45

Figura IV—13. Ubicación del Parque Municipal Tlalnepantla con respecto al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico. 46

Figura IV—14. Ubicación del área de importancia para la conservación de las aves con respecto al SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico..... 50

Figura IV—15. Ubicación del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al área de importancia para la conservación de las aves Lago de Texcoco..... 51

Figura IV—16. Ubicación de las regiones terrestres prioritarias con respecto al SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico. 55

Figura IV—17. Ubicación del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a las regiones terrestres prioritarias más cercanas..... 56

Figura IV—18. Ubicación del SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a la región hidrológica prioritaria cercana a éste. 59

Figura IV—19. Ubicación del área de influencia del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a la región hidrológica prioritaria cercana a ésta..... 60

Figura IV—20. Ubicación del SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al sitio RAMSAR más cercano a éste.....	63
Figura IV—21. Ubicación del área de influencia del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al sitio RAMSAR más cercano a ésta.....	64
Figura IV—22. Tipos de climas en el SAR y Área del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos sólidos urbanos.....	67
Figura IV—23. Ubicación de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro o colindantes al sistema ambiental delimitado para el proyecto.....	70
Figura IV—24. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en el municipio de Texcoco, Estado de México.....	79
Figura IV—25. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec, Atenco, Chimalhuacán y La Paz, Estado de México.	86
Figura IV—26. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las delegaciones Iztacalco e Iztapalapa de la Ciudad de México.	91
Figura IV—27. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza, Ciudad de México.	97
Figura IV—28. Precipitación máxima esperada en 24 horas a nivel nacional, con ubicación del área del proyecto en cuestión.	102
Figura IV—29. Diferenciación del potencial de granizadas dentro del sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.....	104

Figura IV—30. Campos de vientos de superficie diurnos durante el 2014 en la Ciudad de México.	109
Figura IV—31. Velocidad del viento promedio mensual durante el 2014 en la Ciudad de México.	110
Figura IV—32. Variación mínima, promedio y promedio durante el día de la velocidad del viento en el 2014 en la Ciudad de México.....	111
Figura IV—33. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire operadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México.	116
Figura IV—34. Comportamiento de los contaminantes NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2.5} , PM ₁₀ y Pb promedio mensual registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México.....	123
Figura IV—35. Comportamiento promedio diario de los contaminantes NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2.5} y PM ₁₀ registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México en los años indicados.....	126
Figura IV—36. Concentración promedio anual de los contaminantes NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2.5} , PM ₁₀ y Pb registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México y su cumplimiento de la normatividad oficial mexicana.	129
Figura IV—37. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México inmersas en el SARA definido para el proyecto.	136
Figura IV—38. Concentraciones promedio máximas de contaminantes registradas en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas dentro del SARA definido para proyecto entre 2005 y 2016.	138

Figura IV—39. Concentraciones máximas, promedio mensuales, de contaminantes registradas en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas dentro del SARA del proyecto entre 2005 y 2016.	140
Figura IV—40. Factores principales relacionando grupos, estaciones de monitoreo ambiental y registro de los contaminantes O3, SO2 y NO2.	142
Figura IV—41. Conformación de grupos del análisis clúster jerárquico con base a la concentración promedio mensual de los valores máximos diarios de los contaminantes O3, SO2 y NO2.	143
Figura IV—42. Dispersión de las concentraciones máximas de contaminantes en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas en el SARA en el periodo 2005 – 2016.	148
Figura IV—43. Variación del ruido de fondo promedio medido durante el día en los 88 puntos en el predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos. La línea roja representa el valor establecido por la OMS para exteriores y la línea negra el límite máximo indicado en la NOM-081-SEMARNAT-1994 para áreas industriales y comerciales durante el día.	156
Figura IV—44. Nivel de ruido de fondo en el área de influencia del proyecto simulando la planta en operación. Los representan el nivel sonoro continuo equivalente en “dBA” (LeqA).	157
Figura IV—45. Provincias fisiográficas definidas por el INEGI para el territorio nacional.	159
Figura IV—46. Ubicación del sistema ambiental regional y predio del proyecto con respecto a la subprovincia fisiográfica Lagos y volcanes de Anáhuac.	161
Figura IV—47. Ubicación de las principales elevaciones alrededor de la cuenca del Valle de México. 1) Sierra de Las Cruces; 2) Sierra Nevada; Sierra	

Chichinautzin – Ajusco; 4) Sierra de Guadalupe; 5) Sierra de Pachuca; 6) Tepoztlán, Mor.; 7) Huautla, Mor.; 8) La Caldera de Tilzapotla y, 9) Taxco, Gro.	163
Figura IV—48. Variación altitudinal en el sistema ambiental regional y área de influencia del proyecto en cuestión.	165
Figura IV—49. Ubicación de la provincia Faja Volcánica Mexicana, delimitada en amarillo, su división interna y principales terrenos tectono-estratigráficos presentes.	167
Figura IV—50. Mapa geológico simplificado de la Faja Volcánica Transmexicana.	169
Figura IV—51. Columnas estratigráficas de los pozos profundos perforados en la cuenca del Valle de México.....	171
Figura IV—52. Caracterización geológica del SAR delimitado para el proyecto en cuestión y sus áreas aledañas.	172
Figura IV—53. Ubicación de los pozos profundos caracterizados de la Ciudad de México y Estado de México y de las fallas geológicas: 2) Xochimilco y Xicomulco; 4) Graben Santa Catarina; 5) Mixhuca; 10) Texcoco y, 11) Tizayuca.....	173
Figura IV—54. Regionalización sísmica de México. Zona A sin conocimiento de eventos significativos; zona D incidencia de los mayores eventos y, zonas B y C sismicidad intermedias entre zonas A y D.	176
Figura IV—55. Zonificación para fines de diseño sísmico de estructuras en el sistema ambiental definido para el desarrollo del proyecto.....	181
Figura IV—56. Triángulo de texturas del suelo.	184

Figura IV—57. Tipos estructurales del suelo y su influencia en la infiltración de agua.	186
Figura IV—58. Representación esquemática de los distintos horizontes que conforman el perfil del suelo.	190
Figura IV—59. Tipos de suelos presentes en el sistema ambiental y área del proyecto en cuestión.	193
Figura IV—60. Relieve tipo gilgai y agrietamiento característicos de los suelos Vertisoles.	195
Figura IV—61. Condiciones físicas presentes en el predio del proyecto al momento de definir los sitios de muestreo para la caracterización del suelo.....	198
Figura IV—62. Diferenciación de las áreas del predio del proyecto para la determinación de los sitios de muestreo y ubicación de los perfiles para la caracterización del suelo en el predio del proyecto en cuestión.	200
Figura IV—63. Barrenación y construcción de perfil para la descripción del suelo presente en el área del proyecto de la planta termovalorizadora.....	204
Figura IV—64. Procedimiento y material utilizado para el muestreo de suelo por personal técnico especializado para la realización del análisis CRIT.	209
Figura IV—65. Ubicación de los sitios de muestreo del suelo para la toma de muestra de suelo para la realización del análisis CRIT.....	213
Figura IV—66. Representación gráfica de los factores de la ecuación RUSLE para estimar la erosión en el SAR del proyecto en cuestión.	218
Figura IV—67. Erosión estimada aplicando la ecuación RUSLE mediante un sistema de información geográfica dentro del sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.....	224

Figura IV—68. Ubicación de los lagos que conforman la cuenca del Valle de México y del área del vaso del lago de Texcoco declarada propiedad de la nación.....	227
Figura IV—69. Cuenca hidrológica para la delimitación de los corrientes de aguas superficiales dentro del sistema ambiental regional del proyecto.	230
Figura IV—70. Ubicación del área y sistema ambiental regional del proyecto con respecto a los acuíferos pertenecientes a la Región Hidrológico-Administrativa XIII.....	232
Figura IV—71. Principales cuerpos de agua superficiales en el sistema ambiental regional y áreas aledañas al predio del proyecto.	243
Figura IV—72. Ubicación de los puntos de muestreo de agua para su análisis en el laboratorio.	245
Figura IV—73. Técnicas de campo aplicadas para la identificación de fauna silvestre presente en el área y SAR del proyecto.....	250
Figura IV—74. Ejemplares de avifauna observados durante el trabajo de campo para la caracterización de la fauna silvestre en el SAR del proyecto de la planta termovalorizadora.....	252
Figura IV—75. Proporción de especies de fauna silvestre identificadas por cada Clase de vertebrados en el SAR (A) y en el área del proyecto (B).	253
Figura IV—76. Curva de acumulación de especies de fauna silvestre para los cuatro grupos de vertebrados registrados en el trabajo de campo realizado en el SAR y área del proyecto.....	255
Figura IV—77. Abundancia de fauna registrada, por especie, en el SAR durante el muestreo.La gráfica se construyó en Log10.	257

Figura IV—78. Proporción de especies de fauna silvestre registradas en el SAR del proyecto por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	258
Figura IV—79. Proporción de especies endémicas para cada grupo taxonómico, con respecto del total de especies caracterizadas para el SAR. La gráfica se construyó en Log2.....	261
Figura IV—80. Número de especies de fauna silvestre, residentes y migratorias, por Clase de vertebrados.....	263
Figura IV—81. Principales rutas migratorias para las aves acuáticas de Norteamérica.....	264
Figura IV—82. Censo de las aves acuáticas presentes en la ZFLT para el periodo 1980 - 2001.....	267
Figura IV—83. Patrón de riqueza de especies de la avifauna presente en el SAR de acuerdo a su presencia estacional. R = residentes, MI = migratorias de invierno, MV = migratorias de verano, T = transitorias, A = accidentales.....	268
Figura IV—84. Rascón azteca (<i>Rallus tenuirostris</i>).....	272
Figura IV—85. Riqueza de especies por Tipo de Vegetación y Uso del Suelo presentes en el SAR.	277
Figura IV—86. Clasificación y distribución de los usos de suelo y/o tipo de vegetación al interior del sistema ambiental definido para el proyecto en cuestión.....	286
Figura IV—87. Ubicación de los sitios de muestreo de vegetación en las áreas de desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.....	294
Figura IV—88. Clasificación y distribución de los usos de suelo y/o tipo de vegetación en el área de influencia del proyecto en cuestión.	298

Figura IV—89. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el área del camino de acceso a la planta termovalorizadora (1).	299
Figura IV—90. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el área del camino de acceso a la planta termovalorizadora (2).	300
Figura IV—91. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el predio de la planta de termovalorización.	301
Figura IV—92. Usos de suelo y/o vegetación identificados de la Torre 0 a la Torre 5 de la línea de evacuación.....	302
Figura IV—93. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 5 a la Torre 10 de la línea de evacuación.	303
Figura IV—94. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 10 a la Torre 15 de la línea de evacuación.	304
Figura IV—95. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 15 a la Torre 20 de la línea de evacuación.	305
Figura IV—96. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 20 a la Torre 26 de la línea de evacuación y subestación de maniobras.....	306
Figura IV—97. Fotografías que evidencian la cobertura vegetal en las diferentes áreas de desarrollo de obras del proyecto de construcción de la planta termovalorizadora.	310
Figura IV—98. Ejemplares de flora silvestre identificados en el área de desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.....	314
Figura IV—99. Fotografías que evidencian la condición del área del proyecto sin cobertura vegetal durante la época de secas.....	317
Figura IV—100. Habitantes por entidad federativa de acuerdo con el censo poblacional directo realizado por el INEGI en el año 2010.....	319

Figura IV—101. Densidad poblacional por entidad federativa de acuerdo con el último censo poblacional directo realizado por el INEGI en el año 2010.	320
Figura IV—102. Tasa de crecimiento demográfica promedio anual, por década, considerando los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010.....	323
Figura IV—103. Número de niños nacidos vivos promedio anual considerando mujeres mayores de 12 años, por década, con base en los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1980, 1990, 2000 y 2010.	324
Figura IV—104. Proporción de habitantes nacidos fuera de la entidad con respecto al total de habitantes, por década, considerando los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1980, 1990, 2000 y 2010.	326
Figura IV—105. Emigración interna por entidad federativa en el periodo 2005 – 2010.	327
Figura IV—106. Emigrantes mexicanos, por entidad federativa, hacia el exterior entre el 2009 y el 2014.....	328
Figura IV—107. Participación por entidad federativa en la generación del PIB nacional promedio entre 2005 y 2015. Para el año 2014 se utilizaron cifras revisas y para el 2015 datos preliminares.	332
Figura IV—108. Crecimiento del PIB a nivel nacional y de la Ciudad de México y Estado de México, y su tendencia de crecimiento, entre 2005 y 2015. Para el año 2014 se utilizaron cifras revisas y para el 2015 datos preliminares.	333
Figura IV—109. Participación de los sectores productivos en el PIB nacional y de la Ciudad de México y Estado de México para el año de 2015 (con información preliminar).....	334

Figura IV—110. Participación de las actividades productivas, por sector, en la generación del PIB de la Ciudad de México para el año de 2015 (con información preliminar).....	335
Figura IV—111. Participación de las actividades productivas, por sector, en la generación del PIB del Estado de México para el año de 2015 (con información preliminar).....	336
Figura IV—112. Ingreso promedio anual de remesas, por entidad federativa, en el periodo 2009 – 2014.	337
Figura IV—113. Ingreso promedio anual de remesas, por entidad federativa, en el periodo 2009 – 2014.	338
Figura IV—114. Indicador de dependencia de remesas (remesas recibidas como porcentaje del PIB) para el periodo 2005 – 2015 en las entidades seleccionadas.	339
Figura IV—115. Promedio de escolaridad (grado) en las entidades y a nivel nacional según la información de la encuesta intercensal del INEGI del 2015.	343
Figura IV—116. Población por nivel de escolaridad en las entidades involucradas en el sistema ambiental del proyecto de acuerdo con la encuesta intercensal del INEGI del 2015.....	344
Figura IV—117. Comparación de los indicadores tasa de mortalidad infantil (muertos por cada 1000 nacimientos vivos, para el 2013), esperanza de vida (años, para el 2014), muertes por cáncer (muertes de cáncer por cada 100,000 habitantes, para el 2013) y tasa de suicidios (suicidios por cada 100,000 habitantes, para el 2013) en países miembros de la OECD y en adhesión.....	347

Figura IV—118. Esperanza de vida al nacer en las entidades que se encuentran formando parte del sistema ambiental del proyecto de 1990 al 2018, con proyección del 2013. 348

Figura IV—119. Defunciones, tasa bruta de mortalidad (TBM, por cada mil habitantes) y tasa de mortalidad infantil (TMI, por cada mil nacimientos) a nivel nacional, Ciudad de México y Estado de México entre 1990 y 2015. 351

Figura IV—120. Usos de suelo y/o vegetación al interior del SAR definido para el proyecto. 364

FUNDAMENTO JURÍDICO

La integración de este Capítulo tiene como objetivo dar cumplimiento a lo dispuesto por la Fracción IV del Artículo 13 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, el cual establece que las Manifestaciones de Impacto Ambiental en su modalidad Regional deberán contener la “Descripción del Sistema Ambiental Regional y Señalamiento de Tendencias del Desarrollo y Deterioro de la Región”.

De conformidad con lo anterior, este apartado estará orientado a ofrecer una caracterización del medio en sus elementos bióticos y abióticos, social, económico y cultural, para lo cual serán descritos y analizados, en forma integral, los componentes a nivel del Sistema Ambiental Regional (SAR) entendiéndose este como *“El espacio geográfico conformado por un ecosistema o conjunto de ecosistemas, comprendidos como unidades funcionales, cuya interacción comprende los subsistemas culturales, económicos y sociales”* (SEGA 2010).

Lo anterior, con el objeto de hacer una correcta identificación de sus condiciones ambientales, de las principales tendencias de desarrollo y/o de deterioro, con el propósito de hacer un diagnóstico del SAR, en donde se identifican y analizan las tendencias del comportamiento de los procesos de deterioro natural y el grado de conservación del mismo.

La delimitación del SAR es importante para que la SEMARNAT evalúe las manifestaciones de impacto ambiental de conformidad con el Artículo 44 del mismo Reglamento que indica *“Al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental la Secretaría deberá considerar: I. Los posibles efectos de las obras o actividades a desarrollarse en el o los ecosistemas de que se trate, tomando en cuenta el conjunto de elementos que los conforman, y no únicamente los recursos que fuesen objeto de aprovechamiento o afectación”*.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL Y SEÑALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y DETERIORO DE LA REGIÓN.

IV.1 Delimitación del área de estudio donde se pretende establecer el proyecto

IV.1.1 Consideraciones previas

Para llevar a cabo la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SAR) hay que tener claro el concepto de sistema, el cual suele ser definido como el conjunto de componentes que se interrelacionan, de tal manera que los cambios en un componente pueden afectar a alguno o a todos los demás componentes; es decir, la interacción entre éstos es susceptible de problemas, restricciones y potencialidades por la existencia de variables que puedan afectarlos. Un sistema es concebido como un modelo de índole general, y su peculiaridad radica en que permite un enfoque global del objeto de estudio y en la libertad que se tiene para fijar sus límites, ya que éstos pueden ser tan grandes o pequeños según lo requiera el estudio (Von Bertalanffy, 1987).

Los fundamentos básicos de la teoría general de sistemas afirman que los sistemas se encuentran dentro de sistemas, es decir un sistema se encuentra dentro de otro más grande; son abiertos, y como consecuencia de ello, se caracterizan por un proceso de cambio infinito con su entorno, que son los otros sistemas. Por lo que los límites o fronteras de un sistema admitirían cierta arbitrariedad. No obstante, la necesidad de conocer y entender su funcionamiento ha derivado en la necesidad de ordenarlos a través del establecimiento de límites. En materia ambiental, a lo largo de la historia han surgido diferentes métodos que,

dependiendo de su enfoque, han tratado de ordenar el ambiente a través de su delimitación.

El enfoque derivado del vínculo existente entre la economía del hombre y la naturaleza ha dado origen a métodos que buscan la regionalización en unidades naturales, en donde el comportamiento ante determinadas actividades no varíe en gran medida. Esta regionalización se puede realizar a través de un proceso de divisiones sucesivas que permita establecer unidades homogéneas, que bajo ciertas condiciones se pueden manejar en forma independiente.

Si nos adentramos un poco más al concepto de sistema, se pueden encontrar diferentes tipos de sistemas:

1. Sistema aislado: Es un modelo imaginario cuya frontera (límite del sistema) impide cualquier tipo de intercambio.
2. Sistema cerrado: Es aquel cuya frontera admite únicamente el intercambio de energía.
3. Sistema abierto: Su frontera permite todo tipo de intercambios (materia, energía, información).

De acuerdo con estos conceptos, el sistema abierto es el más próximo a la realidad ambiental. De acuerdo con Margalef (1980), referido por Gómez (1999), el ecosistema está definido como el *“Sistema formado por individuos de muchas especies, en el seno de un ambiente de características definidas e implicado en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste y regulación, expresable bien como intercambio de materia y energía, bien como una secuencia de nacimientos y muerte, y uno de cuyos resultados es la evolución a nivel de las especies y la sucesión a nivel del sistema entero”*. En consecuencia, en el ecosistema entendido como sistema, se reúnen todas las formas de vida junto con su soporte inerte o

viviente, en donde se pueden establecer tres grandes divisiones del planeta Tierra: hidrósfera, atmósfera y litósfera o geósfera.

En el Sistema Ambiental, por tanto, se lleva a cabo la organización vital en un determinado espacio, donde los seres vivos interaccionan entre sí y con el medio en que viven por lo que existen límites geográficos particulares. El concepto de sistema ambiental utilizado en la identificación de impactos ambientales, necesariamente debe establecer un espacio geográfico en el que se engloben los efectos potenciales que sobre el ecosistema puede producir el insertar un proyecto determinado y debe guardar la relación ecológica y geográfica que une las bases biológicas y sistemas territoriales, integrados por unidades ambientales.

De acuerdo con lo antes expuesto, se entiende que la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SAR) que aquí se expone constituye un modelo teórico, con límites artificiales o arbitrarios, pero sólo hasta cierto punto, ya que dichos límites corresponden a características reales presentes en las diferentes divisiones del planeta. Estas características pueden ser atmosféricas, tipos de vegetación, fisiográficas, límites políticos o administrativos, elementos artificiales existentes, tales como carreteras o poblados, así como eventos de efectos provocados por la actividad antropogénica.

Considerando las tres divisiones del planeta antes mencionadas (atmósfera, hidrósfera y litósfera o geósfera), además de los aspectos artificiales, estas tres divisiones se pueden dividir en cinco subsistemas que, estudiados individualmente, pueden ser considerados sistemas:

1. **Atmósfera:** Sistema fluido formado por la capa gaseosa que envuelve a la Tierra.

2. **Hidrosfera:** Sistema fluido compuesto por el agua terrestre (océanos, mares, ríos, lagos y demás masas y corrientes de agua), en sus diversos estados (sólido, líquido y gaseoso).
3. **Litósfera o Geósfera:** Sistema sólido integrado por la capa superior de la litosfera (en relación con la Biosfera) o, con un enfoque más amplio, la propia Tierra desprovista de sus elementos vivos.
4. **Biósfera:** Es el sistema formado por la vida terrestre. Está en interacción con los anteriores sistemas debido a que sirven (aunque no en su totalidad) de soporte a la vida.
5. **Sociósfera:** Sistemas artificiales (construidos, fabricados o transformados por la humanidad)¹.

Para el presente estudio se considera que los subsistemas de la biósfera y sociósfera forman parte incluyente de los tres previos, por lo que no se requiere de la división de estos dos subsistemas.

Tomando en cuenta las grandes divisiones terrestres y que el SAR definido para el presente trabajo, además de estar referido a un área geográfica determinada, también debe estar constituido por diversos elementos o factores, tanto ambientales como de origen antropogénico, que interactúan entre sí. La delimitación tendrá por objeto definir un espacio finito que sea concordante con los subsistemas antes mencionados, así como con la dimensión del proyecto que se valora, sobre el cual sea posible realizar una descripción clara y fiel de los elementos del SAR y las tendencias de deterioro en su Área de Influencia (AI). Esta delimitación debe incluir el componente humano como eje en el cual se consideran aspectos culturales, económicos y sociales bajo la visión de que son

¹ [http://www.isftic.mepsyd.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem/pronatura/sistem.htm#Sistemas ambientales naturales.](http://www.isftic.mepsyd.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem/pronatura/sistem.htm#Sistemas_ambientales_naturales)

éstos los rectores de las transformaciones que ocurren en el medio a una escala de tiempo ecológica que, por su amplitud concuerda con una visión histórica de los cambios observables en el medio. La delimitación del SAR y AI permite identificar y enunciar problemas ambientales asociados a su evolución, como medio que acoge un proyecto, así como determinar tendencias de deterioro regional que no necesariamente se ligan a las intervenciones que se plantean y estudian.

La naturaleza del proyecto en estudio y las condiciones de los componentes ambientales del sitio en el que se pretende insertar son las variables más sobresalientes que condicionan los límites del SAR. Es necesario tener en cuenta la naturaleza del proyecto, que para el que nos interesa, concretamente consiste en la construcción de una planta para el manejo (incineración) de residuos sólidos urbanos ($4,500 \text{ t d}^{-1}$), en una superficie de 13.2 ha. El manejo se realizará a través del reciclaje y combustión controlada de los residuos que no pueden ser reciclados. El calor generado se aprovechará para producir energía eléctrica y, como consecuencia de la combustión, se generarán emisiones, las cuales serán controladas con tecnología de última generación.

La construcción de la planta se llevará a cabo en una zona cuyo predio y áreas aledañas se caracterizan por tener un ambiente transformado por las actividades antropogénicas. El predio de 13.2 ha para construcción de la planta está conformado por los usos de suelo: asociación de halófitas (1.20 ha), reforestada con Tamarix (0.16 ha) y sin vegetación aparente (11.85 ha). Dicha superficie se encuentra severamente transformada por actividades antropogénicas y rodeada de terrenos dedicados a la agricultura de temporal y áreas urbanas. En particular, en algún momento el área del proyecto fue utilizado para verter aguas residuales, y en el pasado reciente ha sido utilizado para disponer el material producto del dragado de la laguna Churubusco. La agrupación de halófitas está representada por especies que crecen en condiciones de alta salinidad y alcalinidad, entre las

que destacan: *Suaeda torreyana* S. Watson, *Atriplex linifolia* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Salsola tragus* L. y *Chenopodium macrospermum* Hook. f.; las dos últimas consideradas especies introducidas con amplia capacidad de colonización (Espinosa y Sarukhán, 1997).

Los otros componentes importantes del proyecto es la construcción del camino de acceso, el derecho de vía para la línea de evacuación eléctrica y la subestación. En conjunto, estos componentes del proyecto implican comprenden 30.76 ha, en la que se predominan los usos de suelo: asociación de halófitas (13.4 ha), cuerpo de agua (1.76 ha), reforestación con *Tamarix* (0.21 ha), vegetación secundaria (8.36 ha) y sin vegetación (6.92 ha). La caracterización de cada uno de estos tipos de uso de suelo y vegetación se describen en el apartado de vegetación del presente capítulo.

Debido a las condiciones ambientales prevalecientes en el sitio de ubicación del proyecto y características constructivas y operativas específicas de la planta motivo de la presente solicitud, los impactos potenciales a generarse son de carácter puntual y local. Por lo que, no se prevén cambios ambientales significativos en el AI del proyecto durante las etapas de construcción y mantenimiento, esto de acuerdo con las valoraciones efectuadas y que se podrán constatar en el Capítulo V de esta MIA-R.

Para la etapa de operación, el impacto más importante está relacionado con las emisiones atmosféricas producto de la combustión de los residuos sólidos urbanos que en un momento dado se pudieran generar. Debido al comportamiento de la circulación atmosférica de la región y como resultado del “Estudio de modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación del Sistema Ambiental Regional Atmosférico”, llevado a cabo para el desarrollo de la presente manifestación de impacto ambiental, dichas emisiones pueden alcanzar un área de expansión de

63,663.75 ha alrededor del sitio del proyecto. Sin embargo, tal como fue descrito en el Capítulo II de la presente MIA-R, la tecnología utilizada es de última generación, con lo que se busca reducir las emisiones de todos los contaminantes como parte del proceso de combustión de los residuos. Los gases resultantes del proceso pasan por una serie de filtros que los depuran y limpian previamente a su probable salida de la planta, siempre dentro de niveles que cumplen estrictamente con la normatividad ambiental nacional e internacionales de calidad medioambiental. La depuración de los gases implica la eliminación de los NOx, metales, dioxinas y furanos. A través de un proceso de filtrado son eliminadas las partículas suspendidas y capturadas las sales generadas en los procesos de tratamiento de los gases. Por efecto del tratamiento previo de los gases antes de su emisión a la atmósfera, la magnitud del impacto es considerada baja o nula, tal y como quedó de manifiesto en la descripción del proyecto en el capítulo II de la presente manifestación de impacto ambiental.

Tal como se desprende de lo descrito anteriormente, existe una divergencia tanto en la espacialidad como en la extensión de los impactos ambientales que potencialmente se originarán en las diferentes etapas del proyecto, por un lado, en las etapas de construcción y mantenimiento, y por otro en la de operación.

Tomando en cuenta que los subsistemas en los que se divide el planeta, los impactos de las etapas de construcción y mantenimiento se restringirán básicamente al espacio definido por el subsistema de la Geósfera, y se expresarán con una extensión a nivel puntual y local. Los impactos que se originarán en la etapa de operación tienen como escenario el espacio definido por el subsistema de la Atmósfera y una extensión a nivel regional.

Sobre la extensión regional de los impactos en la etapa de operación producto de las emisiones atmosféricas, se debe aclarar que el tratamiento y depuración de los

gases antes de ser expulsados a la atmósfera asegura que el proceso genere impactos de baja o nula magnitud (Ver Capítulo V); por lo que, la magnitud del impacto se presentará básicamente en función de la extensión territorial que abarquen las emisiones, como consecuencia de la dinámica atmosférica que se presenta en la zona.

Al respecto, hay que tener presente que, de acuerdo con los resultados del “Estudio de modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación del Sistema Ambiental Regional Atmosférico”, la dispersión de las emisiones atmosféricas abarca 63,663.75 ha, alrededor del área de la planta. Lo anterior sugiere que la delimitación del SAR debe ser lo suficientemente extensa para abarcar mínimamente esta distancia, considerando para ello los procesos dinámicos del subsistema Atmosférico en cuestión. No obstante, la delimitación de una gran extensión territorial implica que los procesos naturales que en ella se presentan funcionalmente sean divergentes del subsistema de la Geósfera. Esta nueva divergencia pone de manifiesto que el SAR con estas dimensiones se alejará en gran escala de las condiciones y procesos naturales del sistema en el que se construirá la planta. Ello conduciría a la caracterización de componentes ambientales terrestres (hidrología, edafología, geología, geomorfología, flora y fauna principalmente) alejados de la realidad de la línea base ambiental en la que se inscribe el proyecto.

Lo anterior pone de manifiesto una serie de aspectos que pueden imprimir subjetividad en la delimitación del SAR y que deben ser tomados en cuenta para la decisión final de dicha delimitación.

Resumiendo, los aspectos a considerar son los siguientes:

1. La espacialidad de las afectaciones del proyecto son divergentes, unas estarán presentes en el espacio del subsistema de la Geósfera y otras en el del subsistema de la Atmósfera.
2. La extensión de las implicaciones ambientales del proyecto se manifiesta igualmente de manera divergente: en el subsistema de la Geósfera de manera puntual y local y en el subsistema de la Atmósfera regional.
3. Al llevar a cabo una delimitación de gran extensión, implica que los procesos naturales del subsistema de la Atmósfera funcionalmente sean divergentes del subsistema de la Geósfera.
4. Las tres divergencias mencionadas anteriormente, necesariamente derivarán en una caracterización de componentes ambientales alejados de la realidad de la línea base ambiental en la que se inscribe el proyecto.
5. La magnitud de los impactos se clasifica en un nivel bajo o nulo, en ambos subsistemas, por lo que quedan enmarcado en el subsistema de la Geósfera.

Hay que aclarar que, las divergencias anteriores no cancelan el intercambio de procesos entre los dos subsistemas en los que se desarrolla el proyecto; sobre todo considerando que las emisiones a la atmósfera podrán repercutir en la salud de los seres vivos y degradación de los elementos físicos que obviamente se encuentran en ambos subsistemas. No obstante lo anterior, es importante insistir que la tecnología utilizada permitirá reducir la huella de CO₂ que actualmente se registra por el manejo tradicional de los residuos urbanos, que los NO_x, metales, dioxinas y furanos y partículas suspendidas serán eliminados. De esta manera, la magnitud de los impactos relacionados con la contaminación atmosférica y su repercusión en los seres vivos y componentes físicos se considera de baja o nula, en comparación con lo que sucede actualmente. De esta manera, el reto de la delimitación del SAR definido para el proyecto radica en superar las divergencias e integrar en la medida necesaria las convergencias existentes.

Con el fin de superar los aspectos antes descritos e integrar un SAR lo suficientemente objetivo, se decidió conformar el SAR del proyecto a través de la representación de los dos subsistemas involucrados de acuerdo con la naturaleza del proyecto: el de la Geósfera y el de la Atmósfera.

El manejo de los dos subsistemas permitirá tener control sobre la caracterización de los elementos que influyen en los procesos funcionales en el que se inscribe el proyecto. Por un lado, en el subsistema de la Geósfera se llevará a cabo la caracterización de la línea base ambiental de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos; ya que en los dominios de este Subsistema se concentrarán los impactos más relevantes de las diferentes etapas del proyecto. Por otra parte, en el subsistema de la Atmósfera se caracterizará la línea base ambiental relacionada con la dinámica atmosférica y su evolución con la presencia del proyecto, relacionándolo con el tema de salud de la población.

Para conformar los dominios del SAR del proyecto fueron considerados los atributos de la delimitación de los sistemas y que ya fueron analizados en este apartado, mismos que se resumen a continuación:

1. Ofrecen libertad para fijar los límites según lo requieran los objetivos planteados.
2. Constituyen límites artificiales o arbitrarios pero que corresponden a características reales de las tres grandes divisiones del planeta Tierra: Hidrósfera, Atmósfera y Litósfera.
3. Permite divisiones sucesivas para establecer unidades homogéneas que se puedan manejar en forma independiente.
4. En materia de impacto ambiental se deben englobar los efectos potenciales que sobre el ecosistema puede producir insertar un proyecto y guardar la relación ecológica y geográfica.

Finalmente, hay que considerar que para determinar el SAR en el que se encuentra inscrito un proyecto existen diversos criterios y metodologías aplicables, tales como:

1. Por ecosistemas homogéneos.
2. Por zonificaciones de instrumentos de política ambiental en caso de que existan programas estatales, regionales y/o territoriales de ordenamiento ecológico.
3. Por los límites de usos del suelo existentes y el avance de fronteras de perturbación antrópica.
4. Por el comportamiento del patrón hidrológico superficial en la conformación de cuencas, subcuencas y microcuencas.

IV.1.2 Subsistema de la Geósfera

Desde un enfoque geomorfológico, el espacio geográfico se concibe como una porción determinada de la superficie terrestre, en cuyo interior se cumplen ciertos requisitos de semejanza u homogeneidad. Derivado de este planteamiento, el subsistema de la Geósfera puede entenderse como un geosistema, en donde se persigue la identificación y caracterización de unidades espaciales con la mayor uniformidad posible. La caracterización mencionada se debe basar en referencias claras del marco espacial, con el fin de describir la homogeneidad del geosistema.

En este contexto teórico, los criterios utilizados para la delimitación del subsistema de la Geósfera del proyecto toman en cuenta su naturaleza y dimensión, las formas del terreno, los usos del suelo y la vegetación; su ubicación entre los desarrollos urbanos, así como la magnitud de los impactos que puedan derivarse por la ejecución del proyecto.

Derivado de lo anterior, el subsistema de la Geósfera corresponde al área empleada para describir los elementos ambientales terrestres (físicos, bióticos y socioeconómicos) que influyen en los procesos naturales de la zona en la que se inscribe el proyecto en estudio. La integración de estos elementos conforma el marco ambiental en el que se desarrollará dicho cambio. Por tal motivo, el subsistema de la Geósfera deberá abarcar el área en el que se espera se presenten las afectaciones más relevantes que se deriven de la ejecución del proyecto en las etapas de construcción y mantenimiento, y a la cual denominamos AI, e incluirá la zona donde se ejecutarán las obras y actividades, a la que llamamos área del proyecto (AP).

En este proceso de delimitación, es de gran importancia tomar en cuenta que el espacio geográfico en donde se ubica el proyecto actualmente se encuentra incluido dentro de los límites establecidos por un instrumento normativo. En éste se han sumado esfuerzos para consolidar la conservación de los recursos y planear de manera coordinada el desarrollo de la región. Dicho instrumento, tal como se mencionó en el Capítulo III de la MIA-R, es el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México (POET-EM), el cual cuenta con los elementos necesarios que permiten su utilización en un terreno técnico-ambiental. En el POET-EM, a través de un proceso de análisis de sus diferentes componentes realizado por instituciones de investigación, gubernamentales y sociedad, se consideró la similitud u homogeneidad ambiental que en su espacio se encuentra, a través de su regionalización jerárquica. Esta regionalización está plasmada en Unidades de Gestión Ambiental (UGA) con integridad estructural y funcional.

A través de dicha delimitación, el instrumento antes mencionado estableció un modelo de referencia espacial para la organización de la información y una herramienta metodológica para la planeación ambiental, ya que permite el

conocimiento de la diversidad (social, ambiental y económica) que presenta la región a una escala de estudio determinada.

Considerando los criterios que establece el POET-EM para la delimitación de las UGA's (topografía, aptitudes del suelo, límites urbanos, polígonos de los planes de desarrollo urbano, localidades, áreas prioritarias, áreas naturales protegidas, entre otros), se realizó la inserción del proyecto en el plano de la UGA presentado por este instrumento. De este trabajo resultó que el predio del proyecto se encuentra dentro los límites de la UGA 200 (Figura IV-1).

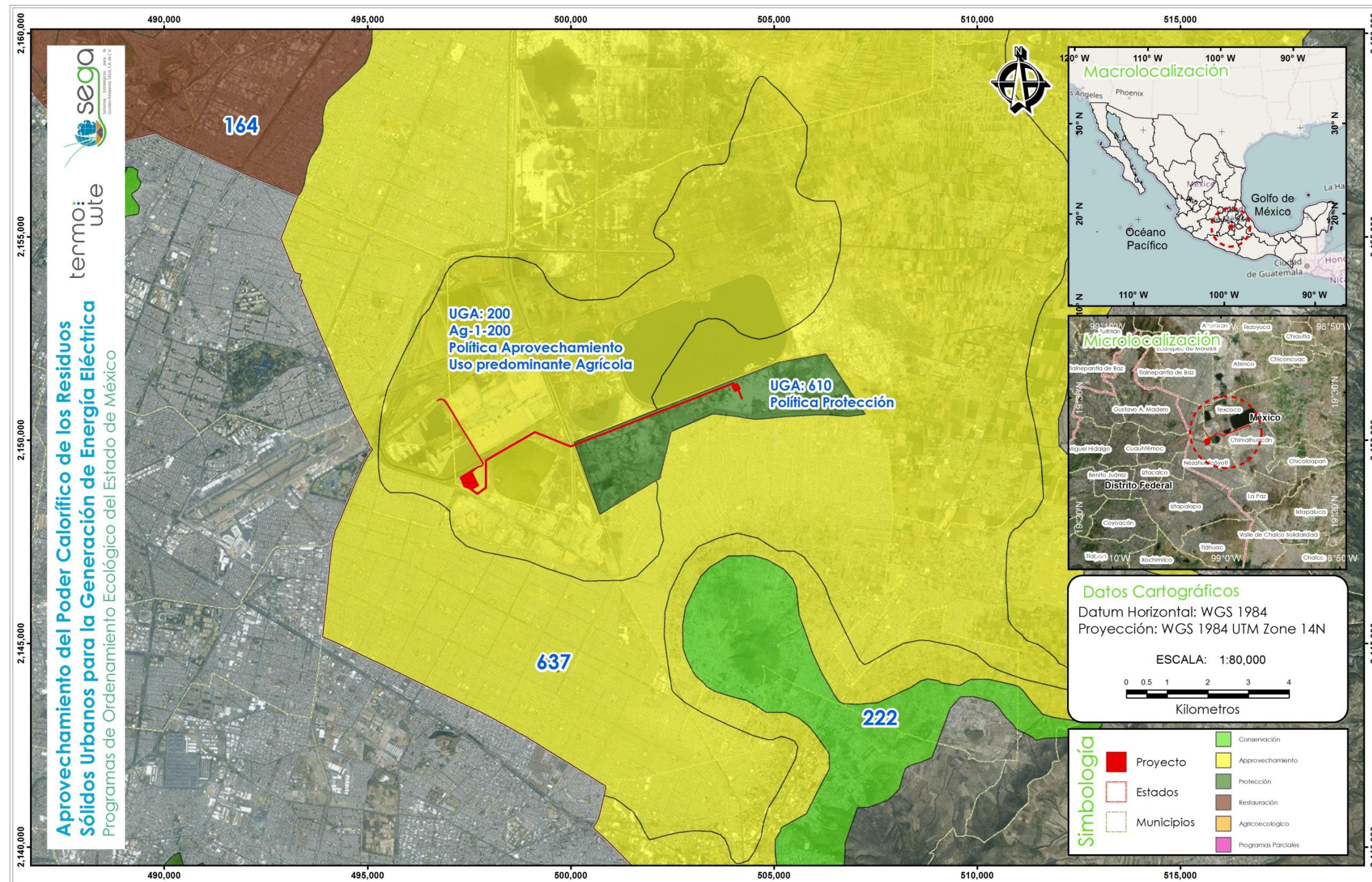


Figura IV—1. Ubicación del predio del proyecto con respecto a la delimitación del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México.

Tomando en cuenta que el predio del proyecto se encuentra rodeado por zonas agrícolas, de pastizal halófilo, cuerpos de agua artificiales, zonas inundables, infraestructura y zonas urbanas, y que los procesos naturales y la función ecológica del predio se ven influenciados necesariamente por la dinámica existente en estas áreas aledañas; para la delimitación del subsistema de la Geósfera del proyecto fueron considerados todos estos elementos. Como primera instancia fue valorada la UGA 200 como posible subsistema; sin embargo, sus límites dejan fuera elementos que tienen continuidad ambiental con los que se encuentran en el predio del proyecto, tal es el caso de las zonas agrícolas, pastizales y cuerpos de agua. Por tal motivo también fueron considerados los elementos que se encuentran en las UGA's 628 y 178. Para la delimitación, también fue considerado uno de los atributos o criterios establecido por POET-EM para la regionalización de las UGA, el cual se refiere a los límites urbanos existentes (avenidas), los cuales forman una barrera física entre los procesos que se están presentando al interior y exterior del Subsistema que se persigue delimitar.

Del análisis de los criterios antes mencionados, así como de las obras y actividades que se derivan del presente proyecto y que fueron descritas en el Capítulo II de esta MIA-R, en donde resalta que las obras y actividades a ejecutar durante la etapa de construcción y mantenimiento del proyecto se enmarcan en una superficie puntual y local, y que el tipo de actividades que se pretenden desarrollar se limitan a dicha superficie, se desprende que los componentes ambientales con los que interactúa el proyecto se circunscriben al predio del proyecto y a las áreas agrícolas, pastizales, urbanas, infraestructura y cuerpos de agua adyacentes. Por tal motivo, la delimitación del subsistema de la Geósfera se definió a través de los límites de dichas áreas y que rodean la UGA 200.

Para lo anterior, al norte y sur de la UGA 200 fueron considerados los límites que proveen la UGA 628 y parte de la 178, ya que estos límites integran las zonas agrícolas, de pastizal, cuerpos de agua, áreas inundables, de infraestructura y urbanas

aledañas al predio del proyecto. Al oeste de la UGA 200 fueron considerados los límites de las zonas urbanas y de infraestructura, delineados por las barreras físicas que imponen las avenidas circundantes más conspicuas. Esta zona se decidió integrarla como parte del subsistema de la Geósfera debido al intercambio que puede existir entre ambos subsistemas por el cambio de gases y partículas producto de las emisiones a la atmósfera y que dada la cercanía con la planta podrían verse afectados. No obstante, hay que tener presente que el tipo de tecnología utilizada asegura que dichas emisiones cumplan con las normas internacionales y nacionales en materia de contaminación atmosférica; por lo que no se esperan afectaciones significativas adicionales a las que actualmente ya se presentan por la propia dinámica de la Ciudad. Finalmente, hacia el este de la UGA 200, el límite está dado por la frontera existente entre la zona agrícola y la urbana.

La delimitación del subsistema de la Geósfera buscó integrar el subsistema físico con el subsistema biótico y socioeconómico, dando por resultado un sistema ambiental a partir del cual se pueda ofrecer un análisis integral del área en la que se pretende llevar a cabo el proyecto en su entorno natural y social. De esta manera, el subsistema de la Geósfera delimitado para el proyecto está determinado por una superficie de 41,816.12 ha. En la Tabla IV–1 se incluyen las coordenadas UTM del Subsistema de la Geósfera delimitado para el proyecto en cuestión y, la Figura IV–2 muestra la ubicación del predio con respecto al subsistema conformado por las coordenadas UTM de la Tabla IV–1.

Tabla IV-1. Coordenadas UTM del subsistema de la Geósfera delimitado para el desarrollo del proyecto.

Vértice	X	Y
1	510,752.84	2,145,815.87
2	510,767.62	2,145,585.41
3	510,831.12	2,145,477.46
4	510,945.42	2,145,337.76
5	511,053.37	2,145,255.21
6	511,110.52	2,145,210.76
7	511,142.27	2,145,153.61
8	511,224.82	2,145,071.06
9	511,358.17	2,145,020.26
10	511,497.87	2,144,975.81
11	511,599.47	2,144,905.96
12	511,770.92	2,144,778.96
13	511,936.02	2,144,632.91
14	512,005.87	2,144,512.26
15	512,126.52	2,144,461.46
16	512,329.72	2,144,347.16
17	512,463.07	2,144,270.96
18	512,596.42	2,144,105.86
19	512,647.22	2,143,985.20
20	512,628.17	2,143,801.05
21	512,459.13	2,143,831.42
22	512,164.78	2,143,877.72
23	511,678.61	2,143,993.47
24	511,169.29	2,144,112.54
25	510,888.17	2,144,208.45
26	510,570.67	2,144,324.20
27	510,309.39	2,144,446.57
28	510,193.63	2,144,545.79
29	509,988.58	2,144,731.00
30	509,518.94	2,144,932.75
31	509,131.99	2,145,002.20
32	508,807.88	2,145,071.65
33	508,602.82	2,145,081.57
34	508,186.10	2,145,002.20

Vértice	X	Y
35	507,855.37	2,144,823.61
36	507,329.51	2,144,519.33
37	507,233.60	2,144,482.95
38	507,137.69	2,144,552.41
39	507,071.54	2,144,641.70
40	506,400.16	2,146,007.62
41	506,264.56	2,146,391.26
42	506,069.43	2,146,702.15
43	505,841.23	2,146,989.89
44	505,742.01	2,147,132.10
45	505,500.58	2,147,267.70
46	505,097.09	2,147,280.93
47	505,011.10	2,147,333.84
48	504,600.99	2,147,591.81
49	504,098.28	2,147,710.88
50	503,840.31	2,147,651.35
51	503,595.57	2,147,578.58
52	503,145.78	2,147,386.76
53	502,788.59	2,146,983.27
54	502,447.94	2,146,298.66
55	502,318.96	2,145,772.80
56	502,299.11	2,145,184.10
57	502,391.72	2,144,473.03
58	502,490.94	2,143,864.49
59	502,543.85	2,143,785.11
60	502,808.44	2,143,550.30
61	503,235.08	2,143,292.33
62	503,906.46	2,142,981.44
63	504,495.16	2,142,730.09
64	504,865.58	2,142,634.17
65	504,964.80	2,142,634.17
66	505,067.32	2,142,677.17
67	505,199.61	2,142,710.24
68	505,341.83	2,142,670.55

Vértice	X	Y
69	505,503.88	2,142,597.79
70	505,586.57	2,142,458.89
71	505,536.96	2,142,174.46
72	505,404.67	2,141,916.49
73	505,361.13	2,141,834.96
74	505,333.21	2,141,782.69
75	505,067.32	2,141,284.80
76	504,194.00	2,140,874.11
77	502,732.72	2,140,613.39
78	502,276.32	2,140,534.01
79	501,178.29	2,140,633.23
80	500,536.68	2,140,692.76
81	500,176.18	2,140,742.37
82	499,956.01	2,140,748.77
83	499,649.11	2,140,982.29
84	497,368.40	2,142,765.58
85	491,903.61	2,146,062.62
86	489,522.91	2,147,536.28
87	487,890.69	2,148,375.67
88	487,985.94	2,149,296.42
89	488,443.48	2,150,655.71
90	488,532.38	2,150,780.59
91	488,650.91	2,151,087.51
92	489,313.43	2,152,797.78
93	489,808.73	2,154,038.15
94	490,392.93	2,155,492.30
95	491,005.46	2,156,997.00
96	491,826.19	2,156,619.68
97	493,045.12	2,158,381.56
98	497,255.18	2,164,668.07
99	497,407.58	2,164,947.47
100	497,509.18	2,164,972.87
101	497,693.33	2,164,928.42
102	498,156.88	2,165,150.67
103	498,633.13	2,165,372.92
104	498,956.98	2,165,563.42

Vértice	X	Y
105	499,357.03	2,165,709.47
106	499,852.33	2,165,760.27
107	500,290.45	2,165,716.26
108	501,254.59	2,165,527.82
109	501,776.97	2,166,988.72
110	502,167.46	2,168,096.17
111	502,885.80	2,168,155.70
112	504,421.71	2,168,278.74
113	505,391.42	2,168,355.99
114	506,279.09	2,168,330.33
115	506,934.93	2,168,350.69
116	507,555.93	2,168,552.41
117	508,186.50	2,169,085.75
118	508,414.16	2,169,598.41
119	508,849.18	2,170,103.80
120	509,441.20	2,170,681.42
121	509,779.33	2,170,640.76
122	510,125.66	2,170,574.22
123	510,365.26	2,170,029.47
124	510,441.60	2,169,609.55
125	510,309.11	2,169,324.25
126	509,851.49	2,169,276.56
127	509,589.27	2,169,434.22
128	509,365.72	2,169,868.74
129	508,903.64	2,168,206.81
130	508,438.03	2,167,284.47
131	508,304.18	2,166,382.92
132	509,188.99	2,165,892.74
133	509,628.39	2,164,785.81
134	509,907.63	2,164,093.83
135	509,360.14	2,163,550.01
136	509,207.02	2,163,292.41
137	509,236.39	2,162,831.37
138	509,209.28	2,162,387.56
139	509,107.59	2,161,803.51
140	509,034.93	2,161,449.99

Vértice	X	Y
141	509,152.68	2,161,181.13
142	509,855.72	2,160,363.19
143	510,128.93	2,160,033.80
144	510,803.18	2,159,124.43
145	510,422.90	2,158,801.82
146	510,391.51	2,158,622.94
147	510,537.50	2,158,146.60
148	510,668.89	2,157,747.10
149	510,920.12	2,157,234.83
150	511,145.67	2,156,873.52
151	511,671.54	2,156,444.27
152	511,458.02	2,156,066.90
153	511,196.85	2,155,176.15
154	510,679.74	2,154,652.26
155	510,172.70	2,154,364.70
156	510,339.28	2,153,638.30
157	510,506.70	2,153,507.47
158	510,715.26	2,153,465.61
159	510,907.30	2,153,374.52
160	511,078.56	2,153,212.76
161	511,170.48	2,153,008.69
162	511,196.73	2,152,537.55
163	511,226.19	2,152,045.78
164	511,002.96	2,151,669.50
165	510,778.24	2,151,512.58
166	510,400.57	2,151,381.54
167	510,207.65	2,151,287.48
168	510,061.73	2,150,996.21
169	509,814.82	2,150,732.84
170	509,579.86	2,150,415.79
171	509,431.55	2,149,966.79
172	509,507.42	2,149,555.13
173	509,598.38	2,149,012.03
174	509,686.01	2,148,720.08
175	509,797.79	2,148,477.62
176	509,812.49	2,148,247.10

Vértice	X	Y
177	509,770.62	2,148,110.66
178	509,668.68	2,147,880.08
179	509,566.74	2,147,664.87
180	509,483.44	2,147,503.84
181	509,336.77	2,147,413.60
182	509,201.01	2,147,037.00
183	509,173.48	2,146,834.78
184	509,245.26	2,146,743.57
185	509,191.36	2,146,645.11
186	509,205.99	2,146,552.91
187	509,280.89	2,146,399.52
188	509,099.59	2,146,225.98
189	509,069.97	2,146,141.27
190	509,042.70	2,145,943.36
191	509,311.06	2,145,572.18
192	509,921.03	2,145,538.98
193	510,752.84	2,145,815.87

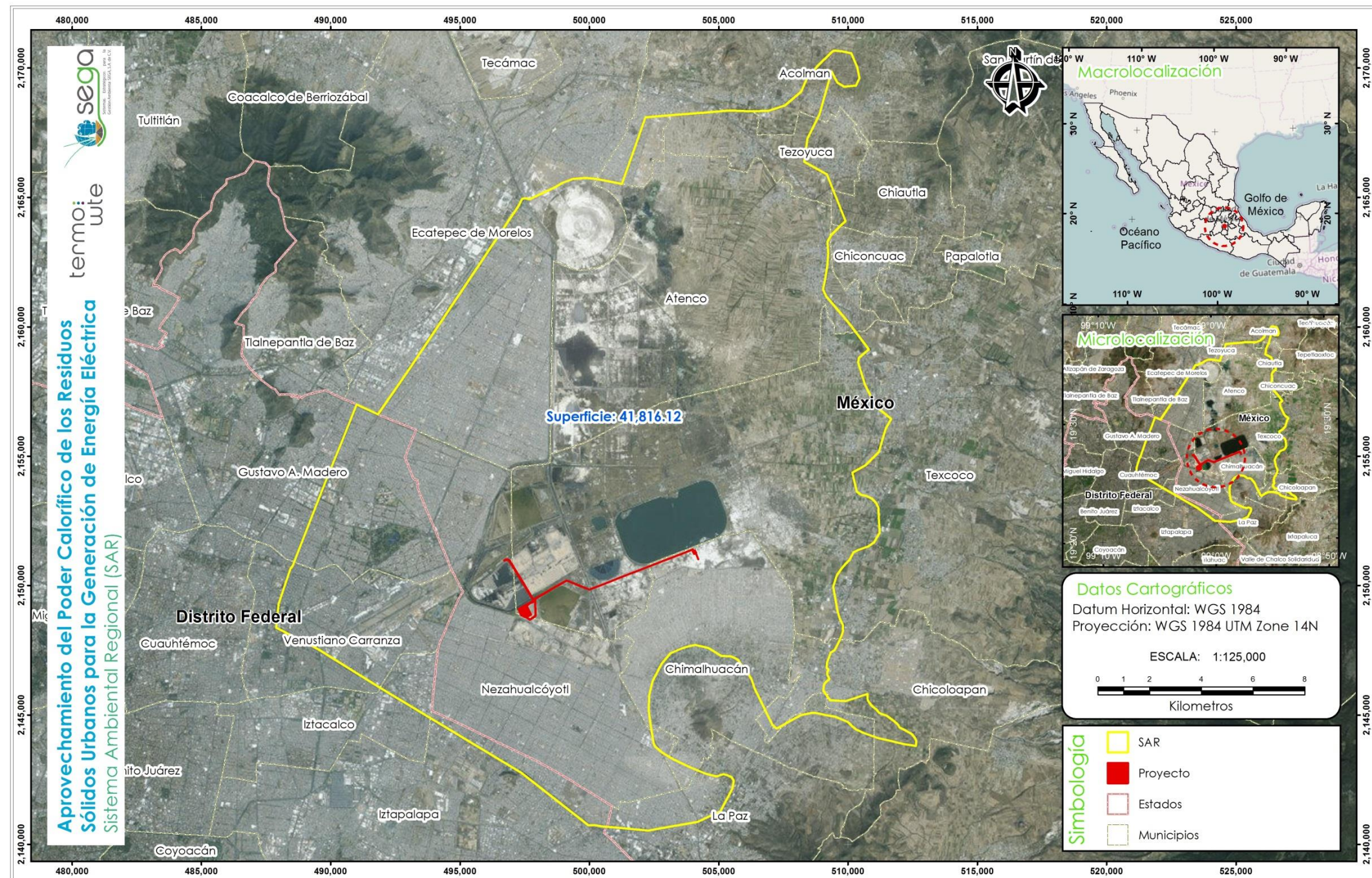


Figura IV—2. Ubicación del predio del proyecto con respecto al subsistema de la Geósfera delimitado para su desarrollo.

IV.1.3 Subsistema de la atmósfera

Como ya fue mencionado, durante la operación del proyecto uno de los posibles impactos ambientales aditivos a generarse por el desarrollo del proyecto es la afectación a la calidad del aire debido a las emisiones a la atmósfera. Estas emisiones son el resultado de la combustión de los residuos sólidos urbanos que se llevarían a cabo como parte de su principal objetivo de construcción y operación de la planta.

Es importante mencionar que el proceso será totalmente controlado y permitirá reducir las emisiones de contaminantes que actualmente se generan por el tradicional manejo de los residuos sólidos urbanos. Cada tonelada de residuos sólidos urbanos que será procesada por el proyecto evitará una tonelada de CO₂ equivalente. Se destaca que, para procesar mediante fotosíntesis 1 t de CO₂ equivalente se requieren 5 árboles durante 30 años. Por lo que el impacto de la planta equivale a la plantación de aproximadamente 28'800,000 árboles, lo que equivaldría a tener un bosque de coníferas en el 60% de la superficie de la Ciudad de México. También se debe tener en cuenta que las emisiones se encontrarán dentro de los valores establecidos por la normatividad europea Euro6 (también normalizado a la NOM-098-SEMARNAT-2002), tal cual fue vinculado en el capítulo III de la presente manifestación de impacto ambiental.

No obstante lo anterior, es de gran importancia para la identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales, conocer la dinámica atmosférica involucrada en el transporte de partículas y gases, derivados de las emisiones a la atmósfera producto de la combustión de los residuos sólidos urbanos, y que dicho conocimiento permita establecer los límites regionales del subsistema de la Atmósfera.

Magaña y Caetano (2007) mencionan que las emisiones de contaminantes a la atmósfera pueden ser predichos usando modelos de dispersión apropiados, asimismo,

indican que no existe una metodología universal y que estos pueden variar dependiendo de la región de que se trate.

A través de las consideraciones anteriores, la delimitación del Sistema Ambiental Regional Atmosférico (SARA) se realizó a través de un proceso de modelación considerando las emisiones de las cuatro chimeneas que constituyen la planta de incineración. Para ello, se utilizó el modelo de dispersión de aire multicapa no estacionario CALPUFF versión 5.8.5, que junto con los programas CALMET (modelo meteorológico de diagnóstico) y CALPOST (modelo post-procesador), modela la distribución espacial de los contaminantes hora a hora por un periodo de hasta 5 años continuos. Este modelo presenta resultados de alta confiabilidad de dispersión de contaminantes en un rango que puede ir hasta los 200 km, llegando a tener buenos resultados hasta los 300 km del foco de emisión.

De manera general, el diseño del modelo contempla durante las corridas:

- Modelación de la pluma de emisión como PUFF (bocanadas o soplos de contaminante).
- La capacidad de modificar emisiones puntuales y de área durante el tiempo.
- Conveniencia para modelar desde metros hasta cientos de kilómetros a partir de la fuente emisora.
- Estimaciones de concertación en periodos de tiempo que pueden ir desde una hora hasta cinco años.
- Capacidad para considerar la rugosidad o condiciones del terreno.
- Capacidad para trabajar con información meteorológica tridimensional.

Una ventaja de este modelo con respecto a otros es que puede modelar la dispersión de los contaminantes sobre áreas terrestres y cuerpos de agua de manera integral y uniforme.

Para la delimitación del SARA, el modelo se alimentó considerando información meteorológica y las condiciones topográficas y de uso de suelo de la región aledaña al predio del proyecto. Se consideró la información meteorológica histórica de los últimos 5 años obtenida a partir del modelo WRF (Weather Research & Forecasting) con una resolución de 1 km en un área de 50 km², tomando como centro el sitio del predio del proyecto. Los factores del clima considerados fueron: temperatura de bulbo seco, dirección y velocidad del viento, altura de mezclado, presión barométrica, precipitación, radiación solar horizontal, cubierta opaca de nubes, altura del techo de nubes y humedad relativa. Y, la información topográfica y de uso de suelo usada fue la disponible en el sitio Geographic Information Systems Resource (sitio web GIS, www.webgis.com), subapartado SRTM1 (Shuttle Radar Topography Mission).

Durante el proceso de modelación se consideró que las cuatro chimeneas de la planta se encontraban en operación simultánea y bajo las mismas condiciones de emisión. Para ello, se usaron los valores promedio de salida por chimenea obtenido de plantas de termovalorización. Estos valores se apegan a las especificaciones de la DIRECTIVA 2010/75/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Éste, en su ANEXO VI, PARTE 3, indica todos los valores límite de emisión se calcularán a una temperatura de 273,15 °K (0 °C), una presión de 101,3 kPa (1 atm), y previa corrección del contenido en vapor de agua de los gases residuales. Además, se consideró un flujo volumétrico de 240,440 Nm³ h⁻¹, equivalente a 66.789 m³ s⁻¹, 11% de O₂, base seca, y 1 atm y °0 C. Los contaminantes base considerados y las concentraciones de emisión asumidas por la operación de la planta y en la modelación se presentan en la Tabla IV–2. Las concentraciones en chimenea consideradas hacen referencia a las máximas esperadas por la operación de la planta y, para el caso de los NO_x, se estimó que el 90% son NO₂ y el resto NO.

Tabla IV-2. Contaminantes y concentraciones consideradas que serán emitidas durante la operación de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

Contaminante*	Concentración en chimenea (mg Nm ³⁻¹)	Flujo (m ³ s ⁻¹)	Emisión (g s ⁻¹)
Partículas totales	<2	66.789	0.134
CO	10	66.789	0.668
TOC	2	66.789	0.134
NO ₂	135	66.789	10.018
HCl	9	66.789	0.601
SO ₂	26	66.789	1.737
HF	0.1	66.789	0.007
NH ₃	2	66.789	0.134
Hg	0.01	66.789	0.001
Cd + Ti	0.02	66.789	0.001
Metales	0.2	66.789	0.013
D y F**	0.05	66.789	0.003

* CO = Monóxido de carbono; TOC = Carbono orgánico total; NO₂ = Dióxido de nitrógeno; HCl = Ácido clorhídrico; SO₂ = Dióxido de azufre; HF = Ácido Fluorhídrico; NH₃ = Amoniac; Hg = Mercurio; Cd + Ti = Cadmino + Titanio y, D y F = Dioxinas y furanos.

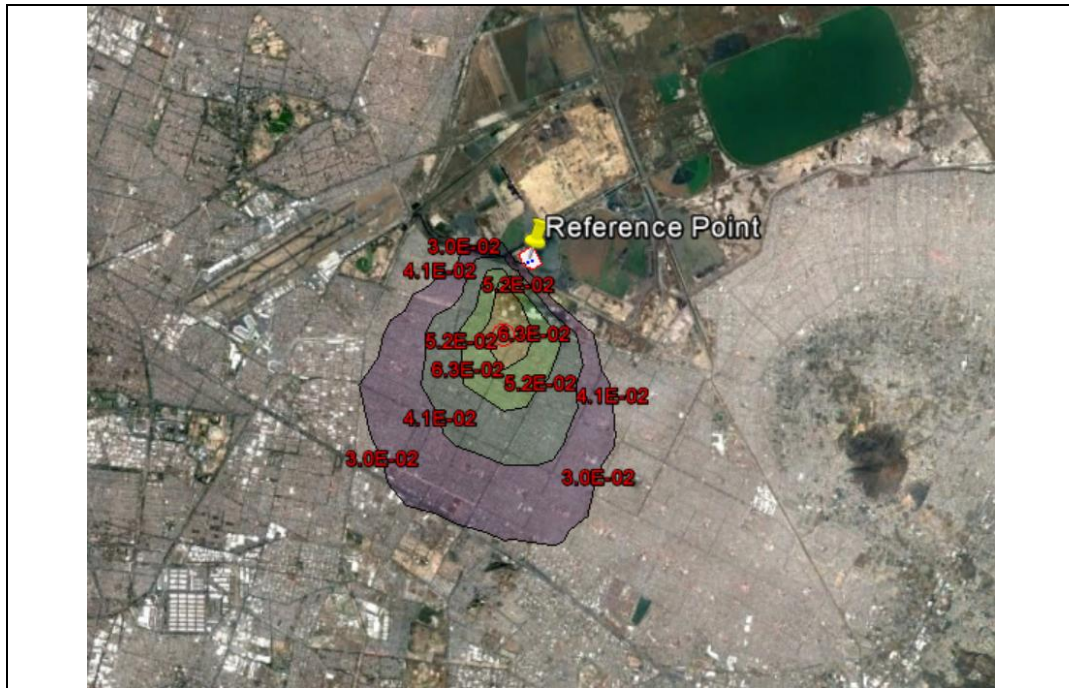
** Dioxinas y furanos, unidades en ng Nm³⁻¹

Una vez que el modelo fue alimentado con la información antes descrita, se corrió para estimar las áreas de dispersión de las emisiones de contaminantes de la planta. Durante las corridas se definieron los valores de los límites máximos y mínimos para obtener la imagen de dispersión calculada por el modelo; en este caso, el valor máximo esperado es dado por el modelo y el mínimo se estimó considerando que representara el 50% del valor máximo del modelo. En este último caso, cuando el valor mínimo seleccionado en la modelación no permitía tener una clara imagen de la dispersión de los contaminantes se reducía hasta obtener una imagen clara de la dispersión. En la Tabla IV-3 se incluyen los valores máximos y mínimos de los contaminantes en la modelación.

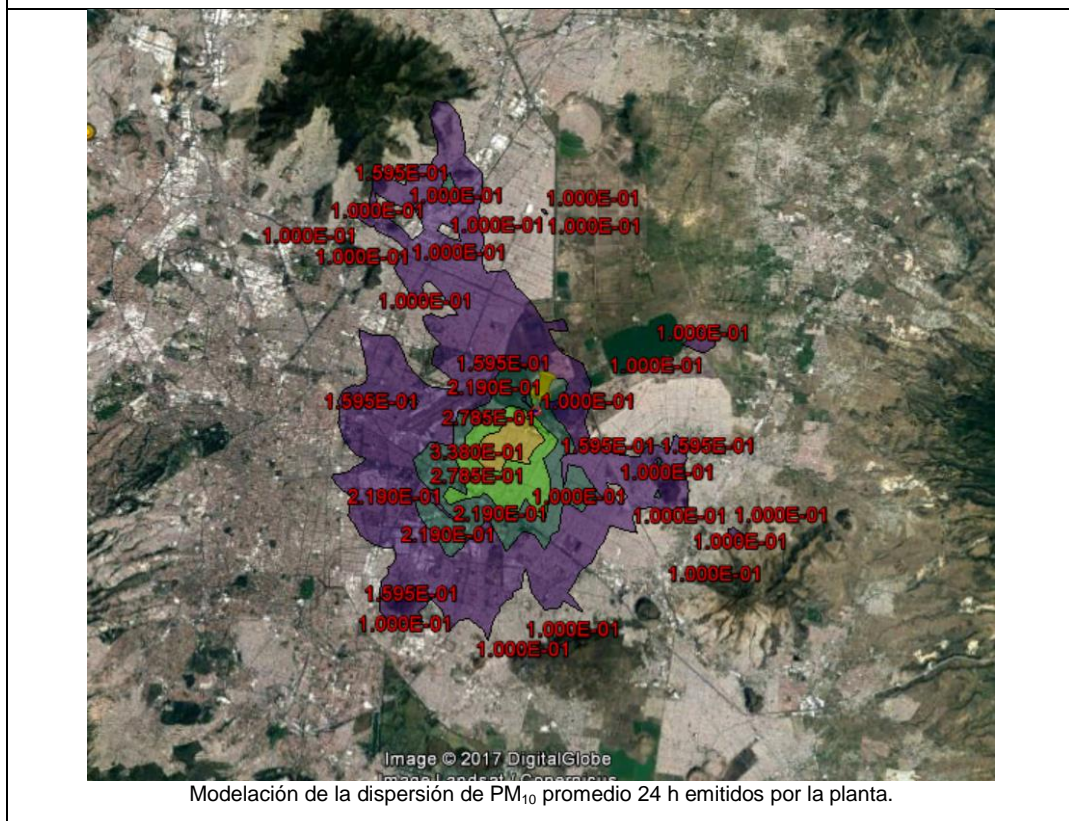
Tabla IV-3. Criterios y restricciones definidas en el modelo CALPUFF para la definición de emisiones y dispersión de contaminantes por la operación de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

Contaminante	Unidad	Máximo	Mínimo	Valor de norma
PM ₁₀	µg m ³⁻¹	0.074	0.03	75 µg m ³⁻¹ , promedio 24 horas.
				40 µg m ³⁻¹ , promedio anual.
SO ₂	µg m ³⁻¹	66	25	524 µg m ³⁻¹ , máximo promedio de 24 horas.
		4.37	1.00	288 µg m ³⁻¹ , segundo máximo anual como promedio móvil de 8 horas.
		0.95	0.20	66 µg m ³⁻¹ , promedio anual.
CO	µg m ³⁻¹	13.0	3.3	12,595 µg m ³⁻¹ , promedio móvil de 8 horas una vez al año.
NO ₂	µg m ³⁻¹	342	50	395 µg m ³⁻¹ , en una hora una vez al año.

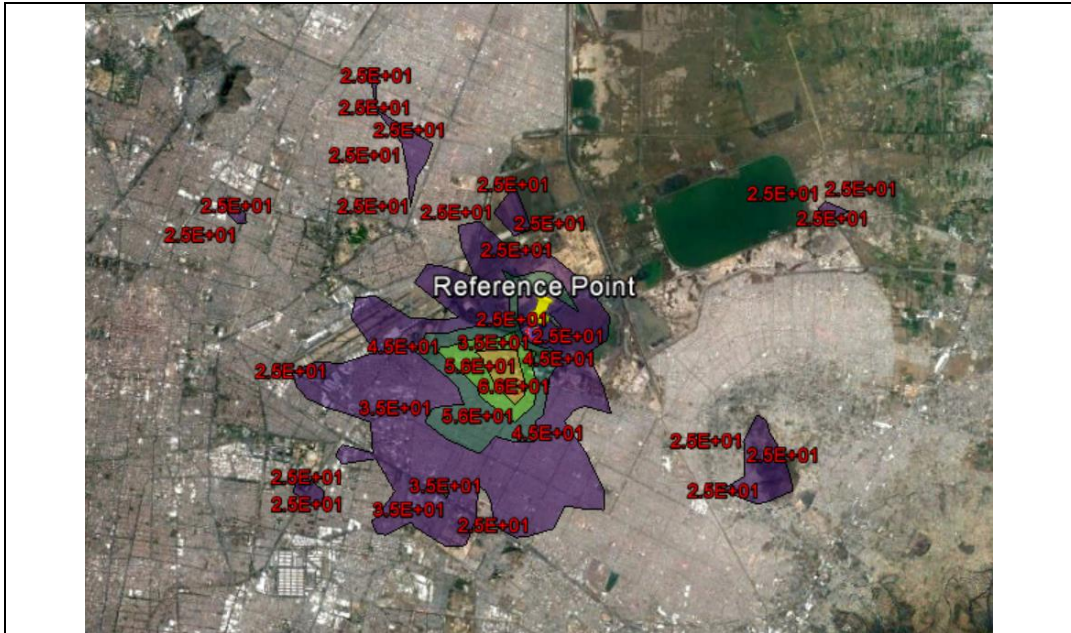
Una vez obtenidas las imágenes de dispersión de contaminantes modeladas, se seleccionó la de dispersión de contaminantes de NO₂ a un nivel de concentración mayor de 50 µg m³⁻¹ alrededor de la planta, 14.6% del valor máximo esperado. Para ello se consideró que, de acuerdo con la modelación, fue el contaminante que se acercó más al valor límite de norma y, además, el área que cubría este contaminante a esa concentración comprendía las áreas de dispersión seleccionadas de los otros contaminantes analizados (Figura IV-3; Anexo II).



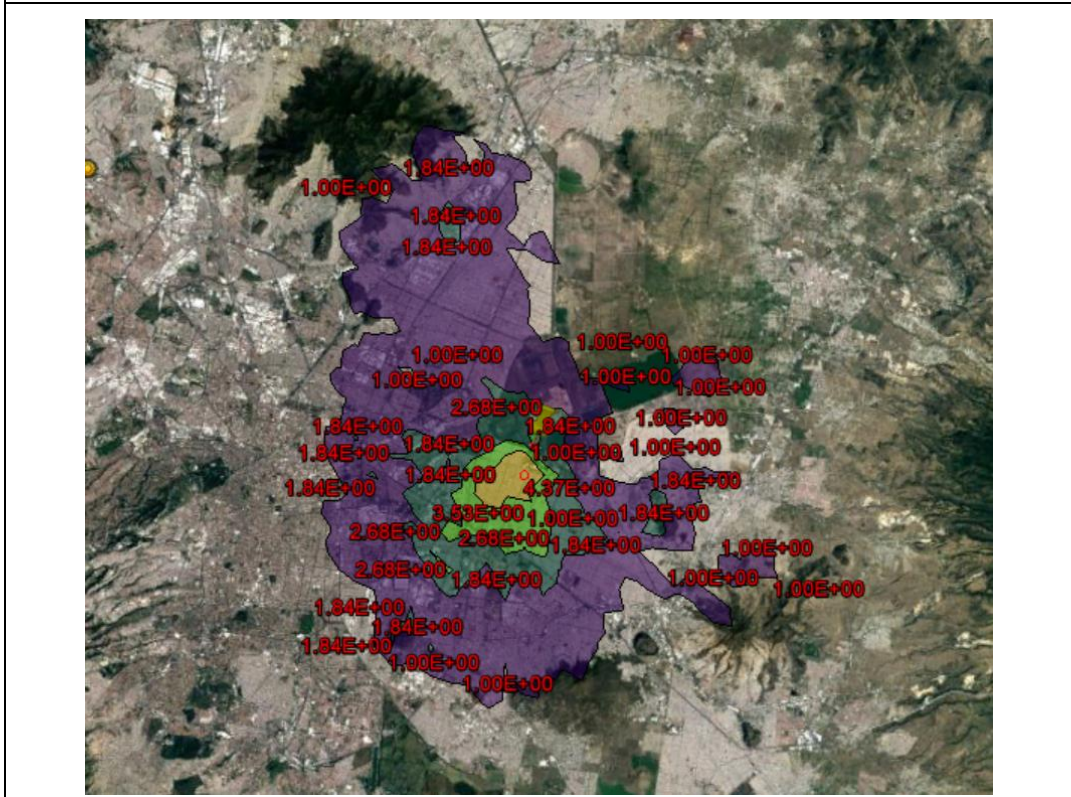
Modelación de la dispersión de PM₁₀ promedio anual emitidos por la planta.



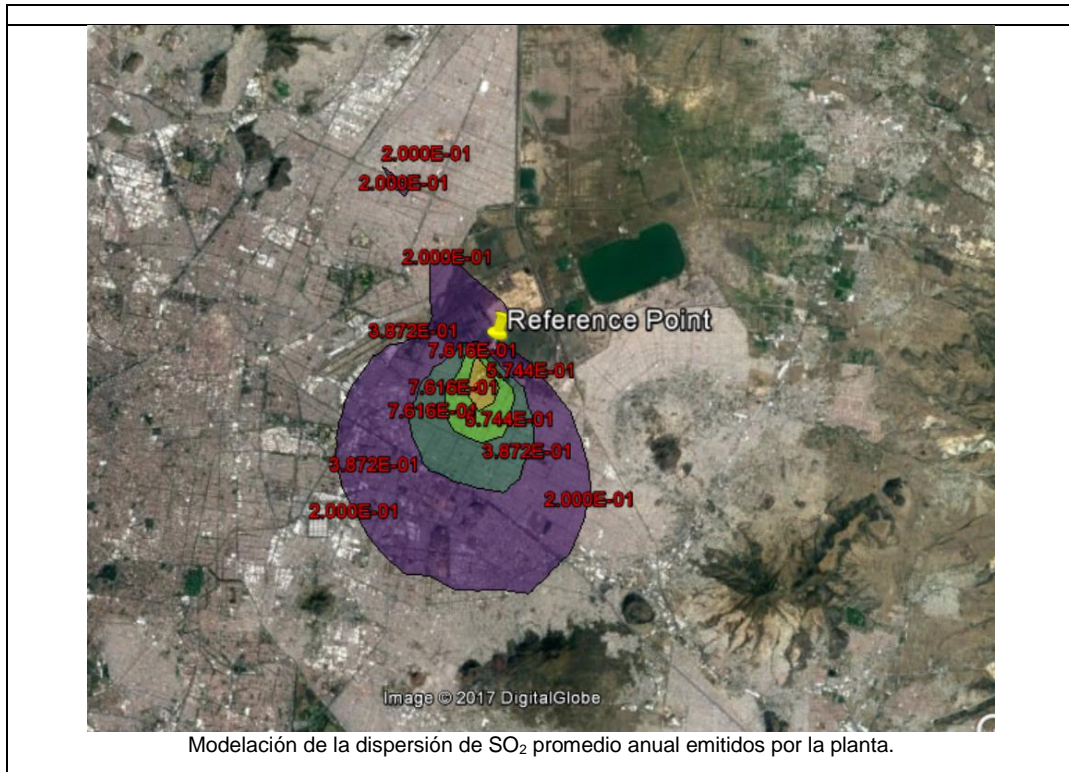
Modelación de la dispersión de PM₁₀ promedio 24 h emitidos por la planta.



Modelación de la dispersión de SO₂ máximo promedio 24 h emitidos por la planta.



Modelación de la dispersión de SO₂ segundo máximo anual como promedio móvil de 8 horas emitidos por la planta.



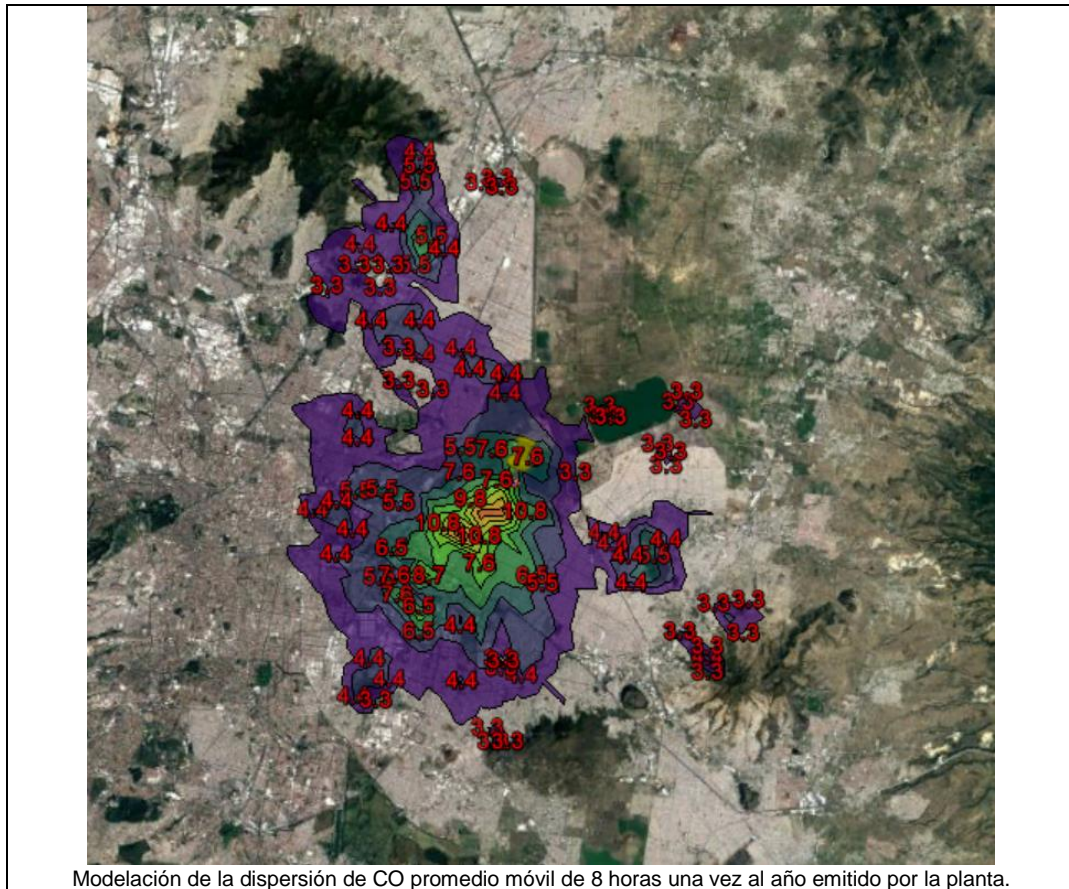


Figura IV—3. Resultados obtenidos de la modelación de la dispersión de contaminantes emitidos por la operación de la planta considerando las máximas emisiones.

La dispersión de las emisiones de NO₂ obtenidas por el modelo, como parte de la operación del proyecto, y, la que a su vez se seleccionó como el SARA, se presenta en la Figura IV—4. El área total resultante del sistema es de 63,663.75 ha, comprendiendo pequeñas áreas aisladas que quedaban en su alrededor para hacerlo un sistema continuo y cerrado.

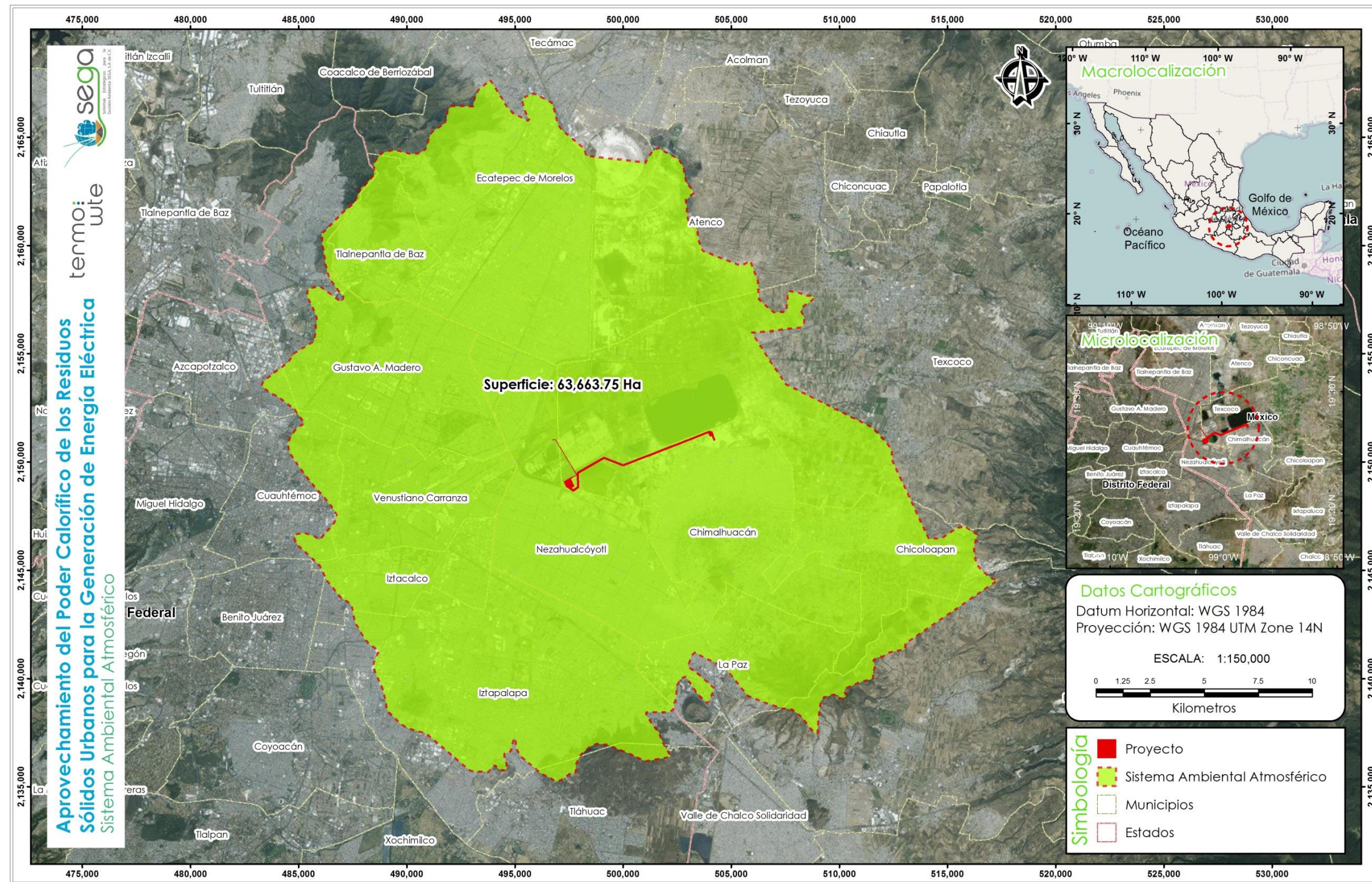


Figura IV—4. Polígono del SARA definido para el proyecto de la planta termovalorizadora, delimitada por la dispersión de NOx en concentraciones mayores a 0.027 ppm ($50.76 \mu\text{g m}^{-3}$).

De la delimitación de los sistemas ambientales, regional y atmosférico, en el presenta capítulo se hace una caracterización ambiental del medio abiótico y biótico considerando ambos sistemas, según el nivel de impacto del proyecto. Específicamente, el SARA se utiliza para caracterizar la calidad del aire y el impacto en la salud de la población, y el SAR para el resto de los factores a analizar.

IV.1.4 Procesamiento de imágenes

A) Imagen satelital

Todo el trabajo realizado para la caracterización abiótica y biótica del SAR y del AI del proyecto, incluso desde la delimitación de estas áreas, se llevó a cabo con un trabajo cartográfico detallado. Para ello se utilizó una imagen Satélite WorldView 3 a una resolución de 50 centímetros por pixel, con 1 banda pancromática y 4 bandas multiespectrales de fecha 19 de marzo de 2017.

Las imágenes satelitales son un gran soporte para este tipo de trabajo ya que representa la distribución espacial de las propiedades biofísicas de la escena observada a cierta distancia por un sensor. Es una simplificación de la escena limitada por el comportamiento del sensor y de los fenómenos de interferencia que degradan la información que deseamos obtener. La presencia de estos mecanismos de degradación durante el proceso de captura de una imagen constituye un hecho inherente a la naturaleza experimental de la percepción remota.

Éstas se pueden entender como un arreglo matricial ordenado en filas y columnas donde cada celda o pixel contiene un valor numérico. Durante el tratamiento digital de la imagen se obtiene la información, sometiendo los datos a fórmulas matemáticas, índices espectrales o modelos. Su utilidad radica en la información importante que no es percibida por el ojo humano, ya que éste es capaz de ver únicamente la porción visible (0.4 a 0.7 μm), mientras que los sensores remotos, como los que se encuentran

montados en los satélites, pueden detectar el infrarrojo y otros rangos del espectro que aportan información valiosa del terreno.

B) Índice espectral

Los índices espectrales de las imágenes tienen la finalidad de resaltar algún tipo de cobertura diferenciándolos de las demás, asimismo, intentan aproximar el estado de conservación, abundancia, vigor, estrés, entre otros. Para el caso particular de este estudio, las variables a estudiar son los usos de suelo y tipos de vegetación. Por lo que, los índices de vegetación ayudarán a estimar la salud, abundancia y estrés hídrico de los diferentes tipos de flora presentes en la zona de interés.

C) Índice de vegetación

El índice de vegetación se define como un parámetro calculado a partir de los valores de reflectancia a diferentes longitudes de onda, las cuales son sensibles a un tipo de cobertura vegetal; esto aplicando un conjunto de operaciones algebraicas sobre los valores numéricos de cada pixel perteneciente a una escena.

Los índices de vegetación implican la aplicación de operaciones aritméticas píxel a píxel entre las bandas espectrales con el objetivo de discriminar el suelo de la vegetación reduciendo el efecto de la topografía del terreno (Figura IV-5). Se fundamentan en la diferencia de contraste en las diferentes regiones del espectro para las coberturas de suelo.

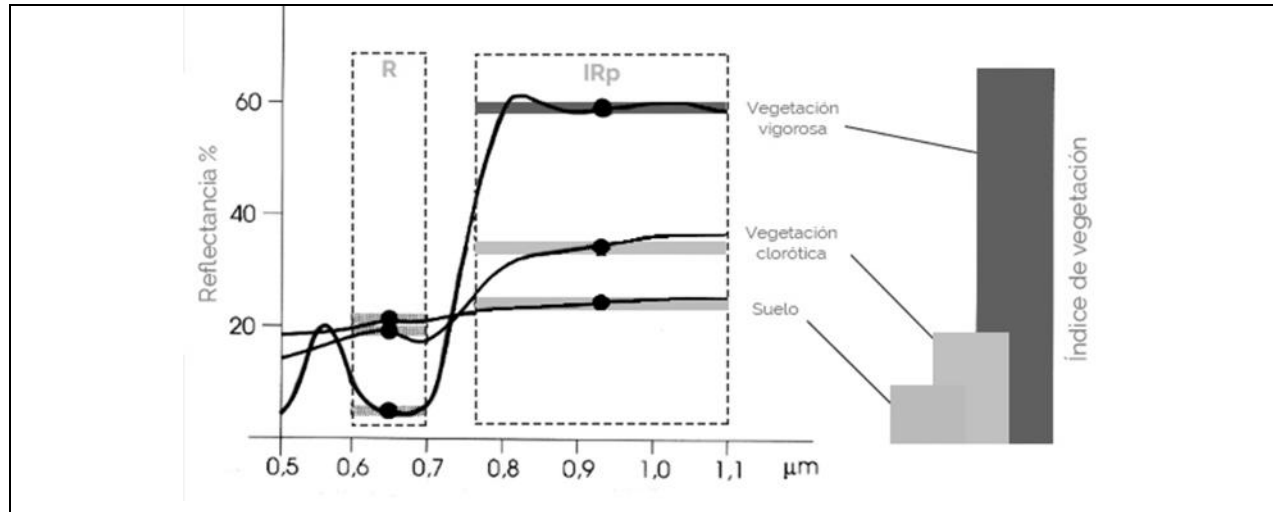


Figura IV—5. Índices de vegetación.

D) Índice Diferencial de Vegetación Normalizado

Este índice es el más conocido y empleado para todo tipo de aplicaciones, la razón es que su cálculo es sencillo y aporta información relevante y útil. Los valores del índice van de (-1 a 1).

La normalización reduce el efecto de la degradación de la calibración del sensor y de la influencia de los efectos atmosféricos. Fue creado por Rouse y colaboradores en 1974 y tiene por fórmula la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO}$$

Donde:

NDVI = Índice de Vegetación Diferencial Normalizado.

NIR = Banda Infrarrojo cercano.

ROJO = Banda roja.

Como ya se mencionó anteriormente, para este proyecto se utilizó una imagen Satélite WorldView 3 a una resolución de 50 centímetros por pixel (Figuras IV–6 y IV–7), con 1 banda pancromática a 50 cm de resolución (450-800 nm) y 4 bandas multiespectrales a 2 m de resolución con los siguientes valores espectrales:

- Azul: 450-510 nm
- Verde: 510-580 nm
- Rojo: 630-690 nm
- Infrarrojo cercano: 770-895 nm

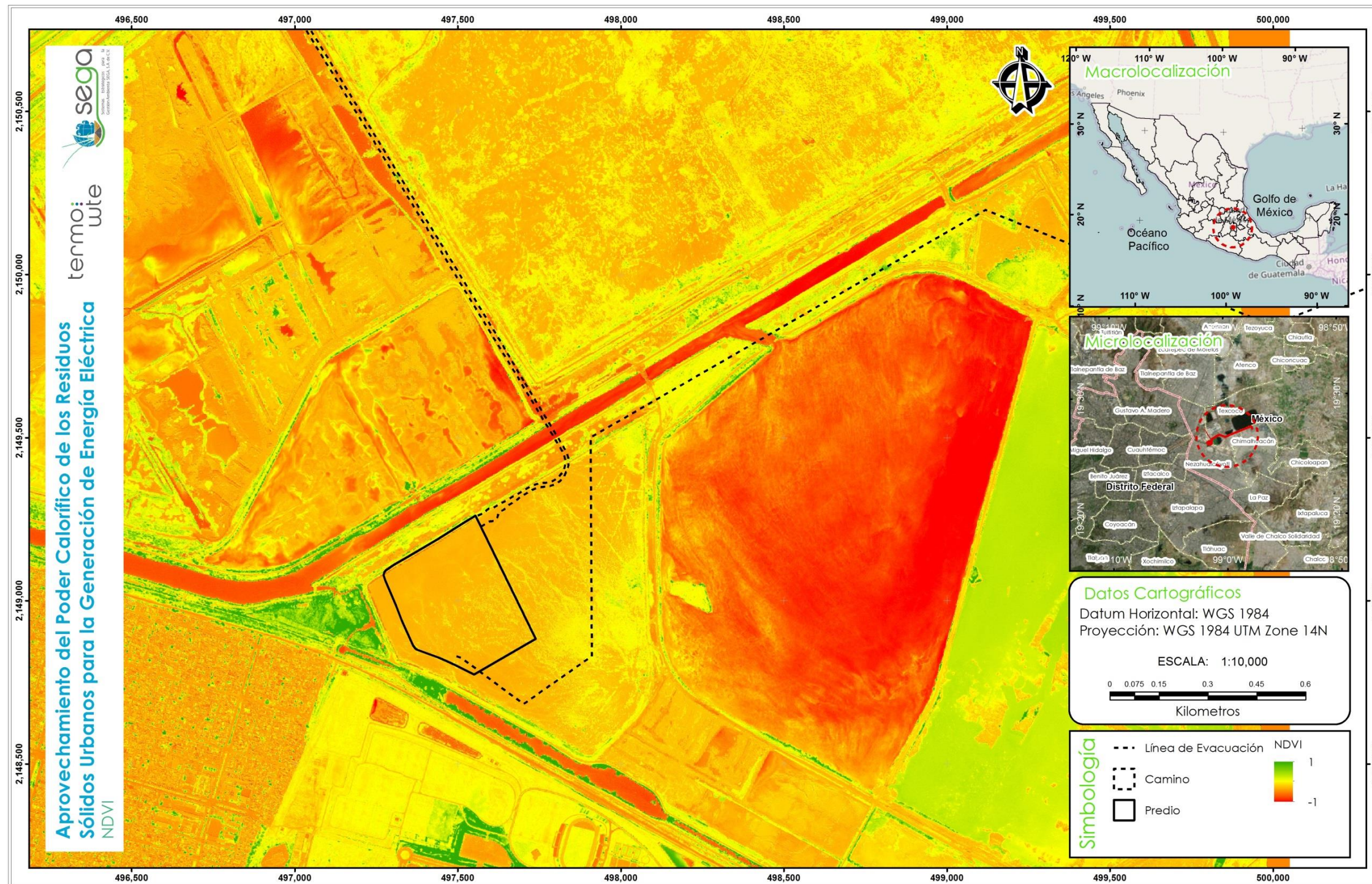


Figura IV—6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

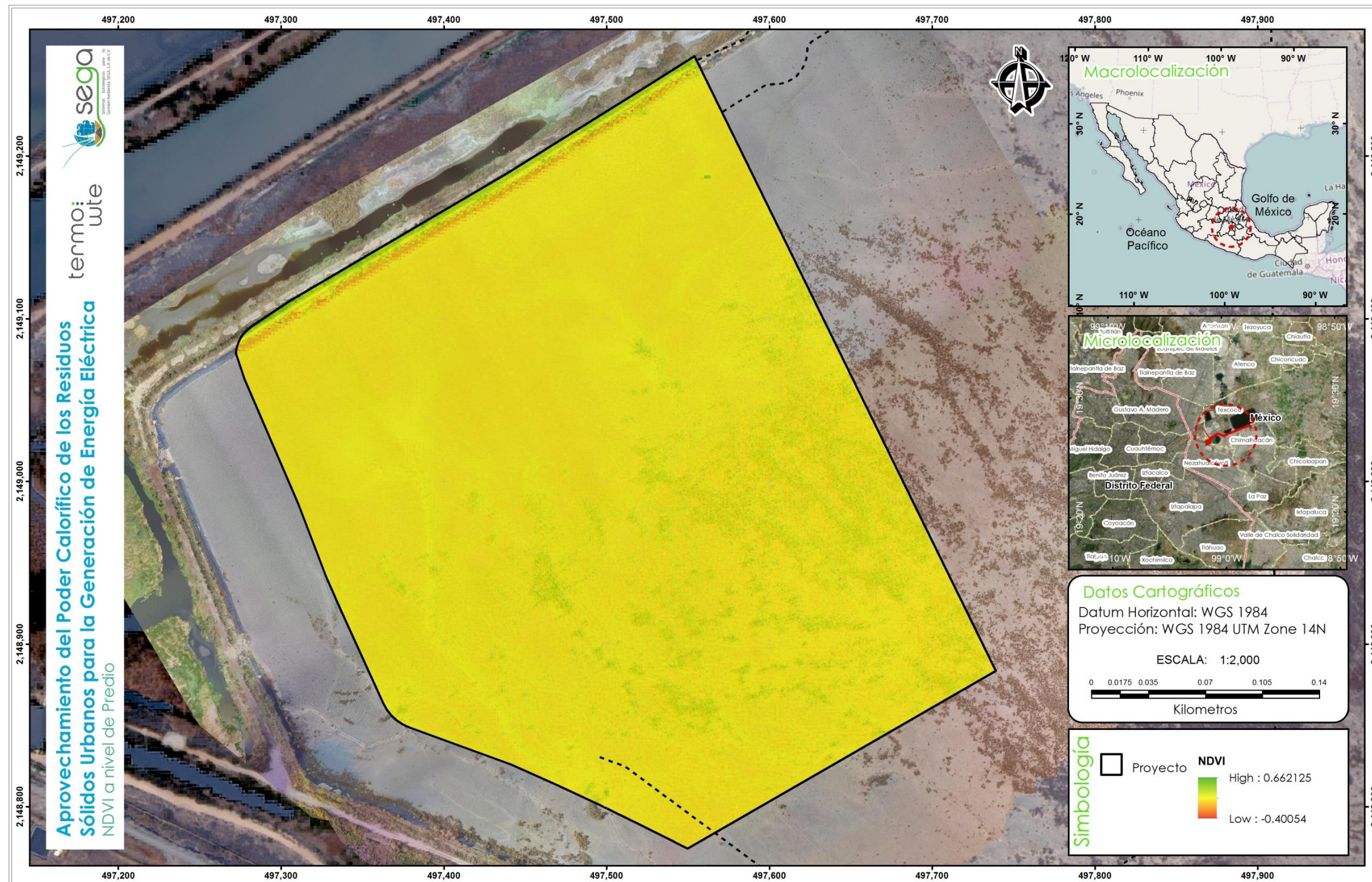


Figura IV—7. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a nivel del predio del proyecto.

E) Análisis de resultados

- Conforme a los resultados obtenidos en el procesamiento de las imágenes satelitales en el NDVI, se debe de entender que las imágenes de satélite podrían interpretarse como una matriz de datos ordenados en filas y columnas, donde cada celda contiene un valor numérico. La interpretación de los índices espectrales se realiza mediante los valores resultantes por pixel.
- El índice NDVI ayuda a identificar las zonas con vegetación e intenta evaluar su vigor. Los valores del índice van de -1 a 1, donde aquellos valores más cercanos a 1 indican vegetación vigorosa y en buen estado de salud.
- Los valores de la Tabla IV-4 reflejan que, si bien existe un mínimo de vegetación en el predio, ésta ya no es fotosintéticamente activa y en la mayor parte del predio no existe vegetación.

Tabla IV-4 Rango de valores obtenidos para el NDVI del predio del proyecto.

Descripción	Valores
Mínima	-0.40054
Máxima	0.66213
Media	0.11254
Desviación Estándar	0.04801

IV.1.5 Regiones de interés ambiental

A partir del polígono del SAR delimitado para el proyecto, se realizó una investigación documental cartográfica para determinar si éste se ubicaba en algún sitio que guardara características naturales con algún grado de importancia, como son: Áreas Naturales Protegidas (ANP's), ya sean de carácter federal o estatal, humedales de importancia para la Convención Ramsar, áreas de importancia para la conservación de las aves,

regiones terrestres prioritarias, regiones hidrológicas prioritarias y de programas de ordenamiento ecológico, obteniendo los siguientes resultados:

A) Áreas naturales protegidas (ANP's)

Del análisis realizado para la identificación de ANP's en el SAR, se procedió a identificar las de los tres órganos de gobierno: federal, estatal y municipal. Para ello, se consideró no sólo las ANP's en las que el SAR incidiera directamente, sino que también se referenciaron aquellas más cercanas a éste. Del trabajo realizado, se identificaron ocho ANP's, cuatro de carácter federal, tres de carácter estatal y una municipal, pero ninguna de ellas incide en el área de pretendida ubicación del proyecto o incluso con el área delimitada del SAR. En la Tabla IV-5 se enlistan las ANP's identificadas en el análisis realizado.

Tabla IV-5. Áreas naturales protegidas de los tres niveles de gobierno que se ubican aledañas al predio y SAR definido para el proyecto.

Carácter	Nombre	Categoría	Distancia al SAR (km)	Distancia al predio (km)
Federal	Iztaccíhuatl - Popocatepetl	Parque nacional	11.2	---
	Molino de Flores Netzahualcóyotl	Parque nacional	5.0	13.6
	Los Remedios	Parque nacional	14.2	---
	El Tepeyac	Parque nacional	2.5	10.5
Estatal	Sierra de Guadalupe	Parque estatal	2.5	12.0
	Sierra Patlachique	Parque estatal	3.5	16.0
	Sistema Tetzcotzingo	Reserva estatal	4.4	13.0
Municipal	Tlalnepantla	Parque municipal	13.5	21.0

Las áreas naturales protegidas de carácter federal más cercanas al AI y SAR definido para el proyecto (Tabla IV-5; Figuras IV-8 y IV-9), tienen como característica común que fueron decretadas como tal entre 1935 y 1938, durante el periodo presidencial del Gral. Lázaro Cárdenas. El Parque Nacional de las montañas denominadas Iztaccíhuatl y Popocatepetl fue la primera de ellas en publicarse, lo que se efectuó a través del decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del 08 de noviembre de 1935.

Su objetivo de creación fue el de proteger la cubierta forestal de la región con el fin de favorecer la conservación del recurso hídrico, evitar la erosión, preservar la flora y fauna y conservar el paisaje (vista) que dan los volcanes en beneficio de los pobladores de la región y visitantes. El resumen del programa de manejo de esta ANP se publicó el 02 de abril de 2013, incluyendo su plano de localización con las coordenadas de las 39,819-08-60.00 ha que lo conforman.

La segunda de estas ANP's en decretarse como tal fue el Parque Nacional El Tepeyac, publicándose su decreto en el Diario Oficial de la Federación el 18 de febrero de 1937. En el artículo Primero de éste se establece que tendrá como finalidad proteger las obras (acciones) de reforestación llevadas a cabo en los cerros Tepeyac, Guerrero y Santa Isabel, de la serranía de Guadalupe.

El Parque Nacional Molino de Flores Nezahualcóyotl, con decreto publicado el 05 de noviembre de 1937 en el Diario Oficial de la Federación, tuvo como finalidad proteger el monumento histórico "Molino de Flores", donde se encuentra el área natural conocida como "Baño de Nezahualcóyotl". Además, también incluyó las dos capillas del tipo barroco que se encuentran al norte de éste, mismas que brindan al área un punto adicional de atracción turística.

Finalmente, el 15 de abril de 1938 se publicó el decreto de creación del Parque Nacional Los Remedios, ubicado en el Estado de México. Esta ANP comprende territorio de los cerros Moctezuma, Chiluca y Tenantongo, y se declaró como tal considerando el paisaje de lomeríos que contrasta con las planicies aledañas, imprimiendo una variación orográfica para disfrute de la población de la región y visitantes. Sin embargo, dado su estado de deterioro, y una vez publicado el decreto, se consideró seguir con las actividades de reforestación para recuperar la cobertura forestal de las áreas afectadas para, de este modo, hacerlo más atractivo para los turísticos.

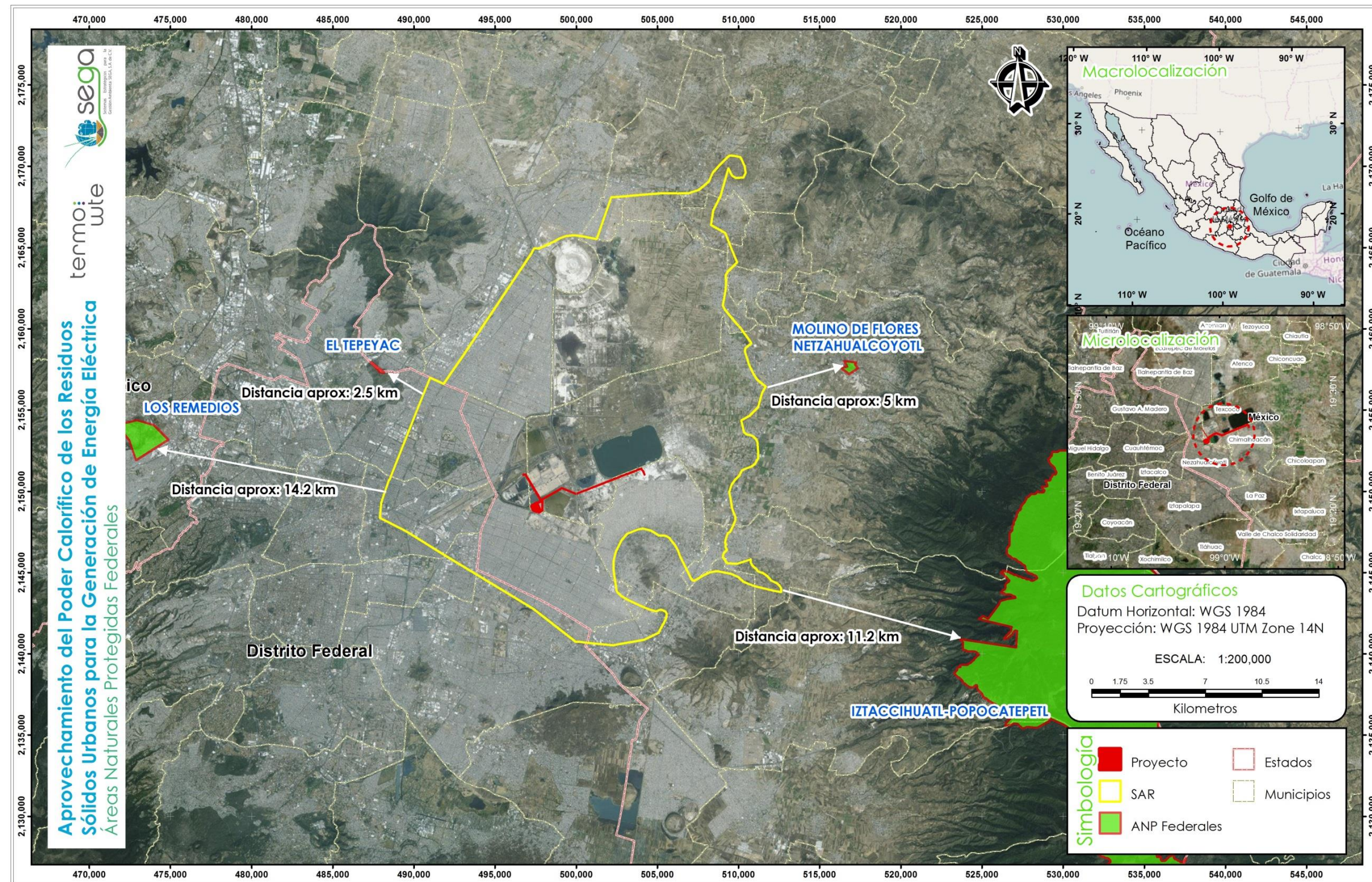


Figura IV—8. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter federal más cercanas al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.



Figura IV—9. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter federal más cercanas al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

Al igual que las ANP's de carácter federal aledañas al SAR definido para el proyecto, ninguna de las ANP's estatales inciden en el área del proyecto ni del SAR (Tabla IV-5; Figuras IV-10 y IV-11). La más cercana al SAR es el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, que se ubica al oeste y 2.5 km en su punto más cercano al SAR. A éste le sigue el Parque Estatal Sierra Patlachique al norte y 3.5 km del SAR. Y, finalmente está la Reserva Estatal Sistema Tetzcotzingo, misma que se encuentra al este y a 4.4 km en su punto más cercano del SAR.

El Parque Estatal Sierra de Guadalupe comprende una superficie de 6,322.50 ha y se ubica en los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec de Morelos, Coacalco y Tultitlán. Su decreto se publicó en la Gaceta del Gobierno del Estado el 10 de mayo de 1976. Ésta ANP se creó con la finalidad de brindar un área de recreo y esparcimiento para los pobladores de la región, además de que sirviera para incentivar a la sociedad en la participación para la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, para lograr dichos objetivos se definen actividades encaminadas a frenar y revertir la degradación de los recursos naturales, soportado en actividades de reforestación para frenar la erosión y ayudar en la captación de agua pluvial.

El Parque Estatal Sierra Patlachique se decretó el 26 de mayo de 1977 y comprende 3,123 ha ubicadas en los municipios de Acolman, Tepetlaoxtoc y Chiautla, Estado de México. La finalidad de su creación fue la misma que la descrita previamente para el Parque Estatal Sierra de Guadalupe.

Por último, la Reserva Estatal Sistema Tetzcotzingo es la de más reciente creación y su decreto se publicó en la Gaceta del Gobierno del Estado el 04 de junio de 2001. Esta ANP se ubica en el municipio de Texcoco y comprende 7810-95-14 ha. Se declaró como tal por encontrarse vestigios históricos y diversidad de especies animales y vegetales.

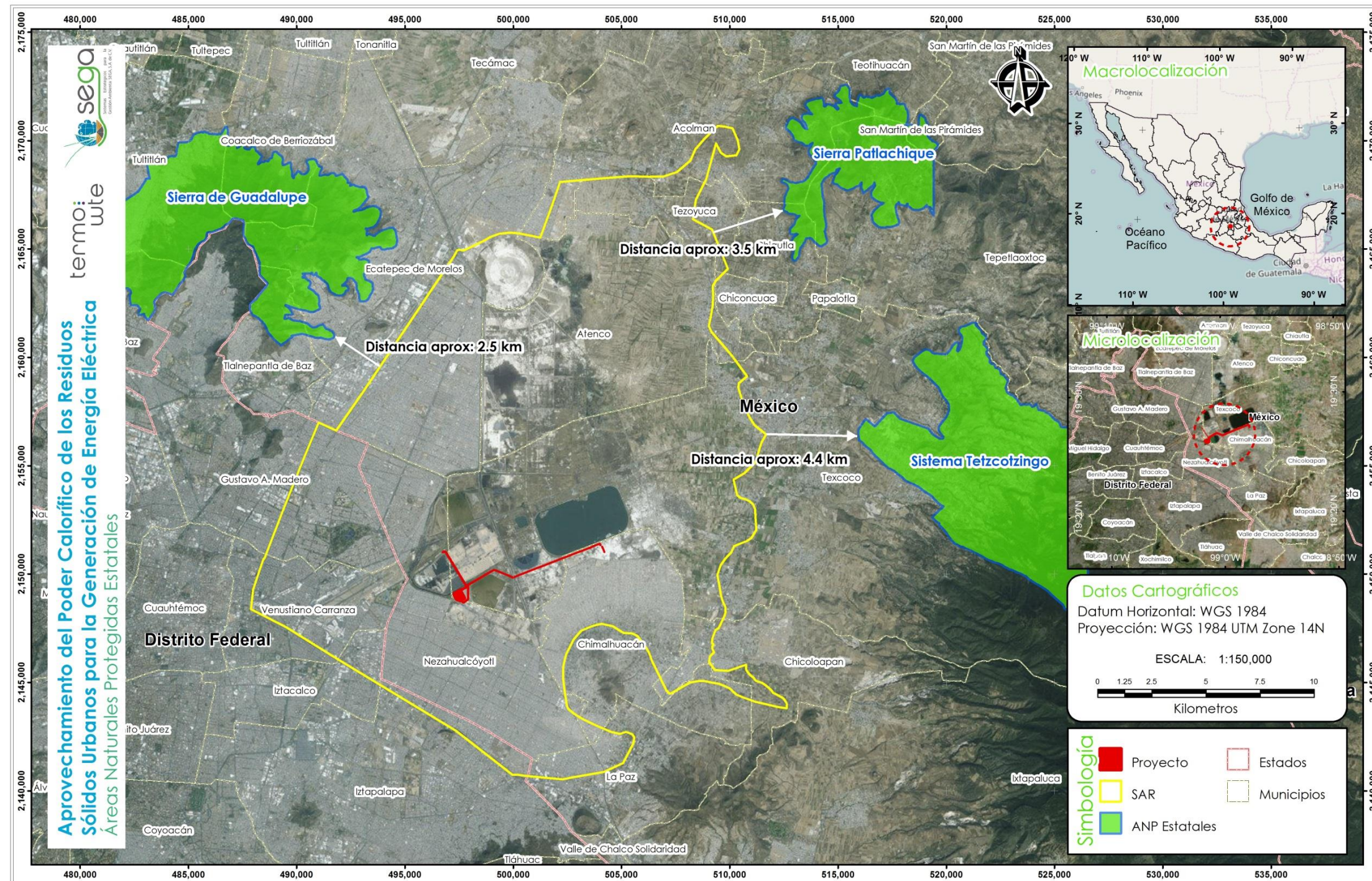


Figura IV—10. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter estatal más cercanas al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

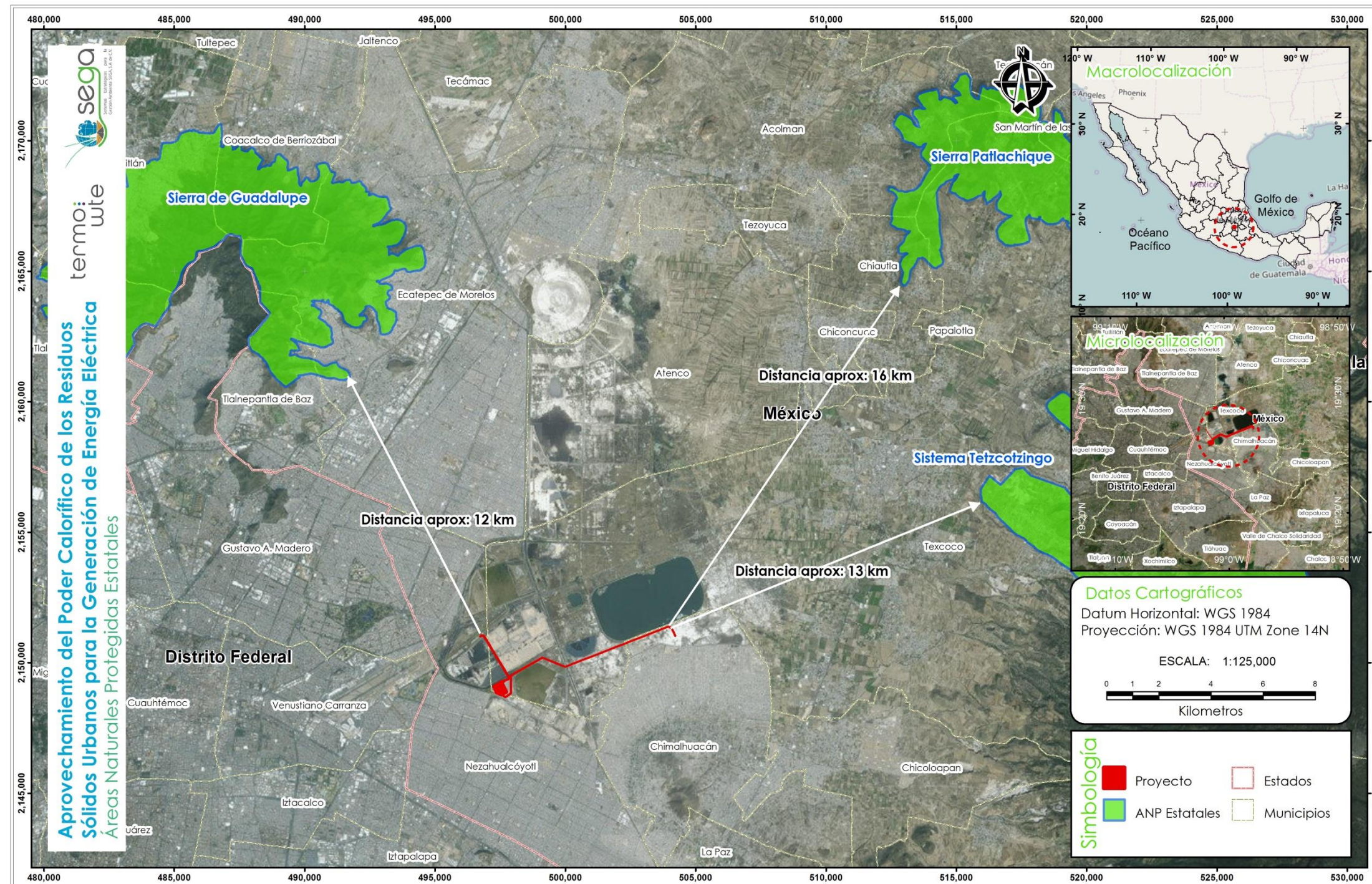


Figura IV—11. Ubicación de las áreas naturales protegidas de carácter estatal más cercanas al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

A nivel de áreas naturales protegidas de carácter municipal, la única reconocida como tal aledaña al SAR del proyecto es el Parque Municipal Tlanepantla, mismo que se ubica en la colonia Electra, municipio de Tlanepantla y comprende 42,084.350 m². El área del Parque está delimitada por las calles Presa de Infiernillo, Presa de Tecuala, Presa de las Cruces, Presa 27 de septiembre y Circuito viveros de la hacienda. Se decretó como área protegida con la finalidad de favorecer la forestación, recreación, mejoramiento del ambiente, incremento de la absorción de aguas pluviales, prevención de erosiones y asegurar un pulmón verde en beneficio de las diversas colonias y fraccionamientos que lo circundan.

Este Parque, al igual que las ANP's federales y estatales, se ubica fuera del polígono delimitado para el SAR del proyecto y, por ende, de su AI. Al predio se ubica a 21.0 km de distancia y a 13.5 km al punto más cercano del SAR (Figuras IV-12 y IV-13).

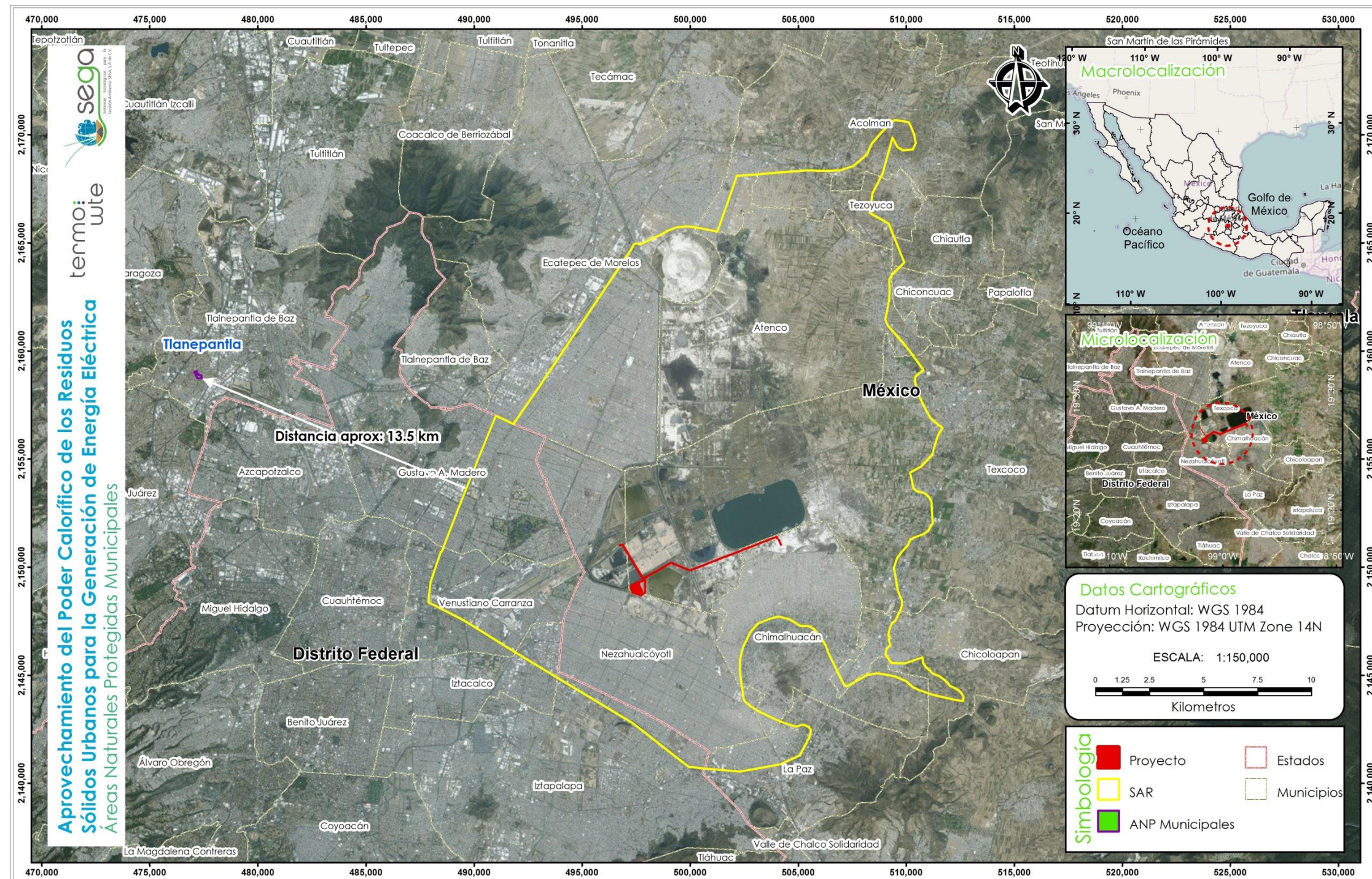


Figura IV—12. Ubicación del Parque Municipal Tlalnepantla con respecto al sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

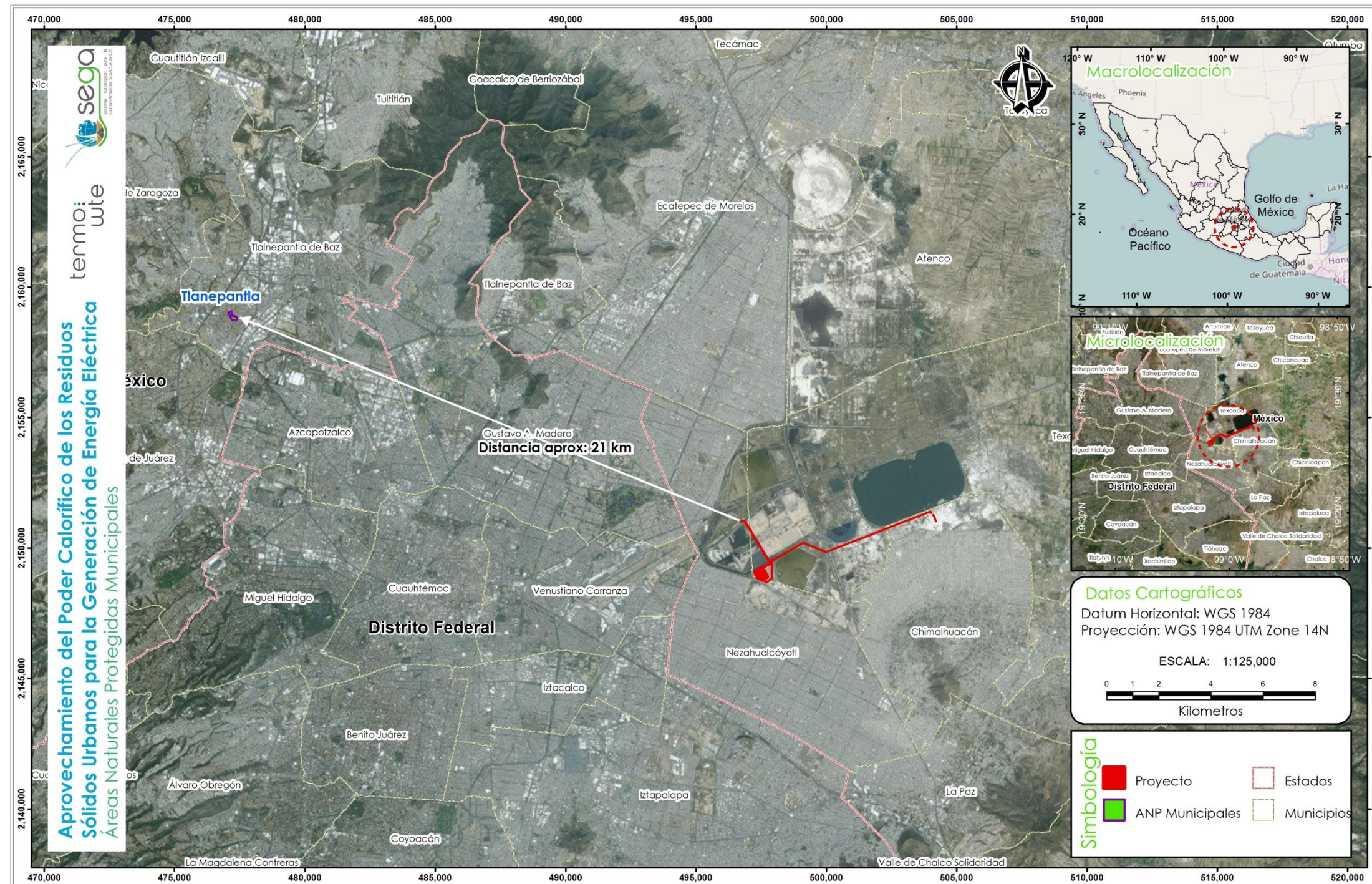


Figura IV—13. Ubicación del Parque Municipal TlalnepanTLA con respecto al predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

B) Regiones prioritarias

La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental que permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado. La importancia de la regionalización de tipo ambiental estriba en que se consideran análisis basados en ecosistemas, cuyo objetivo principal es incluir la heterogeneidad ecológica que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico para, así, proteger hábitats y áreas con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad.

En este contexto, la designación de Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad, lo cual se lleva a cabo por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), se orienta en la detección de áreas cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas. Estas delimitaciones regionales no tienen la facultad de regular el uso de suelo, por lo que no prohíben ni establecen condiciones para obras o actividades en su interior, y tampoco tienen la facultad de normar, en este caso, obras de infraestructura. Por ello, estas regionalizaciones no son jurídicamente vinculantes con el proyecto que se presenta; sin embargo, fueron tomadas en consideración a efecto de identificar elementos, factores y fragilidad de los ecosistemas involucrados con el desarrollo del proyecto, en el contexto del SAR.

Con relación a los ejercicios de regionalización llevados a cabo por la CONABIO y la ubicación con el SAR, se obtuvieron los siguientes resultados:

Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA)

Las AICAS son áreas prioritarias importantes para la conservación de las aves. De acuerdo con información de la CONABIO en su sitio web <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>, en México existen 230 áreas con esta denominación, mismas que están agrupadas en 4 coordinaciones regionales (Noreste, Noroeste, Sur y Centro). Cada AICA tiene una descripción técnica que incluye una descripción biótica y abiótica, un listado avifaunístico de las especies registradas en la zona, su abundancia (en forma de categorías) y su estacionalidad en el área.

Dentro del SAR definido para el proyecto se encuentra la AICA denominada Lago de Texcoco (Clave C-01), categorizada como G-4-A y, el predio del proyecto queda inmerso dentro de ésta (Figuras IV-14 y IV-15). Esta categoría se aplica a áreas que se caracterizan por presentar congregaciones grandes de individuos y se aplica a especies que se caracterizan por ser vulnerables, por presentarse en números grandes en sitios clave durante la reproducción o la migración. Adicionalmente, el sitio contiene más del 1% de la población mundial de una especie acuática gregaria (Criterio RAMSAR).

Según lo mencionado por la CONABIO en su página <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/C-01.html>, esta AICA se ubica sobre el área del ex - lago de Texcoco comprendiendo una superficie de 15,106.30 ha. Los usos de suelo existentes son: forestal (pastizales y reforestada con casuarina y tamix), pecuario y de manejo hidráulico. Los tipos de vegetación presentes son el pastizal de gramíneas halófitas y acuática.

Su categorización como AICA se debió a que mantiene poblaciones de 100,000 o más aves acuáticas durante el invierno, siendo el área más importante para este tipo de aves en el Valle de México. La CONABIO reporta la presencia de 144 especies de

aves, de las cuales, por su estacionalidad, 17 se consideran como ocasionales o accidentales, 29 residentes, 54 residentes de invierno, 14 transitorias y 30 sin información disponible. Por su abundancia, 98 se catalogan como raras, una muy abundante, 18 abundantes y 27 sin información disponible.

Las amenazas identificadas en esta región son el cambio de uso de suelo, la reforestación con especies exóticas, la actividad ganadera y el desarrollo urbano.

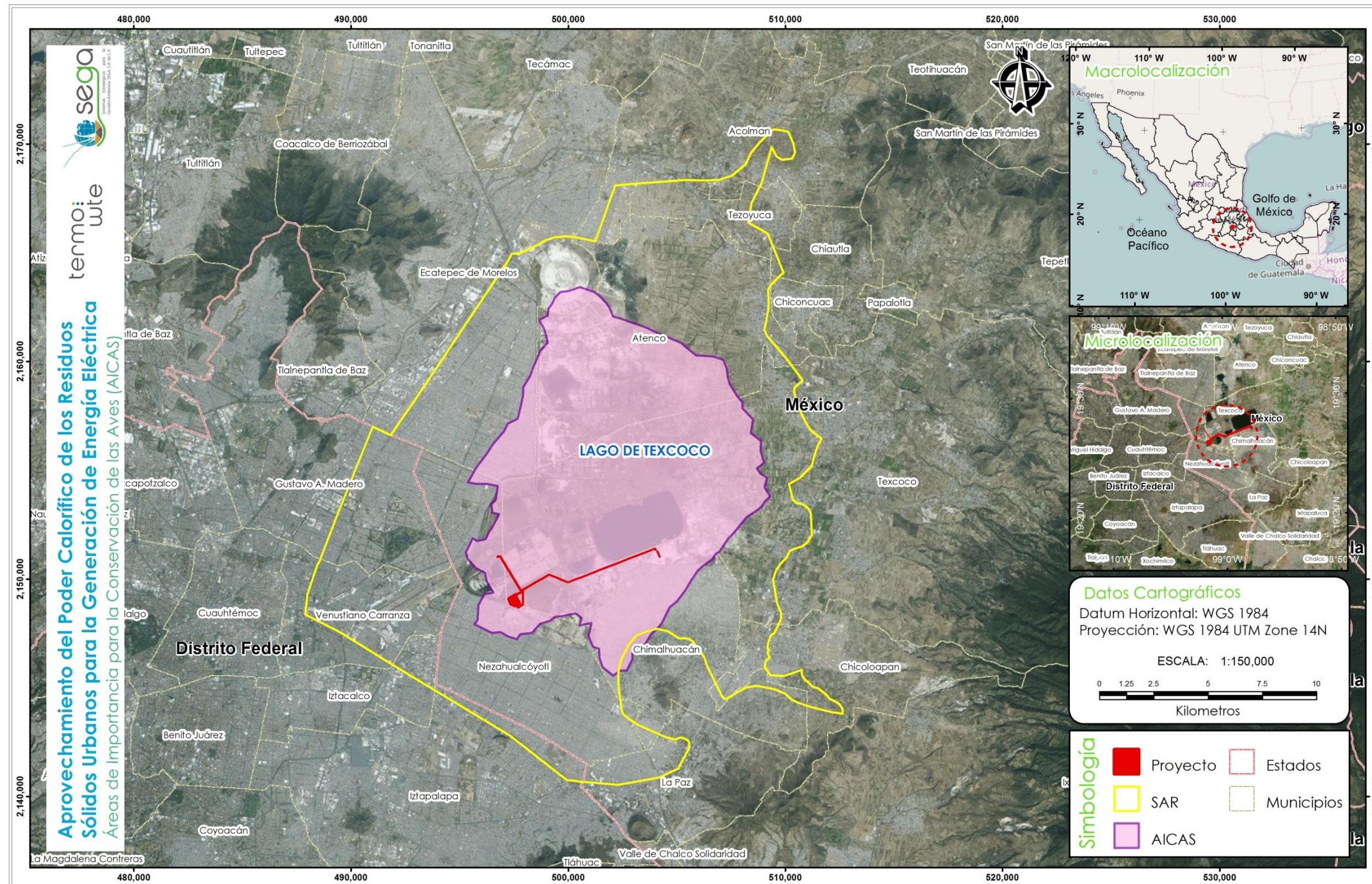


Figura IV—14. Ubicación del área de importancia para la conservación de las aves con respecto al SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

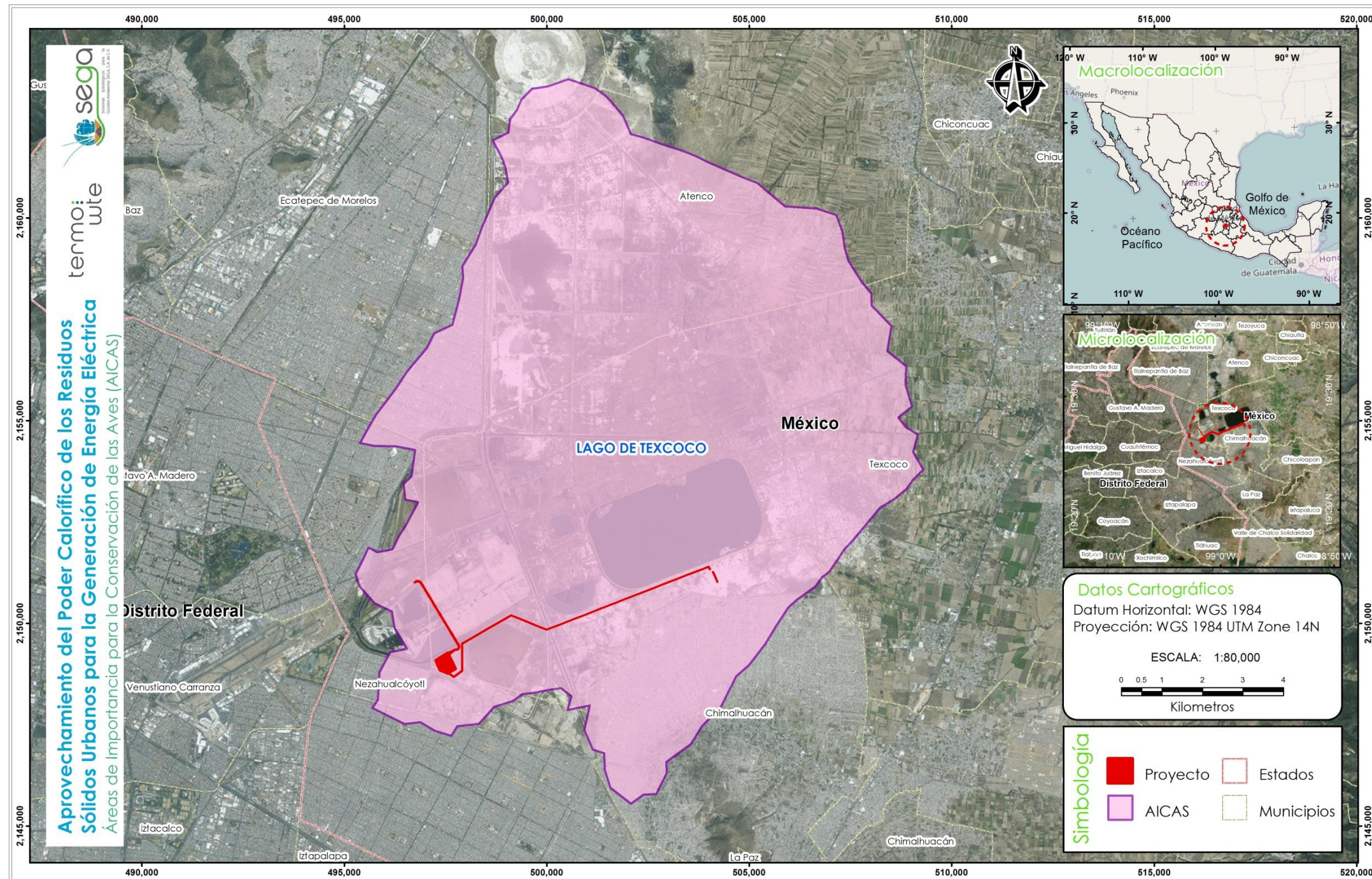


Figura IV—15. Ubicación del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al área de importancia para la conservación de las aves Lago de Texcoco.

Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)

Este tipo de regionalización tiene como finalidad el fortalecimiento de la conservación de regiones con alta biodiversidad; su principal objetivo es la identificación de aquellas áreas terrestres que sean relevantes y se diferencien por su riqueza ecosistémica, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tenga una oportunidad real de conservación. De acuerdo con los estudios realizados por la CONABIO, al final se constituyeron 152 de éstas regiones, cubriendo una superficie de 515,558 km², la cuarta parte del territorio nacional (Información de la CONABIO en su página [web: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html)).

El SAR definido para el proyecto, ni su predio, se encuentra dentro o parcialmente traslapada con alguna región terrestre prioritaria (Figuras IV-16 y IV-17). Colindante al SAR se encuentran las RTP's Sierra Nevada (RPT-107) y Ajusco – Chichinautzin (RTP-108), la primera se ubica a 9 km y 17 km del SAR y AI del proyecto, respectivamente, en su punto más cercano; y la segunda a 22 km del SAR y 30 km del AI del proyecto.

La RTP Sierra Nevada abarca 1,227 km² de 18 municipios de los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Estado de México. Como característica ambiental relevante hay que mencionar que, las ANP's "Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl" y "Parque Nacional Zoquiapan y Anexa" se encuentran incluidos dentro de la poligonal de esta RTP (Arriaga et al., 2000).

Los tipos de uso de suelo y vegetación que predominan son: praderas de alta montaña (6%), agropecuario y forestal (11%), bosque de oyamel (12%), bosque de pino (64%) y el restante 7% corresponde a otros usos diversos (Arriaga et al., 2000).

Esta región tiene valores altos de conservación (3) en:

- Diversidad ecosistémica: Bosque de pino, oyamel y praderas de alta montaña.

- Función como corredor biológico: Importancia ecológica transicional.
- Fenómenos naturales extraordinarios: Debido a su riqueza biológica y paisajística dada por los volcanes.
- Presencia de endemismos: Alto para vertebrados y hongos y medio para plantas vasculares.
- Presión sobre especies claves: Debido a la cacería de vertebrados, extracción de plantas útiles y a plagas forestales.
- Concentración de especies en riesgo: Alta para los grupos de flora y fauna.
- Importancia de los servicios ambientales: Aporte para los acuíferos de la Ciudad de México y Cuernavaca. Además, tiene un gran valor paisajístico.

Por otro lado, la RTP Ajusco – Chichinautzin comprende 1,261 km² de 15 municipios y 5 delegaciones de los estados de Morelos, Estado de México y de la Ciudad de México. Se considera como un corredor biológico que asegura la continuidad de los procesos ecológicos de la región, además de operar como una barrera que trata de delimitar el avance de la urbanización.

Los tipos de uso de suelo y de vegetación que predominan son: agropecuario y forestal (31%), bosque de pino (44%), bosque de oyamel (13%), selva baja caducifolia (6%) y otros no definidos (6%) (Arriaga et al., 2000).

Esta región tiene valores altos de conservación (3) en:

- Diversidad ecosistémica.
- Función como corredor biológico: Por sus procesos ecológicos de transición entre dos regiones biogeográficas.
- Presencia de endemismos: Alto para vertebrados y hongos y medio para plantas vasculares.
- Función como centro de origen y diversificación natural: En este rubro destacan los vertebrados.

- Nivel de fragmentación de la región: Debido a los efectos de la urbanización.
- Presión sobre especies clave: Por la cacería de vertebrados, extracción de plantas útiles y a plagas forestales.
- Concentración de especies en riesgo: Alta para los grupos de flora y fauna.
- Prácticas de manejo inadecuado: Impactado por la urbanización.
- Proporción del área bajo algún tipo de manejo adecuado: Solo aplicada en un par de comunidades.
- Importancia de los servicios ambientales: Destaca en los aportes de los acuíferos de la Ciudad de México y Cuernavaca.
- Presencia de grupos organizados: Destaca el trabajo de centros de enseñanza superior y la presencia de organizaciones no gubernamentales.

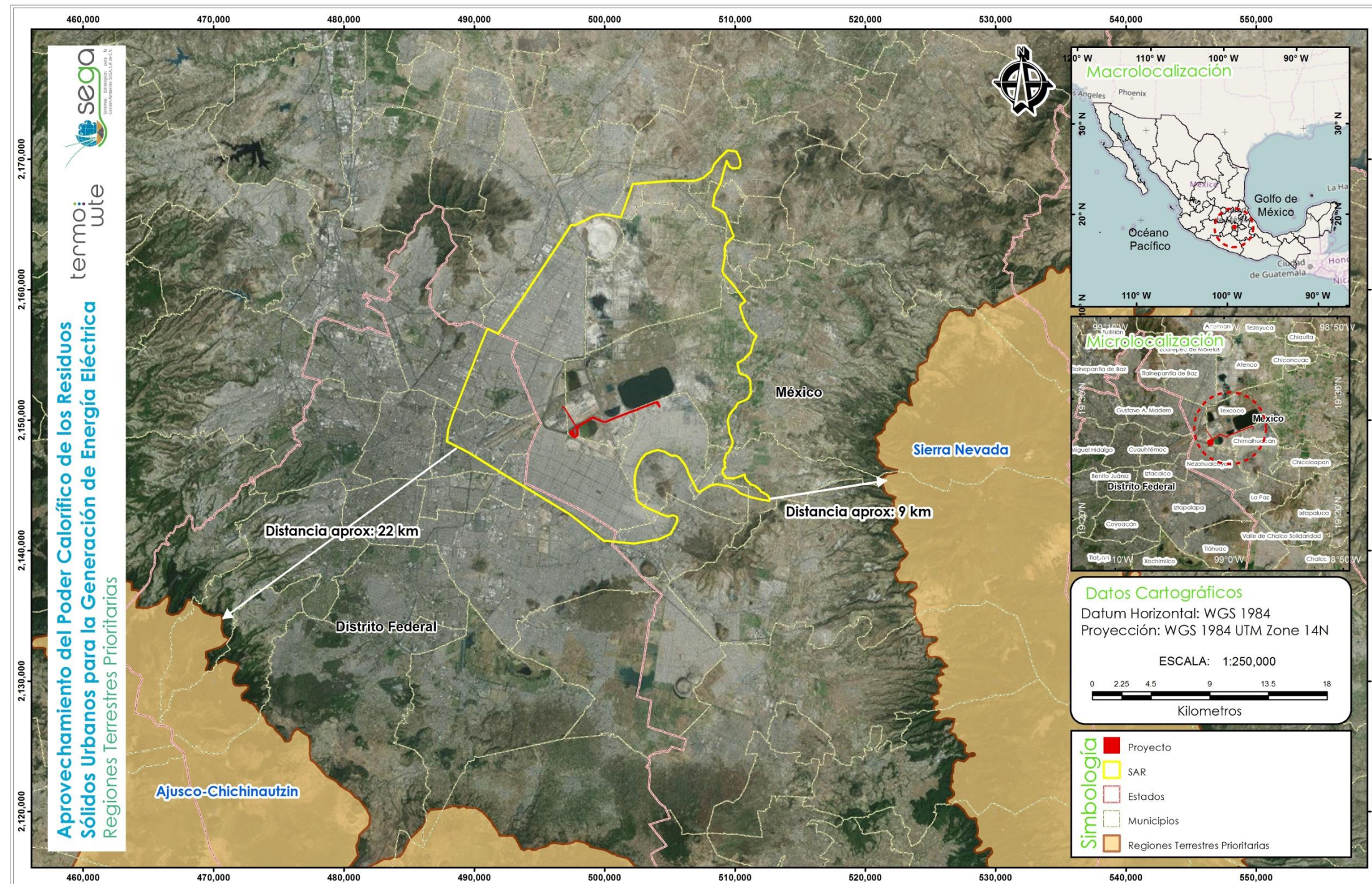


Figura IV—16. Ubicación de las regiones terrestres prioritarias con respecto al SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico.

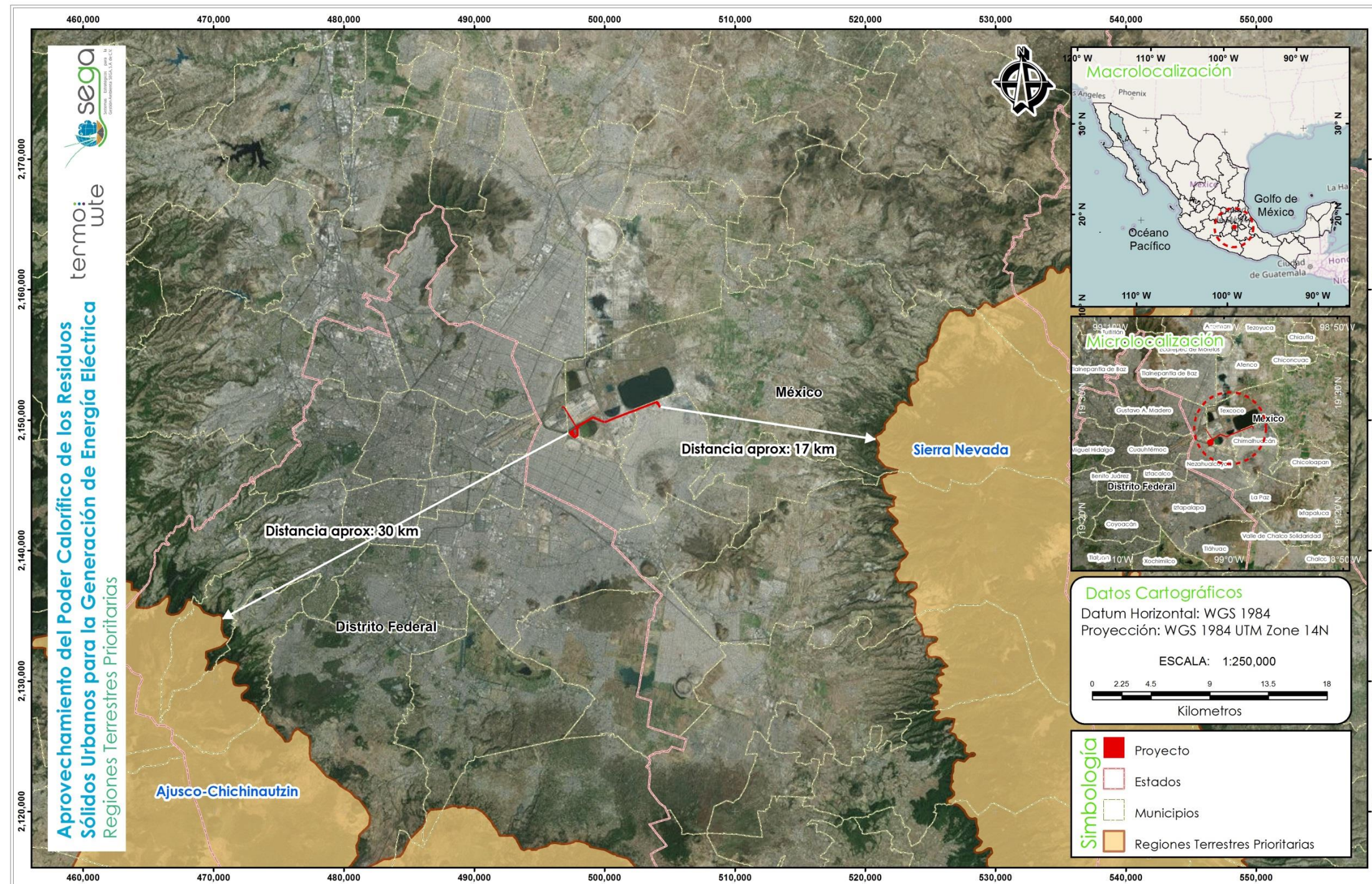


Figura IV—17. Ubicación del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a las regiones terrestres prioritarias más cercanas.

Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP's)

Estas regiones, al igual que las dos anteriores, fueron creadas por la CONABIO con el objetivo de establecer un marco de referencia que pudiera ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de planes de investigación, conservación uso y manejo sostenido de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país, con base en las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las áreas. Del trabajo realizado por la CONABIO, se tuvo como resultado la creación de 110 regiones hidrológicas prioritarias. Entre éstas, 82 corresponden a áreas de uso y, además, 75 tienen una alta riqueza biológica con potencial para su conservación.

El SAR y AI del proyecto se ubican sobre la región hidrológica “Remanentes del complejo lacustre de la Cuenca de México”, comprende 2,019.92 km², mayoritariamente del Estado de México y una menor superficie dentro de los límites de la Ciudad de México (Figuras IV–18 y IV–19).

De acuerdo con información de la CONABIO, en su sitio web http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_068.html, los principales recursos hídricos son: los canales y lagos de Xochimilco, Chalco, Texcoco y Zumpango, Ciénega de Tláhuac, y los ríos Magdalena, San Buenaventura, San Gregorio, Santiago, Texcoco y Ameca (algunos muy alterados, en proceso de desaparición o remanentes).

Las principales actividades económicas relacionadas con el objetivo de creación de esta región hidrológica son la pesquería de charales, acociles y carpas. Además, se tienen actividades relacionadas con la agricultura intensiva y la industrial.

La problemática que se menciona que enfrenta esta región está relacionada con la pérdida de hábitats terrestres y acuáticos, sobreexplotación y agotamiento de acuíferos y cambios en el patrón hidrológico, en gran parte ocasionado por el crecimiento urbano

sin planificación. La otra es la contaminación ambiental ocasionada por la influencia de la zona urbana-industrial que es generadora de residuos y emisiones al ambiente, entre estos metales pesados, nitratos y materia orgánica e inorgánica de tipo diverso. Además, es una zona que está sometida a una extracción de aproximadamente $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ del sistema acuífero del Valle de México, el cual se encuentra bajo sobreexplotación. Para complementar el abasto se extrae y bombea agua de los ríos Lerma y Cutzmalá, afectando cuencas externas.

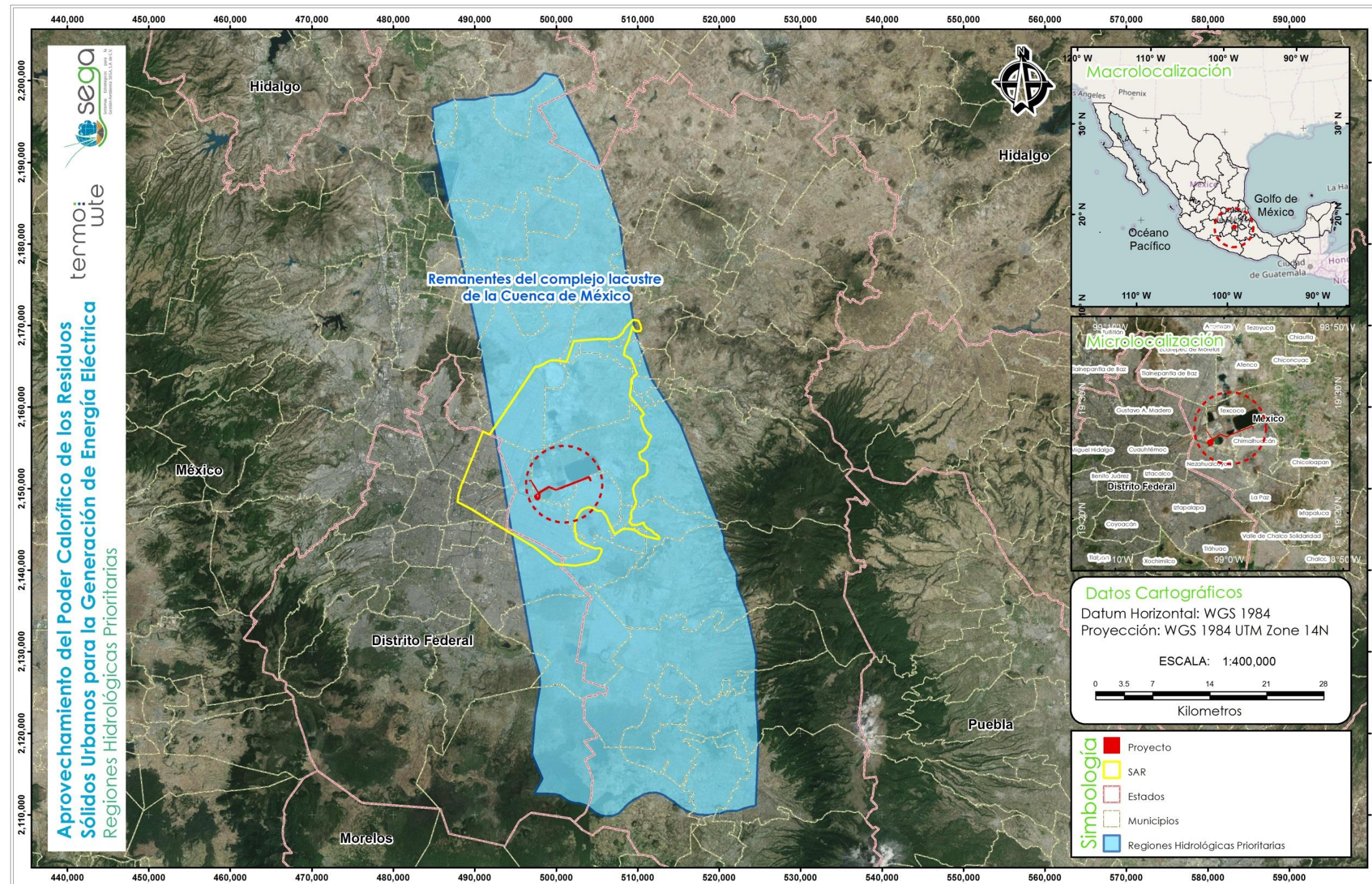


Figura IV—18. Ubicación del SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a la región hidrológica prioritaria cercana a éste.

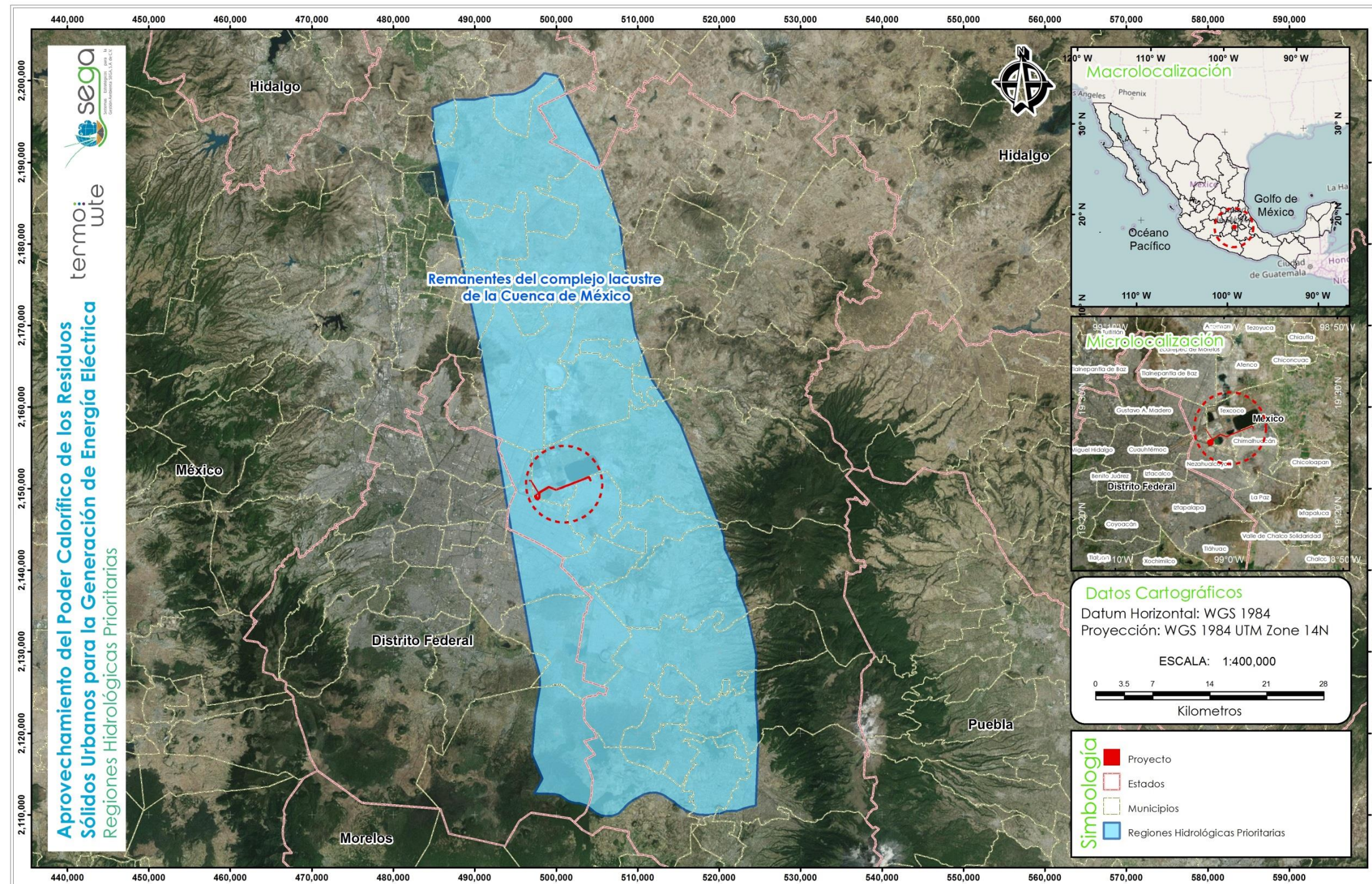


Figura IV—19. Ubicación del área de influencia del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto a la región hidrológica prioritaria cercana a ésta.

C) Sitios RAMSAR

A través de la Convención Internacional sobre Humedales se acordó la conformación de este tipo de áreas en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos, considerando los servicios ecológicos que prestan como reguladores de los regímenes hídricos y su gran biodiversidad. En México existen declarados 142 sitios Ramsar, los cuales abarcan 8'643,581.52 ha. El 2 de febrero de 2004, la Convención Internacional sobre Humedales Ramsar inscribió a la zona lacustre de Xochimilco en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, con la denominación "Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco".

El SAR y AI del proyecto no se encuentran dentro de algún área delimitada como sitio RAMSAR, el sitio más cercano con esta denominación es el antes mencionado "Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" a 10 km del SAR y 15 km al AI del proyecto, en sus puntos más cercanos (Figuras IV-20 y IV-21).

De acuerdo con su ficha técnica, el sitio se localiza en las porciones centro y norte de la delegación Xochimilco, en la parte centro-sureste de la Ciudad de México. Al norte y este colinda con las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac, y al noroeste con las de Coyoacán y Tlalpan. Debido a la estructura del sistema lacustre y su colindancia con la zona urbana, existe una fuerte presión al interior del sitio, ya con presencia de asentamientos humanos irregulares en algunas áreas de sus 2,657 ha de superficie. La población asentada en la zona lacustre se calcula en 24,102 habitantes y en el área de influencia inmediata de 121,131 habitantes.

De misma manera, su ficha técnica refiere que su importancia ambiental está dada por su biodiversidad determinada por la predominancia de tulares, como islas flotantes compuestas por tule (*Typha* spp. y *Schoenoplectus americanus*). Alberga

gran cantidad de especies de flora y fauna acuática y terrestre, algunas de ellas vulnerables y de distribución muy restringida como el lirio amarillo (*Nymphaea mexicana*) y el ajolote neoténico (*Ambystoma mexicanum*), aportando un patrimonio genético importante, además de funcionar como zona de alimentación y reproducción de peces y aves.

Se considera que el rescate de este humedal es fundamental para mantener la calidad y dinámica del acuífero, del suelo de conservación de la Cuenca de México, conservar los endemismos y la singularidad de sus comunidades naturales y los hábitats asociados; preservar el equilibrio ecológico regional, y, por el valor cultural que representa como museo vivo natural, por la permanencia de agro-sistemas tradicionales como la chinampería.

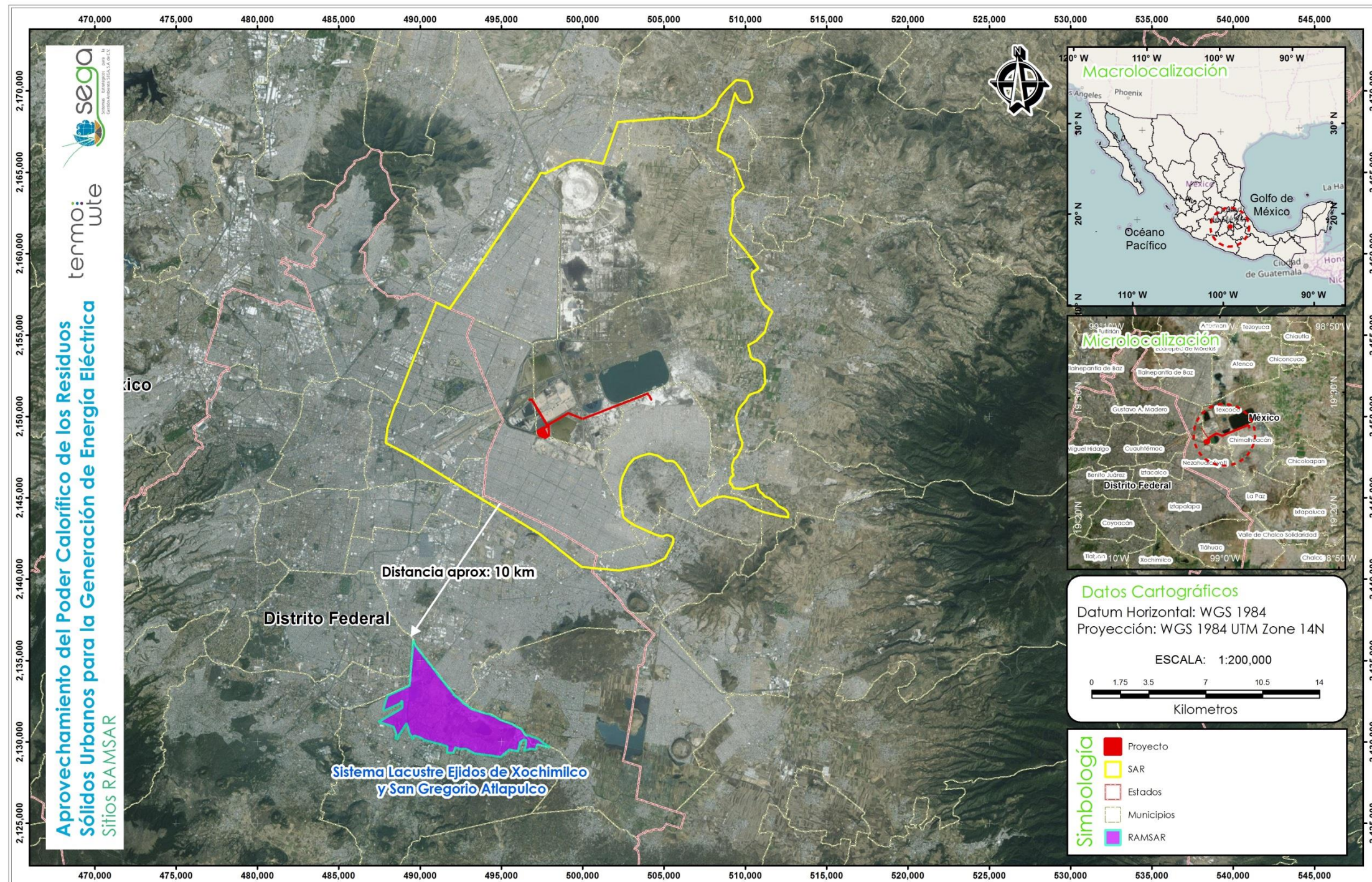


Figura IV—20. Ubicación del SAR del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al sitio RAMSAR más cercano a éste.

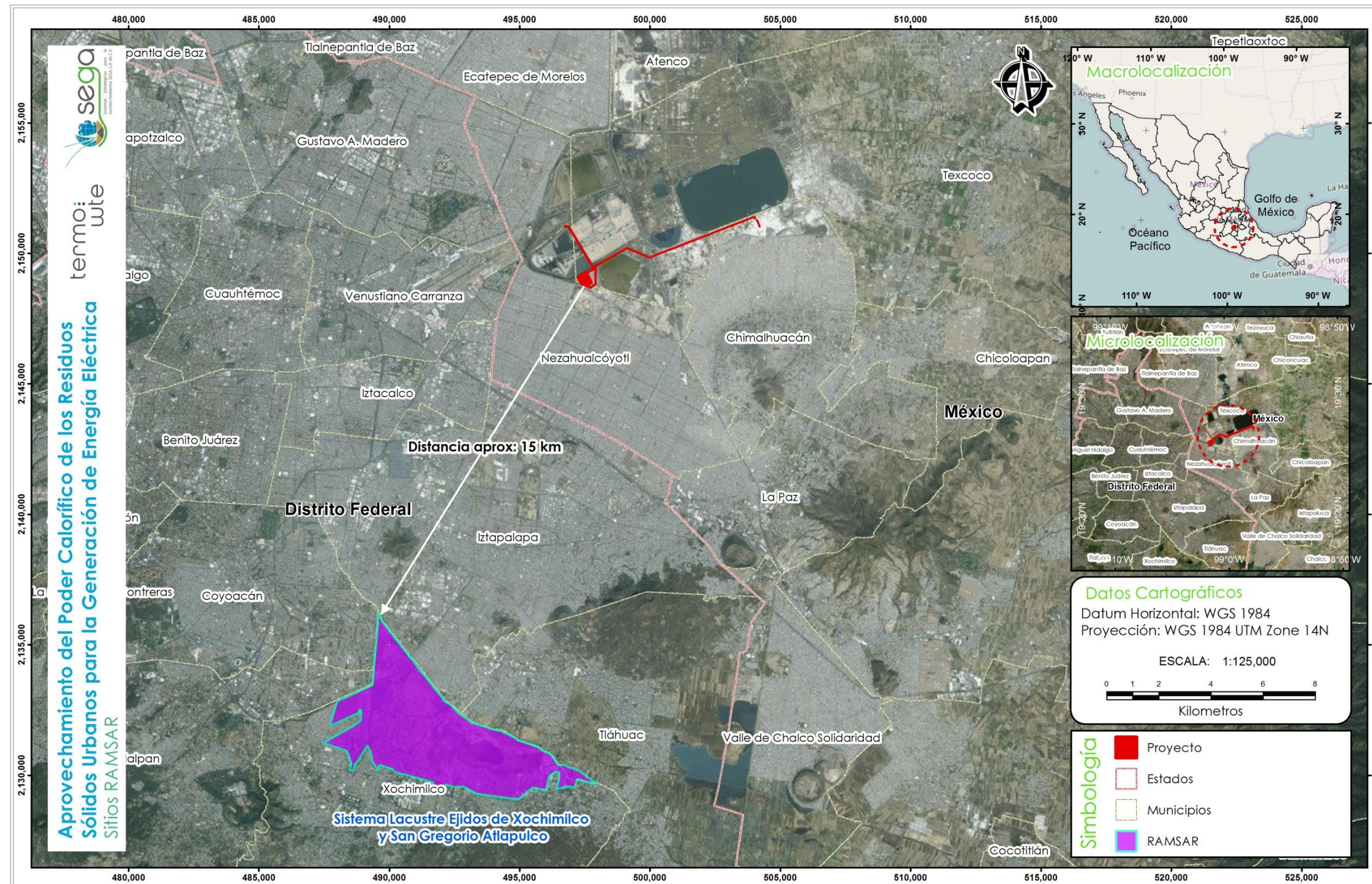


Figura IV—21. Ubicación del área de influencia del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico con respecto al sitio RAMSAR más cercano a ésta.

IV.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental regional (SAR)

IV.2.1 Medio Abiótico

IV.2.1.1 Clima

IV.2.1.1.1 Clasificación climática

Dentro de los factores que contribuyen a determinar el clima en el SAR delimitado para el proyecto se encuentran, por un lado, la latitud en la que se encuentra (19° 26' y 99° 01') y por otro la ocurrencia de vientos a lo largo del año. Procedentes del Golfo de México se presentan los vientos alisios, que son los responsables de acarrear el aire húmedo necesario para las precipitaciones. Durante la parte seca del año predominan con frecuencia vientos secos que provienen del oeste. Por la situación geográfica del SAR, al formar parte del eje neovolcánico con clima y estar situado en la parte alta de la meseta central, su clima se caracteriza por ser templado subhúmedo y semiárido, determinado por la distribución de su temperatura y precipitación a través del tiempo y año.

Las perturbaciones ciclónicas que se originan entre junio y octubre, tanto en el Atlántico como en el Pacífico, pueden provocar periodos de copiosas y prolongadas lluvias. En esta zona también se presentan incursiones de masas de aire frío procedentes del norte que son más o menos frecuentes en diciembre, enero y febrero, siendo las principales responsables de las temperaturas bajas y muchas veces también de lapsos pasajeros de nubosidad (Calderón et al., 2005).

De acuerdo con la información del INEGI, tomando en cuenta la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (García, 2004), en el área del SAR delimitado para el desarrollo del proyecto se tienen dos tipos de climas, predominando el clima semiárido BS₁kw que se caracteriza por ser templado con temperatura media

anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual (Figura IV-22).

Por otro lado, y en menor proporción, se tiene el clima templado subhúmedo, que es el que prevalece en el área de la Ciudad de México, denotado por la fórmula $C(w_0)(w)b$, el que se caracteriza por tener un coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% de la total y temperatura del mes más cálido inferior a 22 °C.

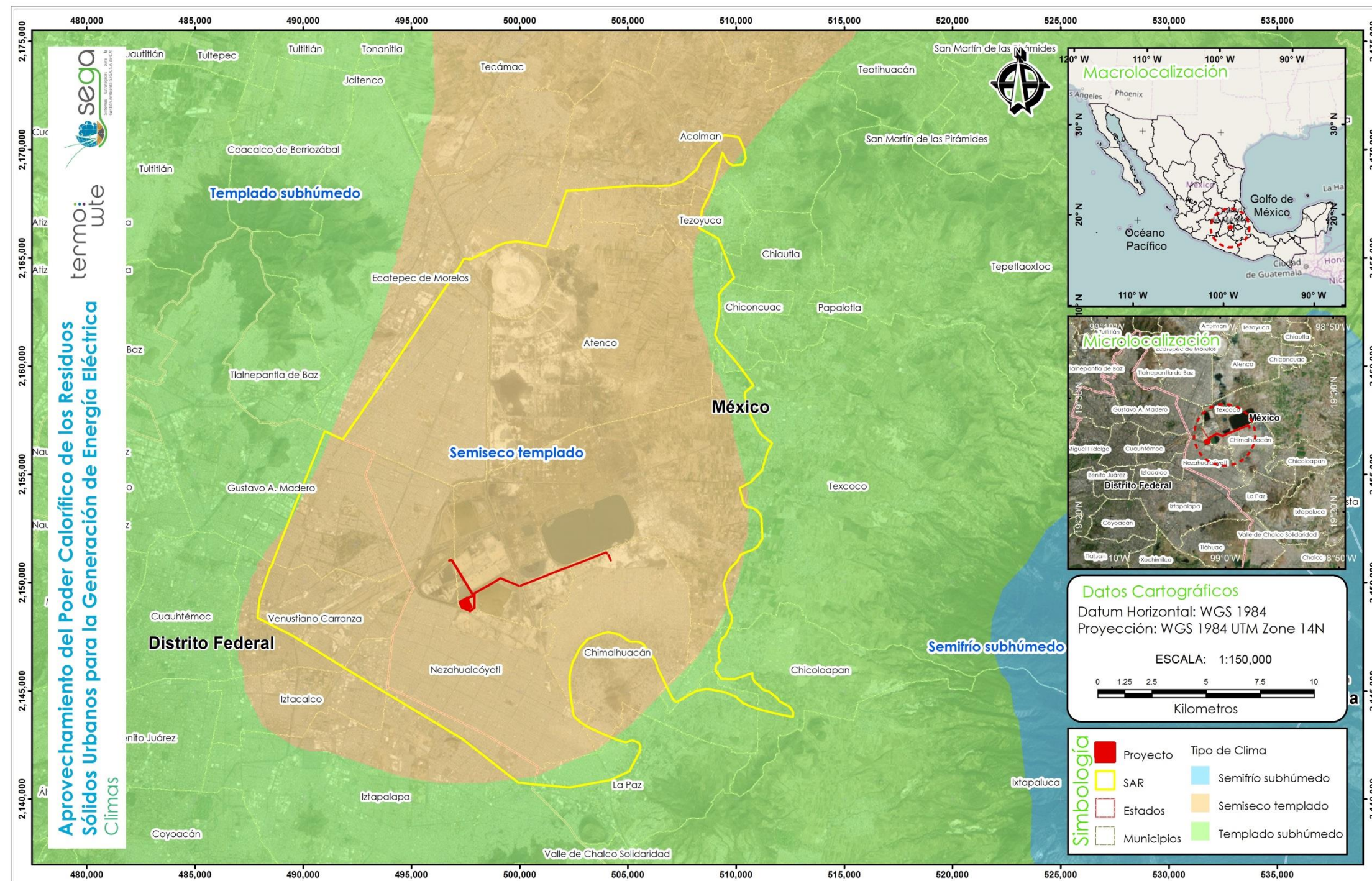


Figura IV—22. Tipos de climas en el SAR y Área del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos sólidos urbanos.

Para tener información más detallada de los factores climáticos prevalecientes en el SAR delimitado para el proyecto, se revisó la información de las estaciones climatológicas instaladas en los municipios del Estado de México y en las delegaciones de la Ciudad de México que conforman el SAR. Se obtuvo la información de las normales climatológicas del sistema meteorológico nacional en la página de la CONAGUA

(http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=182&tmpl=component), misma que fue analizada siguiendo el procedimiento descrito por García (2004). En este análisis también se incluyó información de estaciones meteorológicas que no estaban dentro del SAR delimitado para el proyecto, pero sí dentro de los municipios o delegaciones que están conformándolo dado que pueden considerarse valores aplicables a un área mayor que al sitio de donde se captura la información.

De la revisión realizada en la página de la CONAGUA, se tomó la información de 24 estaciones meteorológicas instaladas en los municipios de Texcoco (5), Atenco (1), Chimalhuacán (1), La Paz (1), Tlalnepantla (2), Ecatepec de Morelos (2); y en las delegaciones Iztacalco (3), Iztapalapa (2), Gustavo A. Madero (4) y Venustiano Carranza (3) (Tabla IV–6; Figura IV–23). Estas estaciones meteorológicas cuentan con información registrada para temperatura y precipitación de 31 y 34.6 años en promedio, respectivamente, para el periodo que va de 1951 al 2010.

Tabla IV-6. Estaciones meteorológicas que se encuentran dentro o en los límites del sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico^s.

Clave	Estación	Ubicación	Coordenadas		Altitud (msnm)
			X	Y	
15170	Chapingo	Texcoco	19° 29' 05"	98° 53' 11"	2250
15167	El Tejocote	Texcoco	19° 26' 36"	98° 54' 10"	2256
15083	San Andrés	Texcoco	19° 31' 55"	98° 54' 38"	2244
15125	Texcoco (DGE)	Texcoco	19° 30' 20"	98° 52' 55"	2250
15163	Texcoco (SMN)	Texcoco	19° 31' 00"	98° 53' 00"	2255

Clave	Estación	Ubicación	Coordenadas		Altitud (msnm)
			X	Y	
15008	Atenco (SMN)	Atenco	19° 32' 38"	98° 54' 46"	2245
15145	Plan Lago de Texcoco	Chimalhuacán	19° 27' 02"	98° 55' 54"	2260
15050	Los Reyes	La Paz	19° 21' 28"	98° 59' 30"	2248
15137	Amealco	Tlalnepantla	19° 31' 05"	99° 06' 39"	2240
15092	San Juan Ixhuatepec	Tlalnepantla	19° 31' 18"	99° 06' 52"	2235
15040	Gran canal km 02+120 bombas	Ecatepec de Morelos	19° 36' 35"	99° 03' 36"	2250
15041	Gran Canal km 27+250	Ecatepec de Morelos	19° 33' 42"	99° 01' 36"	2236
9009	Col. Agrícola Oriental	Iztacalco	19° 23' 58"	99° 04' 30"	2235
9056	Iztacalco	Iztacalco	19° 22' 39"	99° 07' 42"	2235
9036	Playa Caleta 454	Iztacalco	19° 23' 43"	99° 05' 52"	2235
9026	Morelos 77	Iztapalapa	19° 22' 00"	99° 05' 00"	2240
9052	Unidad Modelo	Iztapalapa	19° 22' 00"	99° 07' 00"	2229
9017	Cuauhtepic	Gustavo A. Madero	19° 32' 32"	99° 07' 50"	2390
9029	Gran Canal km 06+250	Gustavo A. Madero	19° 28' 36"	99° 05' 29"	2239
9025	Hacienda La Patera	Gustavo A. Madero	19° 30' 46"	99° 09' 30"	2240
9043	San Juan de Aragón	Gustavo A. Madero	19° 27' 55"	99° 04' 45"	2240
9068	Puente La Llave	Venustiano Carranza	19° 25' 45"	99° 03' 10"	2234
9007	Cinzel 42	Venustiano Carranza	19° 25' 00"	99° 07' 00"	2326
9013	Colonia Moctezuma	Venustiano Carranza	19° 25' 40"	99° 06' 20"	2235

§ Fuente: CONAGUA, en: http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=182&tmpl=component.

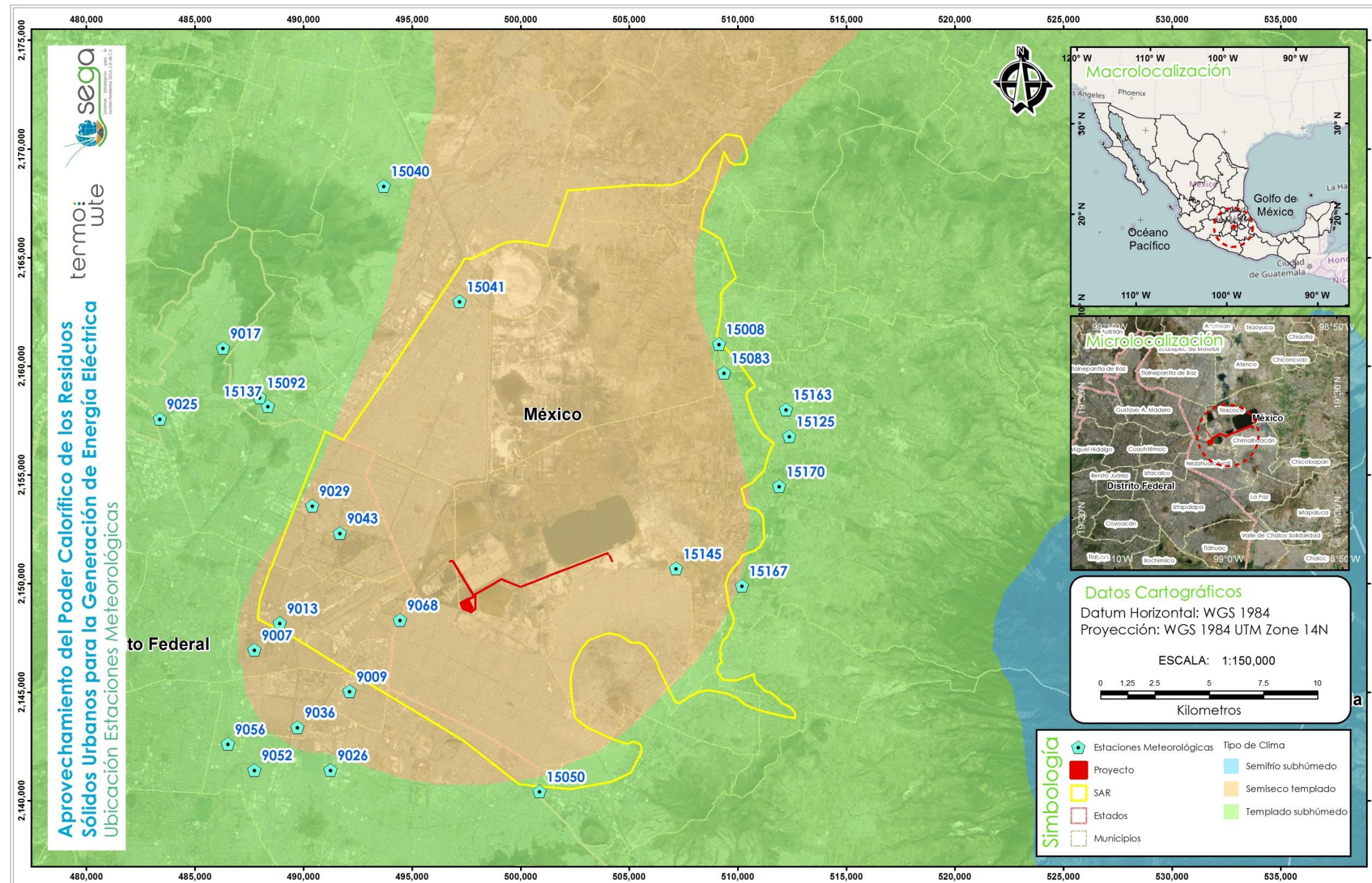


Figura IV—23. Ubicación de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro o colindantes al sistema ambiental delimitado para el proyecto.

Del análisis realizado a la base de datos de cada estación meteorológica por separado, se encontró que el clima en el SAR coincide, en lo general, con la carta de climas del INEGI, con ciertas variaciones particulares de algunas estaciones. Por un lado, el clima semiárido presenta una temperatura promedio anual de 16.3 °C y una precipitación de 576.4 mm anuales; y, por otro, el clima templado subhúmedo se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 16.8 °C y una precipitación promedio de 650.3 mm anuales. Todos tienen régimen de lluvias en verano, con precipitación invernal menor de 5% de la total anual y con poca oscilación de la temperatura (entre 5° y 7 °C) (Tabla IV-7).

Tabla IV-7. Clasificación climática en el sistema ambiental regional del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico tomando en cuenta la base de datos de las estaciones meteorológicas de la región.

Clave	Ubicación	Fórmula	Descripción
15170	Texcoco	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
15167	Texcoco	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15083	Texcoco	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15125	Texcoco	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -

Clave	Ubicación	Fórmula	Descripción
			3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15163	Texcoco	$C(w_1)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente de P/T entre 43.5 y 55.3; porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
15008	Atenco	$BS_1m(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15145	Chimalhuacán	$BS_1m(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15050	La Paz	$BS_1m(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15137	Tlalnepantla	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7°C).
15092	Tlalnepantla	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre

Clave	Ubicación	Fórmula	Descripción
			5 y 7 °C).
15040	Ecatepec de Morelos	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
15041	Ecatepec de Morelos	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7°C).
9009	Iztacalco	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9056	Iztacalco	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
9036	Iztacalco	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
9026	Iztapalapa	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7°C).

Clave	Ubicación	Fórmula	Descripción
9052	Iztapalapa	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
9017	Gustavo A. Madero	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).
9029	Gustavo A. Madero	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9025	Gustavo A. Madero	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9043	Gustavo A. Madero	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9068	Venustiano Carranza	$BS_0m(w)(k')(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T menor a 22.9 (el más seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente bajo 18 °C, (correspondiendo al subtipo muy frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9007	Venustiano	$BS_{1m}(w)k(i)$	Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior

Clave	Ubicación	Fórmula	Descripción
	Carranza		a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C).
9013	Venustiano Carranza	$C(w_0)(w)b(i)$	Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).

Texcoco fue el municipio en el que se encontró un mayor número de estaciones meteorológicas instaladas, lo que tal vez influyó en que se evidenciara una mayor variación climática, ya del análisis realizado a la información climática se diferenciaron tres tipos climáticos: $C(w_0)$, $C(w_1)$ y BS_1 . La temperatura promedio de las cinco estaciones meteorológicas fue de 15.7 °C, con un rango de 1.4 °C entre estaciones. Con respecto a la precipitación, se encontró una mayor variación, siendo 613.2 mm la precipitación promedio anual, con un rango de 208.5 mm entre estaciones. En todas las estaciones se obtuvo como resultado que el porcentaje de lluvia invernal fue menor al 5% del total anual y con poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).

- Estación Chapingo (15170): $C(w_0)(w)b(i)$ → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.4 °C, con una mínima promedio mensual de 7.6° y una máxima de

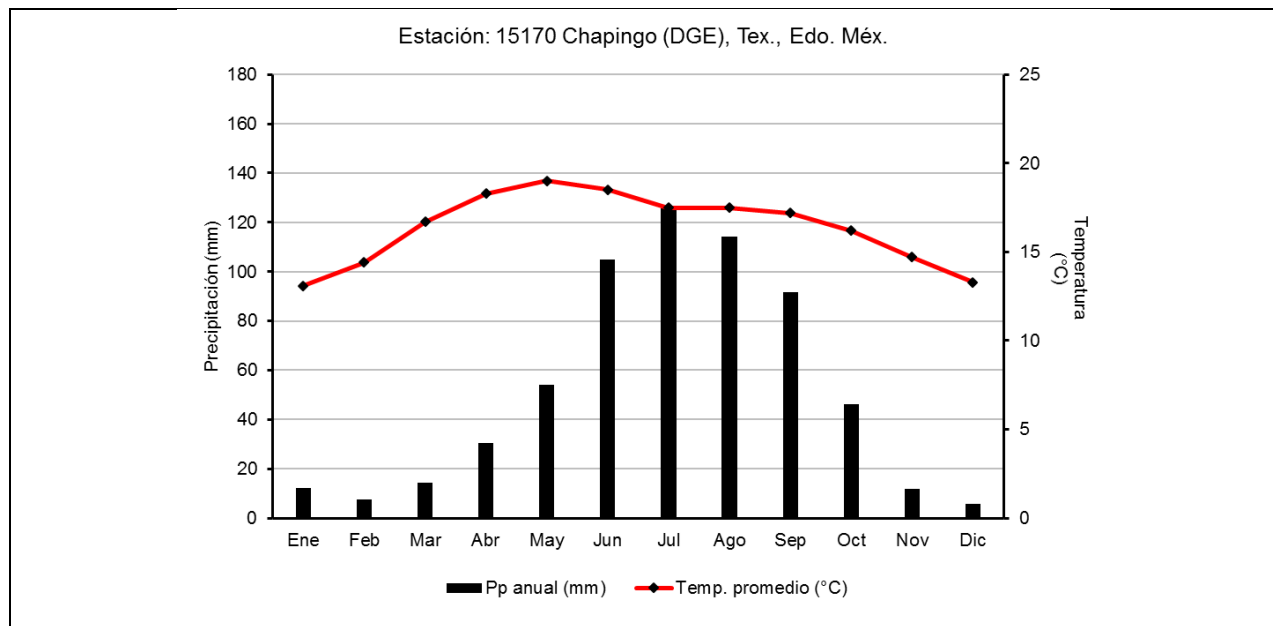
25.1 °C, una precipitación promedio total anual de 618.5 mm, de la cual sólo el 4.1% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 38.7.

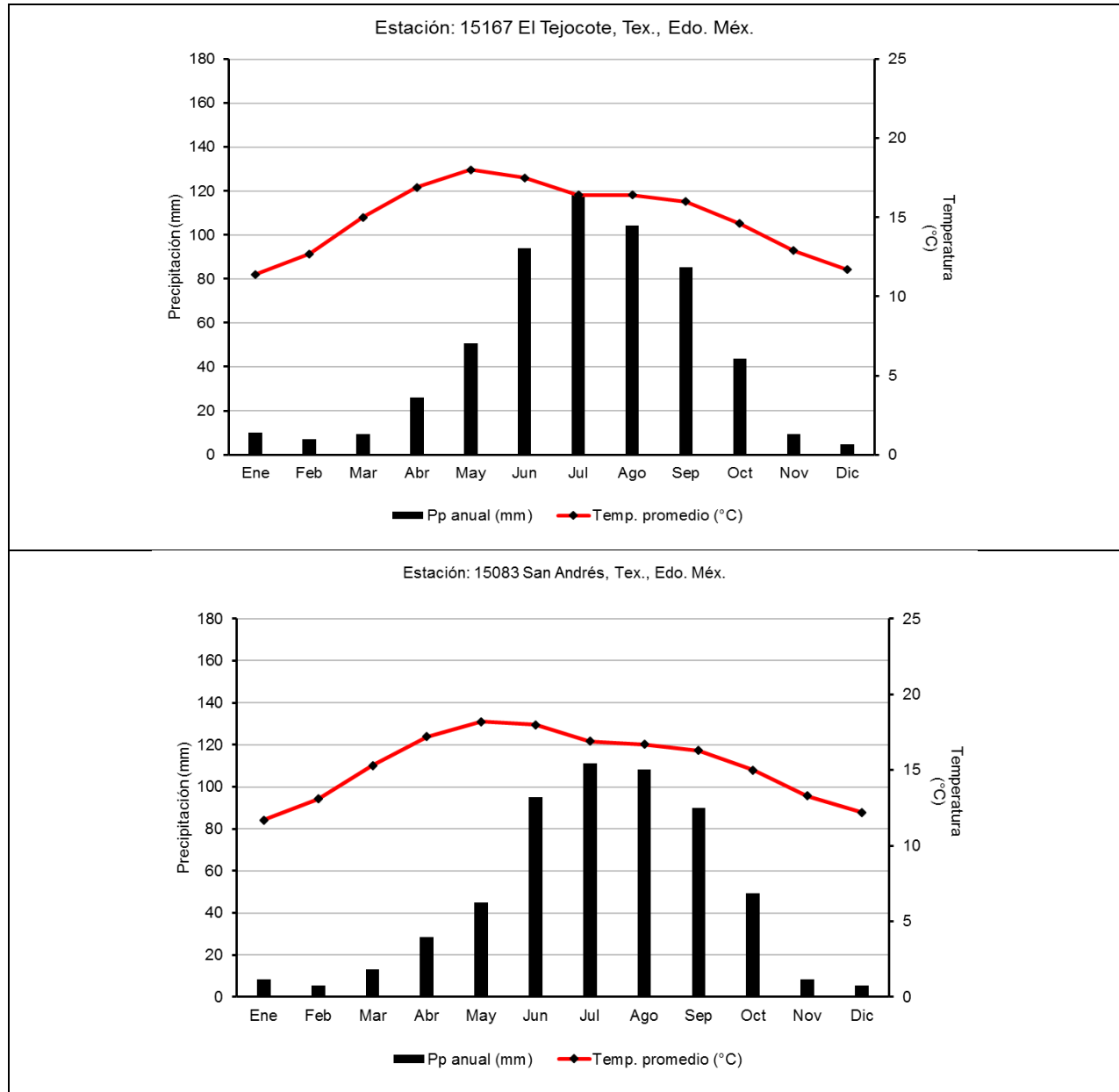
- Estación El Tejocote (15167): $BS_1m(w)k(i)$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 15.0 °C, con una mínima promedio mensual de 6.2° y una máxima de 23.7 °C, una precipitación promedio total anual de 561.9 mm, de la cual sólo el 3.9% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 37.6.
- Estación San Andrés (15083): $BS_1m(w)k(i)$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 15.3 °C, con una mínima promedio mensual de 6.8° y una máxima de 23.9 °C, una precipitación promedio total anual de 568.2 mm, de la cual sólo el 3.4% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 37.1.
- Estación Texcoco (DGE) (15125): $BS_1m(w)k(i)$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y

7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 15.6 °C, con una mínima promedio mensual de 6.1° y una máxima de 25.1 °C, una precipitación promedio total anual de 554.5 mm, de la cual sólo el 3.9% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 35.7.

- Estación Texcoco (SMN) (15163): C(w₁)(w)b(i) → Clima templado subhúmedo con coeficiente de P/T entre 43.5 y 55.3; porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.4 °C, con una mínima promedio mensual de 7.2° y una máxima de 25.7 °C, una precipitación promedio total anual de 762.7 mm, de la cual sólo el 3.5% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 46.4.

La Figura IV–24 muestra el comportamiento de la temperatura promedio mensual y de la precipitación total mensual obtenida de la base de datos analizada para estas cinco estaciones meteorológicas.





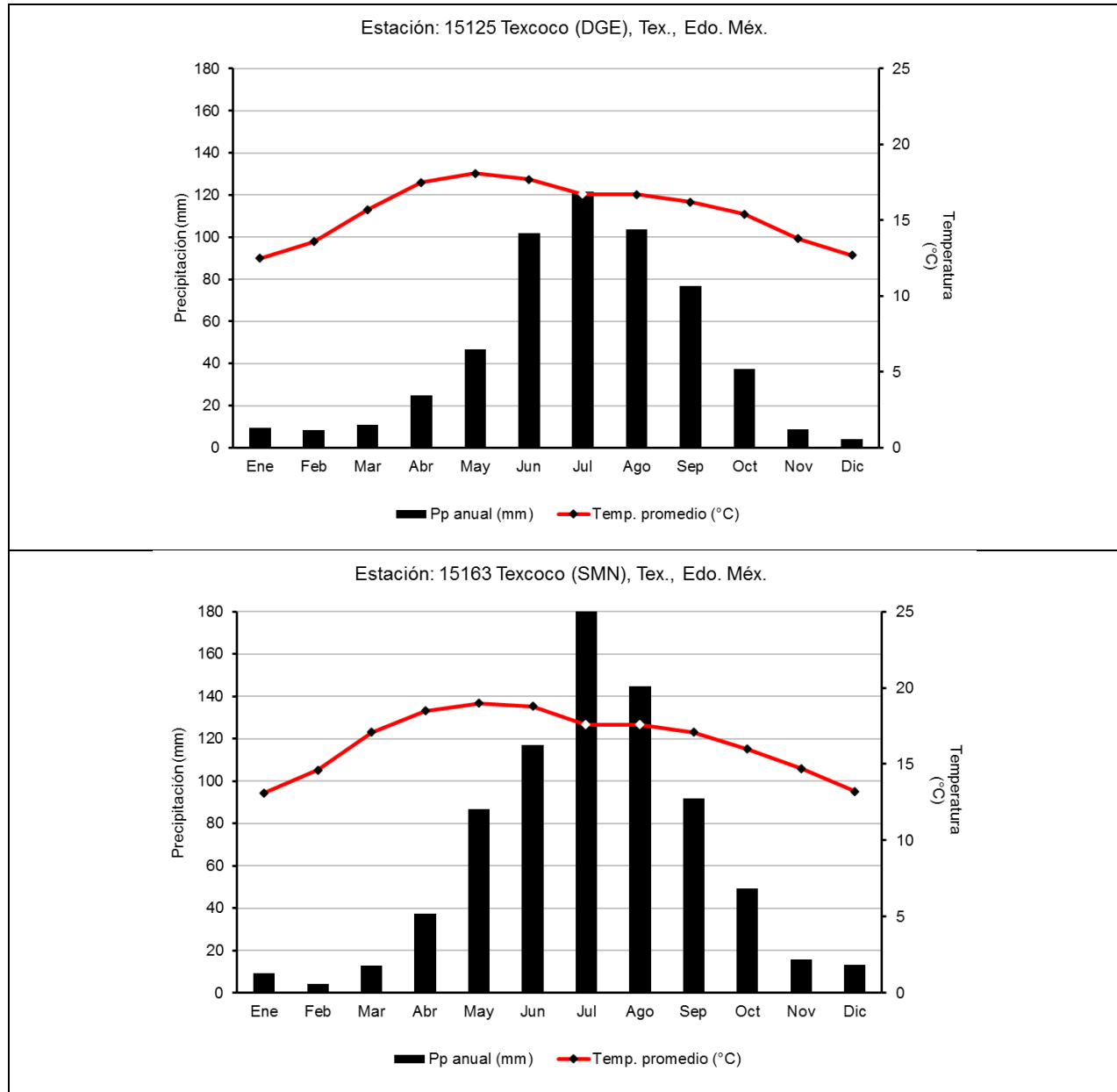


Figura IV—24. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en el municipio de Texcoco, Estado de México.

Dentro de las estaciones meteorológicas analizadas pertenecientes al Estado de México están las tres de Tlalnepantla, dos de Ecatepec y las de Atenco, Chimalhuacán y La Paz. De estas se puede ver que se trata de un área del Estado de México que

presenta una variación climática similar a la presentada tan solo en el municipio de Texcoco. Por un lado, en Tlalnepantla se tienen los tipos climáticos $C(w_0)$ y $C(w_1)$ y, por el otro, están los municipios de Ecatepec con los tipos $C(w_0)$ y BS_1 , seguido por los municipios de Atenco, Chimalhuacán y La Paz con BS_1 . Entre las estaciones meteorológicas de estos municipios se tiene una temperatura promedio anual de 16.1 °C, con un rango de 1.6 °C; y, con respecto a la precipitación, se alcanzan 597.3 mm anuales en promedio, con un rango de 145.0 mm. En Amealco, Tlalnepantla, es donde se registró la mayor precipitación promedio anual (695.0 mm) de las pertenecientes al Estado de México y, en la de Los Reyes, La Paz, donde se tuvo la menor precipitación promedio (550.0 mm).

- Estación Amealco (15137): $C(w_0)(w)b(i)$ → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.5 °C, con una mínima promedio mensual de 9.0° y una máxima de 24.1 °C, una precipitación promedio total anual de 695.0 mm, de la cual sólo el 1.5% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 42.1.
- Estación San Juan Ixhuatepec (15092): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.4 °C, con una mínima promedio mensual de 8.8° y una máxima de 23.9 °C, una precipitación promedio total anual de 628.0

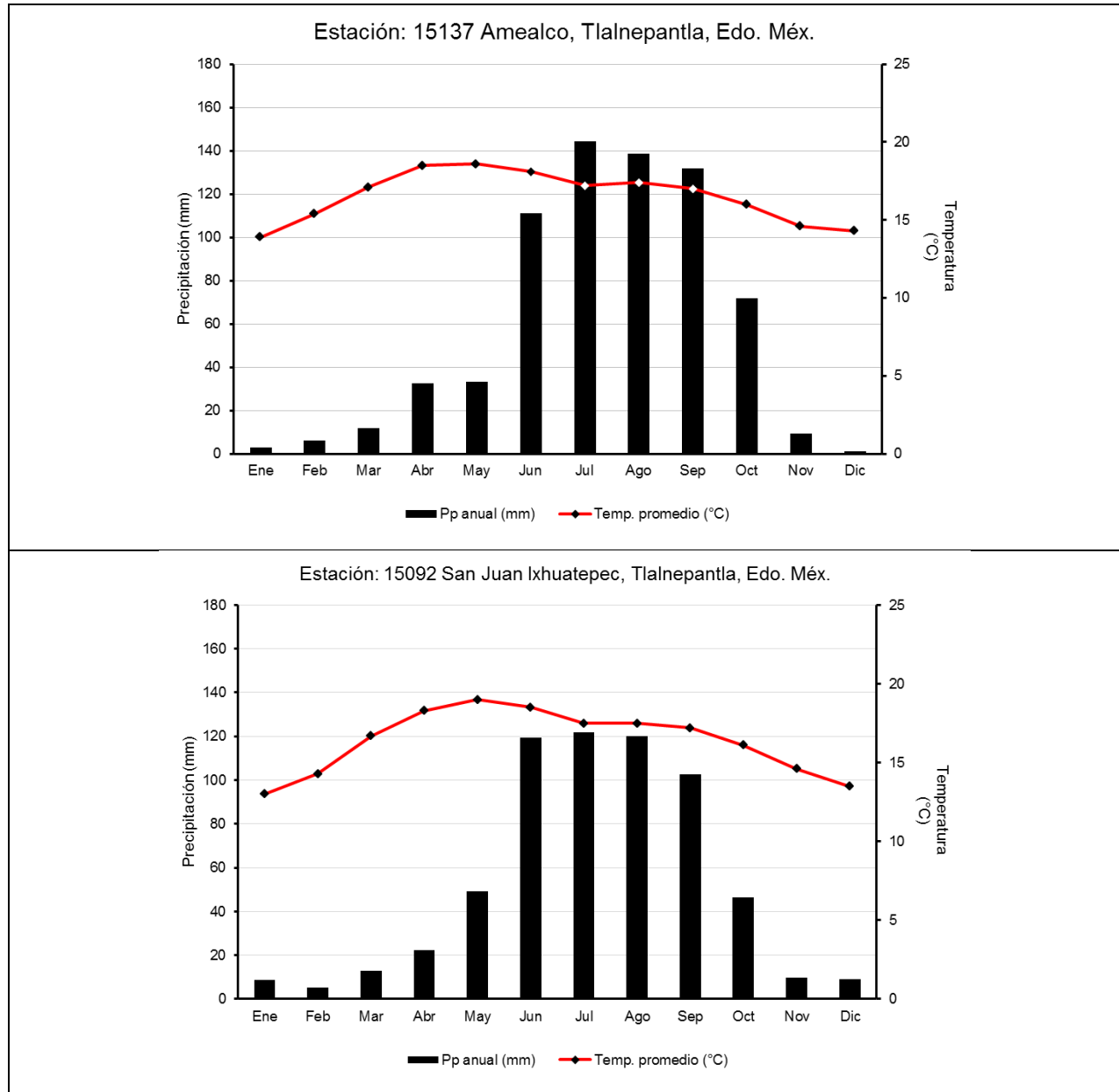
mm, de la cual sólo el 3.6% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 38.4.

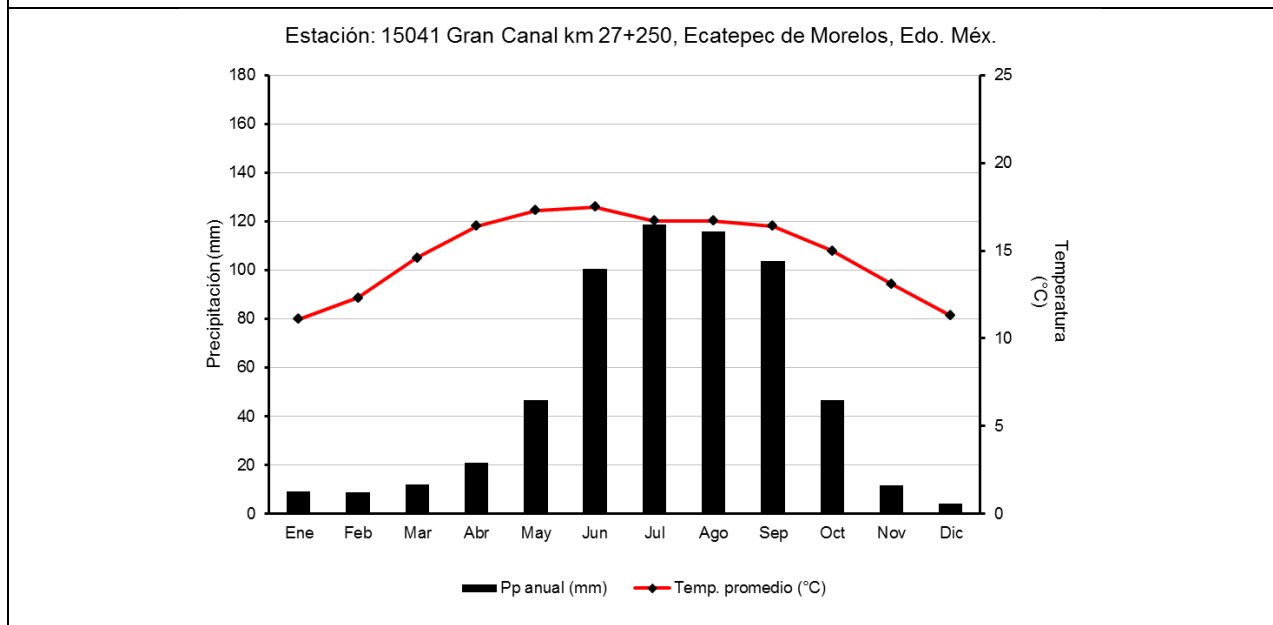
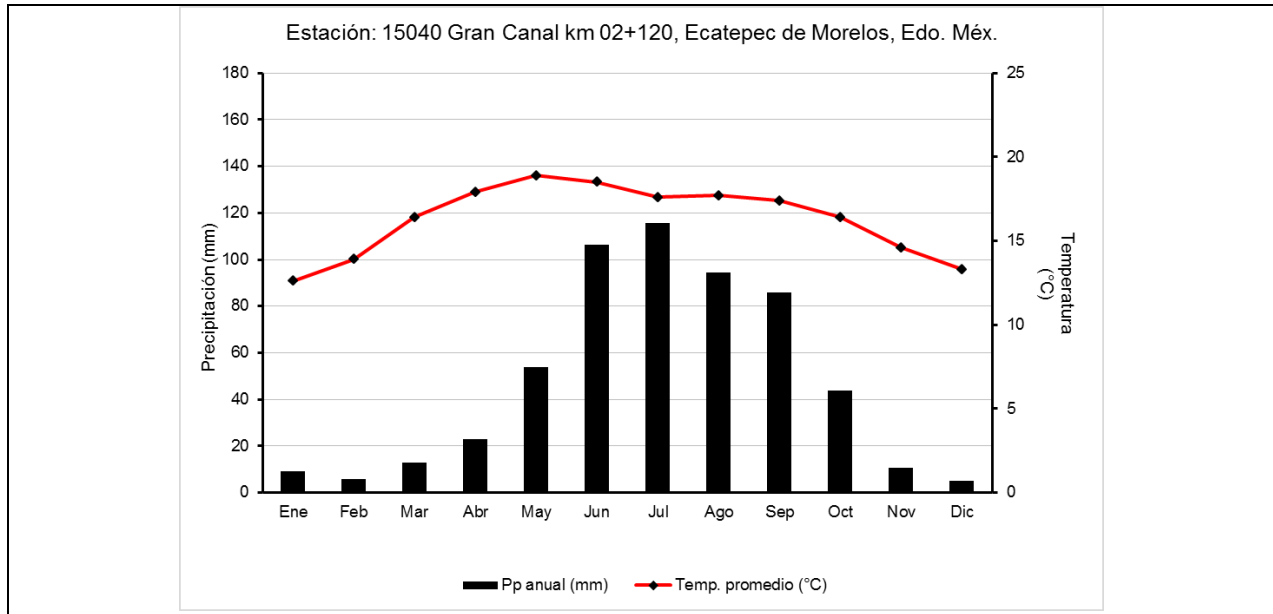
- Estación Gran canal km 02+120 Bombas (15040): $BS_{1m}(w)k(i)$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.2 °C, con una mínima promedio mensual de 7.9° y una máxima de 24.6 °C, una precipitación promedio total anual de 566.7 mm, de la cual sólo el 3.5% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 34.8.
- Estación Gran Canal km 27+250 (15041): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 14.9 °C, con una mínima promedio mensual de 5.7° y una máxima de 24.1 °C, una precipitación promedio total anual de 599.2 mm, de la cual sólo el 3.7% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 40.3.
- Estación Atenco (SMN) (15008): $BS_{1m}(w)k(i)$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5

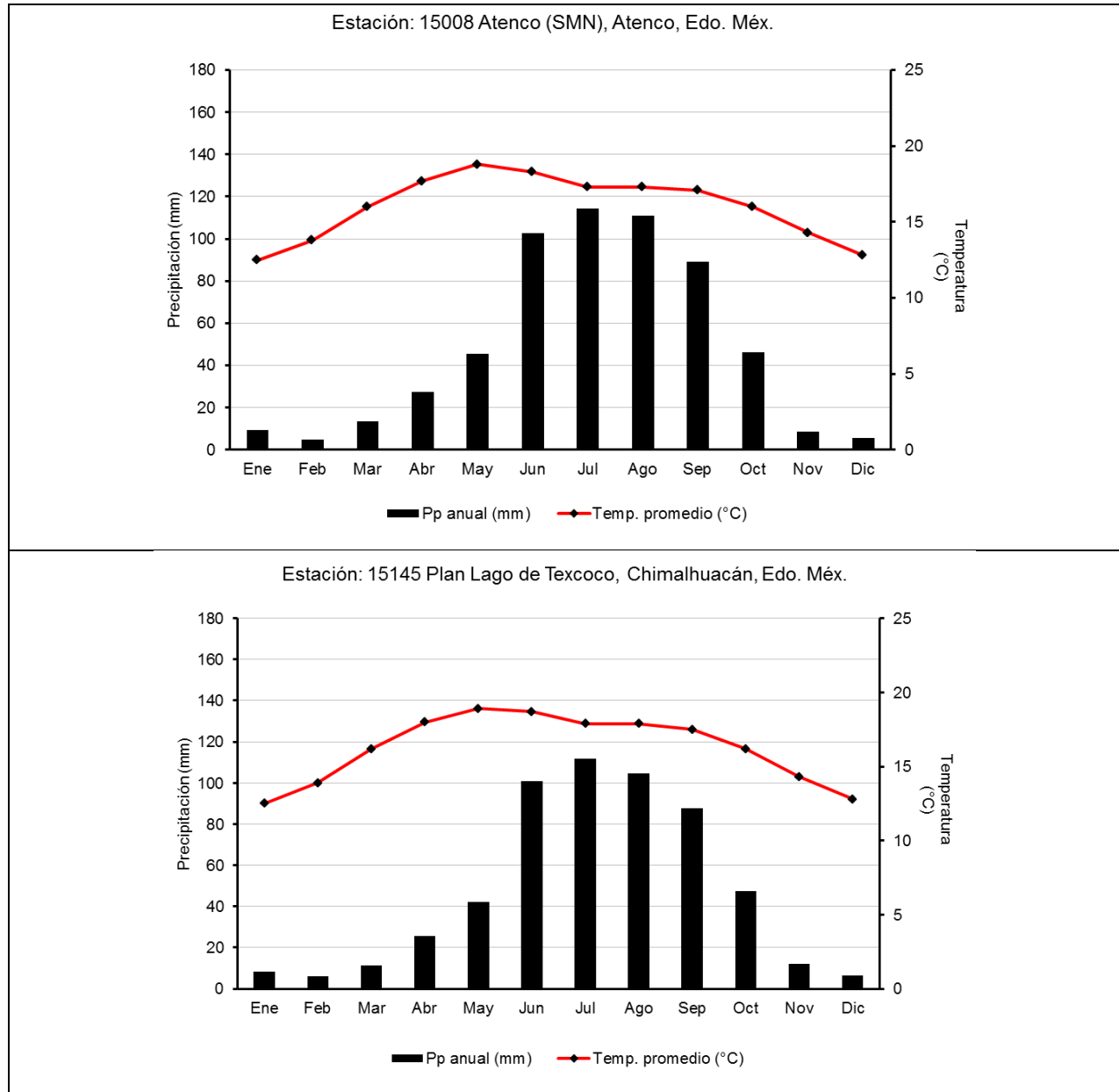
y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.0 °C, con una mínima promedio mensual de 6.9° y una máxima de 25.1 °C, una precipitación promedio total anual de 577.7 mm, de la cual sólo el 3.4% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 36.1.

- Estación Plan Lago de Texcoco (15145): BS₁m(w)k(*f*) → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.2 °C, con una mínima promedio mensual de 7.7° y una máxima de 24.8 °C, una precipitación promedio total anual de 564.6 mm, de la cual sólo el 3.7% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 34.8.
- Estación Los Reyes (15050): BS₁m(w)k(*f*) → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.4 °C, con una mínima promedio mensual de 8.5° y una máxima de 24.4 °C, una precipitación promedio total anual de 550.0 mm, de la cual sólo el 4.0% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 33.5.

La Figura IV–25 muestra el comportamiento de la temperatura promedio mensual y de la precipitación total mensual obtenida de la base de datos analizada para estas cinco estaciones meteorológicas.







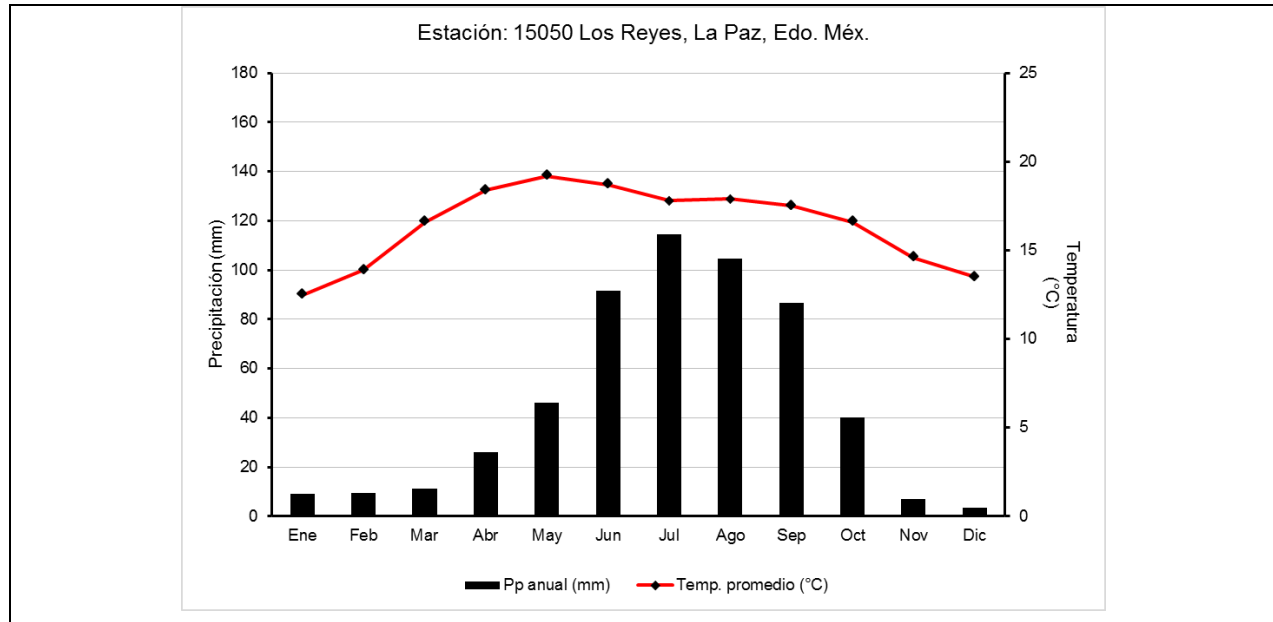


Figura IV—25. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec, Atenco, Chimalhuacán y La Paz, Estado de México.

En relación con las estaciones meteorológicas analizadas de las delegaciones de la Ciudad de México se tiene que, las ubicadas en las delegaciones de Iztacalco e Iztapalapa mostraron una gran uniformidad climática, perteneciente a un clima templado, excepto por la estación de la Col. Agrícola Oriental, que resultó con un clima semiárido con lluvias en verano (BS₁). La temperatura promedio anual fue de 17.42 °C, y la precipitación de 643.17 mm, con un rango de 171.2 mm. Todas mostraron un régimen de precipitación en verano, un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% de la total y con poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C).

- Estación Col. Agrícola Oriental (9009): BS₁m(w)k(*l*) → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes

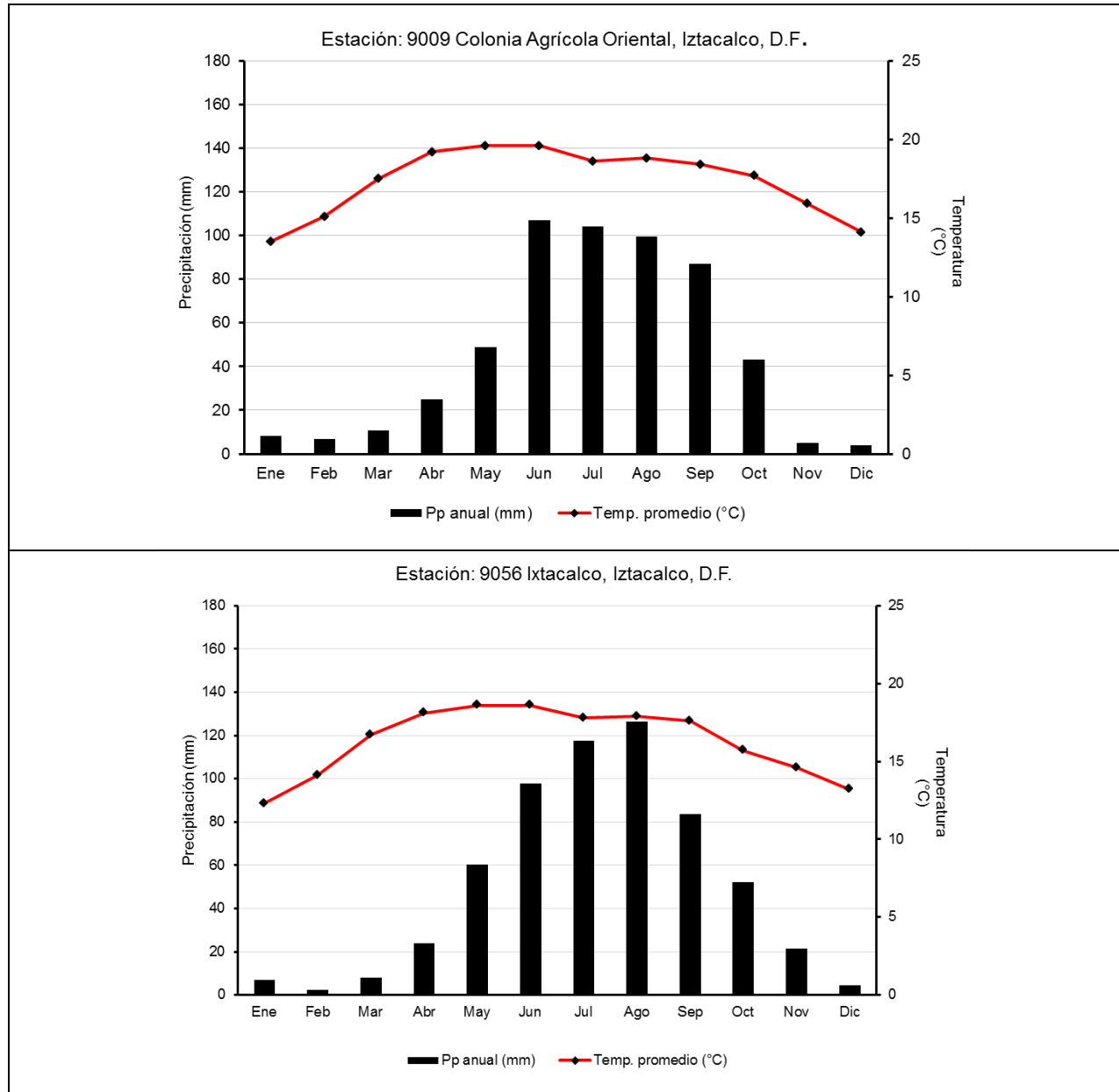
más frío entre -3° y 18° °C y la del mes más caliente superior a 18° °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5° y 7° °C). Tiene una temperatura promedio anual de 17.3° °C, con una mínima promedio mensual de 9.6° y una máxima de 25.1° °C, una precipitación promedio total anual de 549.6 mm, de la cual sólo el 3.5% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 31.7.

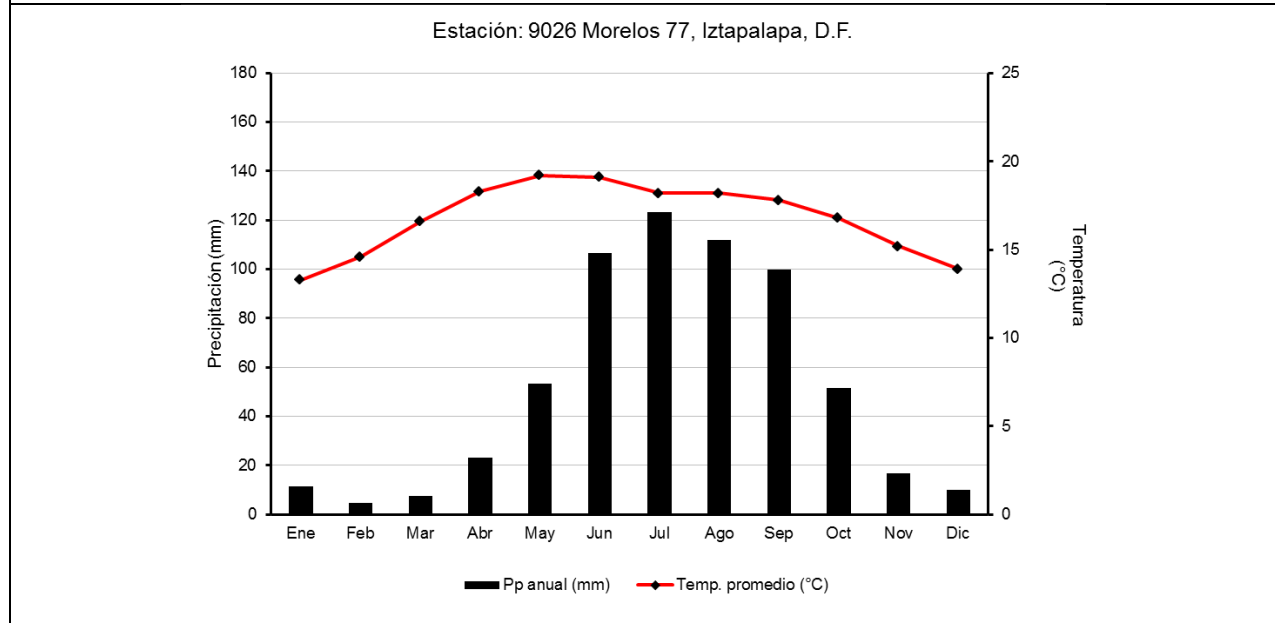
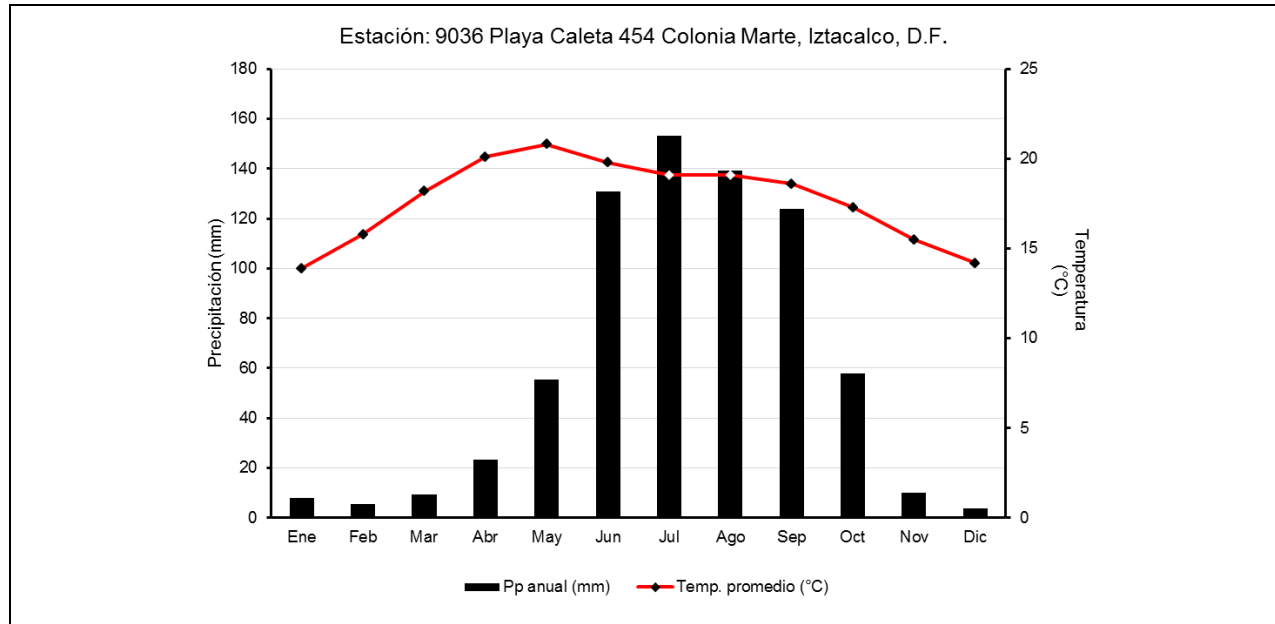
- Estación Ixtacalco (9056): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18° °C y del mes más frío entre -3° y 18° °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22° °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5° y 7° °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.3° °C, con una mínima promedio mensual de 7.3° y una máxima de 25.3° °C, una precipitación promedio total anual de 604.9 mm, de la cual sólo el 2.2% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 37.2.
- Estación Playa Caleta 454 Col. Marte (9036): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18° °C y del mes más frío entre -3° y 18° °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22° °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5° y 7° °C). Tiene una temperatura promedio anual de 17.7° °C, con una mínima promedio mensual de 10.1° y una máxima de 25.3° °C, una precipitación promedio total anual de 720.8 mm, de la cual sólo el 2.4% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 40.7.
- Estación Morelos 77 (9026): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes

más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.8 °C, con una mínima promedio mensual de 8.4° y una máxima de 25.1 °C, una precipitación promedio total anual de 620.0 mm, de la cual sólo el 4.2% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 37.0.

- Estación Unidad Modelo (9052): $C(w_0)(w)b(i)$) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 18.1 °C, con una mínima promedio mensual de 8.8° y una máxima de 27.3 °C, una precipitación promedio total anual de 720.6 mm, de la cual sólo el 3.2% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 39.9.

La Figura IV–26 muestra el comportamiento de la temperatura promedio mensual y de la precipitación total mensual obtenida de la base de datos analizada para estas cinco estaciones meteorológicas.





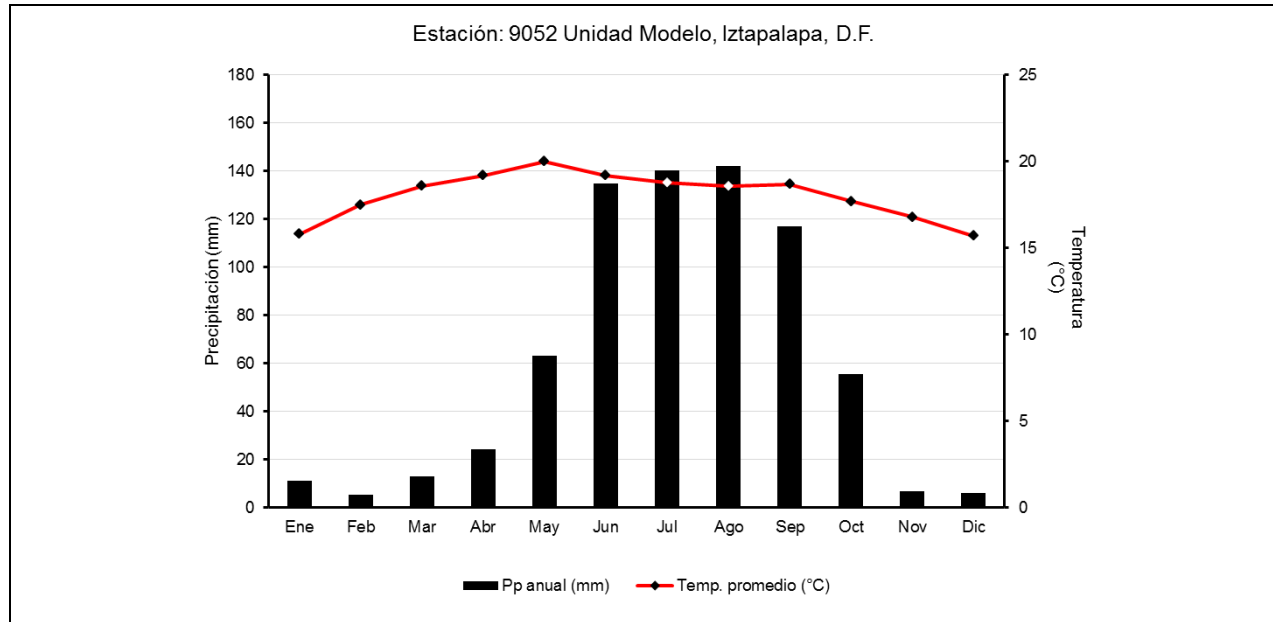


Figura IV—26. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las delegaciones Iztacalco e Iztapalapa de la Ciudad de México.

Por otro lado, en las siete estaciones meteorológicas restantes de las otras dos delegaciones, se encontraron climas pertenecientes a templado subhúmedo [C(w₀)] y semiárido con lluvias en verano (BS₁ y BS₀). En la delegación Gustavo A. Madero se encontró poca variación en la temperatura media anual (entre 16.3° y 16.8 °C), caso contrario en la Venustiano Carranza, la cual presentó una variación entre estaciones de 15° y 18.4 °C. Un comportamiento similar se obtuvo con respecto a la precipitación promedio anual, donde en la Gustavo A. Madero ésta fue entre 599.3 y 621.2 mm y, en la Venustiano Carranza resultó ser de 335.6 a 675.2 mm. Cabe mencionar que para ambas variables los menores valores se encontraron en la estación “Puente La Llave”, de la Venustiano Carranza, misma que resultó con un clima BS₀.

- Estación Cuauhtepac Barrio Bajo (9017): C(w₀)(w)b(i)) → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los

subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.6 °C, con una mínima promedio mensual de 9.2° y una máxima de 24.0 °C, una precipitación promedio total anual de 621.2 mm, de la cual sólo el 2.1% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 37.5.

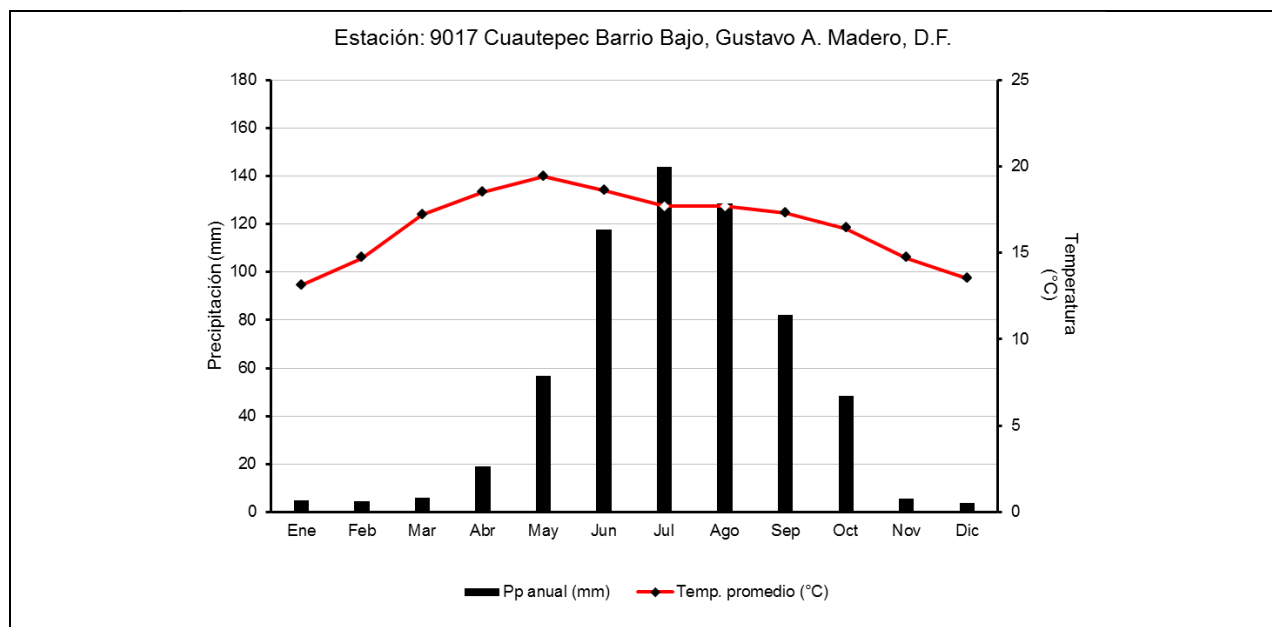
- Estación Gran Canal km 06+250 (9029): BS₁m(w)k(*r*) → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.8 °C, con una mínima promedio mensual de 8.8° y una máxima de 24.8 °C, una precipitación promedio total anual de 604.9 mm, de la cual sólo el 3.3% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 36.0.
- Estación Hacienda La Patera (9025): BS₁m(w)k(*r*) → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.3 °C, con una mínima promedio mensual de 8.7° y una máxima de 23.8 °C, una precipitación promedio total anual de 591.5 mm, de la cual sólo el 3.3% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 36.4.

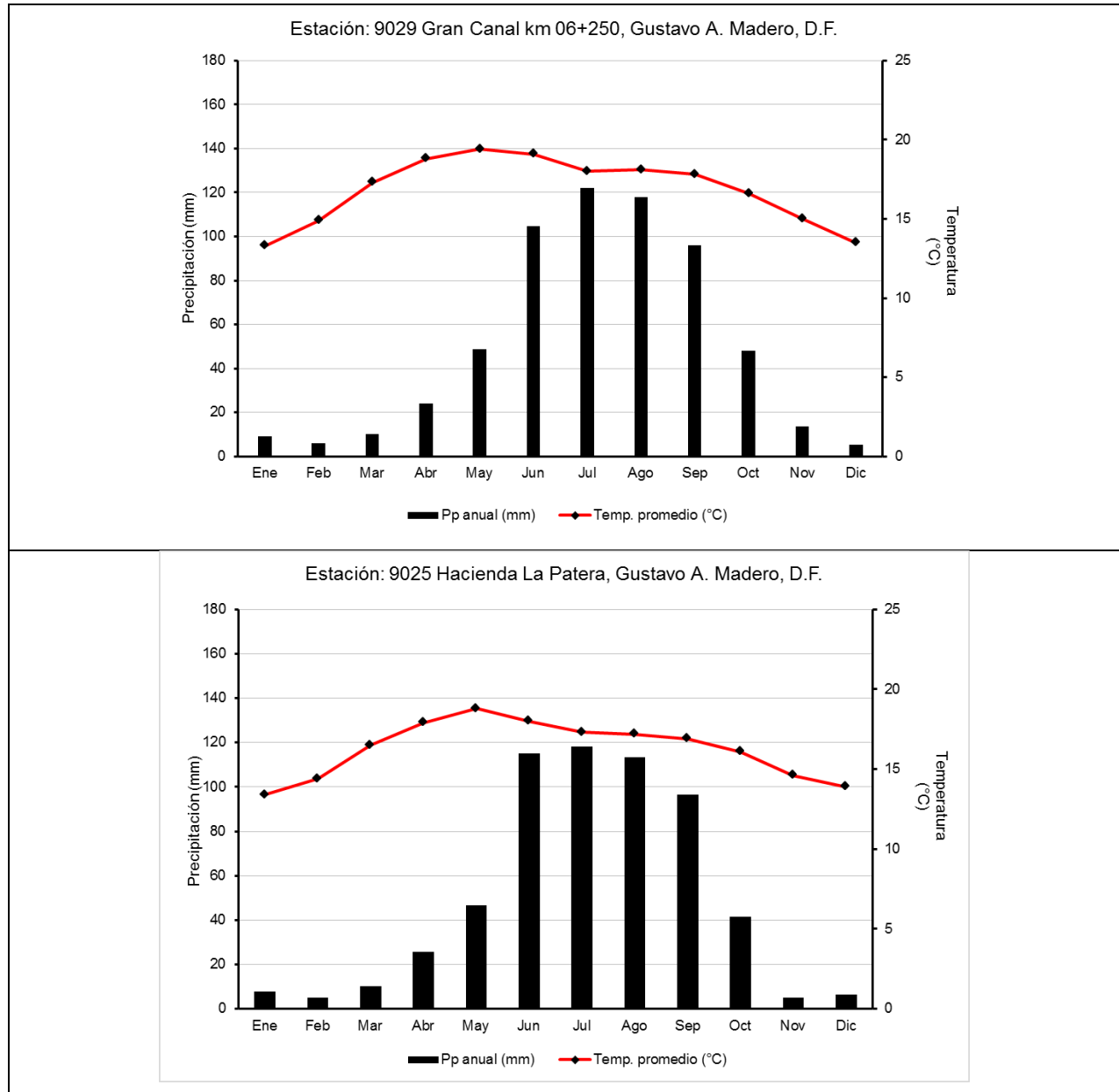
- Estación San Juan de Aragón (9043): $BS_{1m(w)k(i)}$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 16.7 °C, con una mínima promedio mensual de 8.2° y una máxima de 25.2 °C, una precipitación promedio total anual de 599.3 mm, de la cual sólo el 3.9% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 35.9.
- Estación Cincel 42 (9007): $BS_{1m(w)k(i)}$ → Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T superior a 22.9 (el menos seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente superior a 18 °C (correspondiendo al subtipo frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 17.6 °C, con una mínima promedio mensual de 10.1° y una máxima de 25.2 °C, una precipitación promedio total anual de 628.4 mm, de la cual sólo el 2.6% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 35.7.
- Estación Col. Moctezuma (9013): $C(w_0)(w)b(i)$ → Clima templado subhúmedo con coeficiente P/T menor a 43.5 (el más secos de los subhúmedos), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5% del total anual; precipitación de mes más seco menor de 40 mm; temperatura media anual entre 12° y 18 °C y del mes más frío entre -3° y 18 °C y del mes más caliente entre 6.5° y 22 °C, y poca oscilación de la temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 18.4 °C, con una mínima promedio mensual de 10.4° y una máxima de

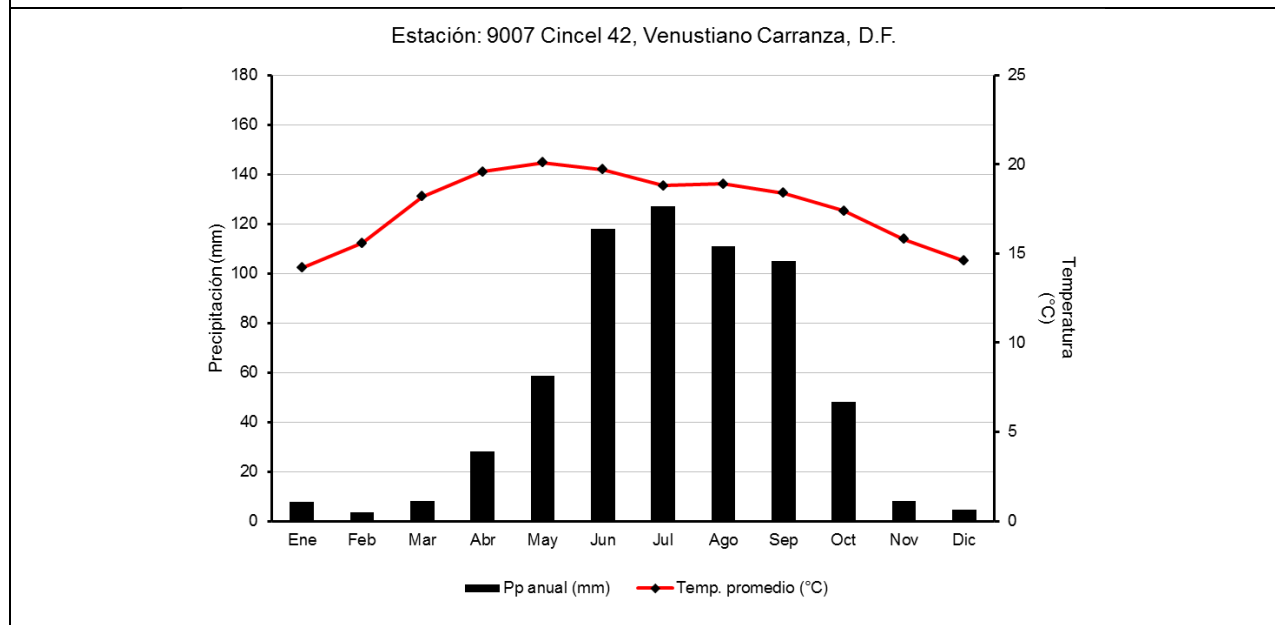
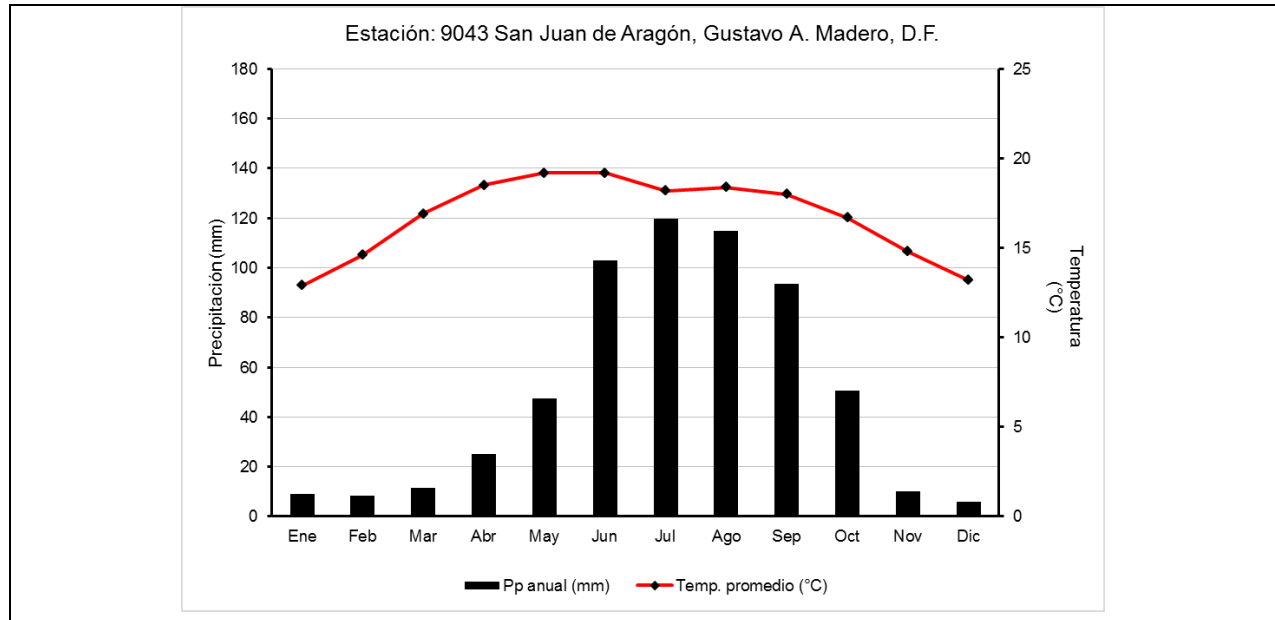
26.3 °C, una precipitación promedio total anual de 675.2 mm, de la cual sólo el 3.8% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 36.8.

- Estación Puente La Llave (9068): BS₀m(w)(k')(i)→ Semiárido con lluvias en verano, coeficiente P/T menor a 22.9 (el más seco de los BS); al menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3° y 18 °C y la del mes más caliente bajo 18 °C, (correspondiendo al subtipo muy frío), y con poca oscilación de temperatura (entre 5 y 7 °C). Tiene una temperatura promedio anual de 15.0 °C, con una mínima promedio mensual de 6.0° y una máxima de 24.0 °C, una precipitación promedio total anual de 335.6 mm, de la cual sólo el 4.8% cae en la época invernal, y un coeficiente P/T igual a 22.4.

La Figura IV–27 muestra el comportamiento de la temperatura promedio mensual y de la precipitación total mensual obtenida de la base de datos analizada para estas siete estaciones meteorológicas.







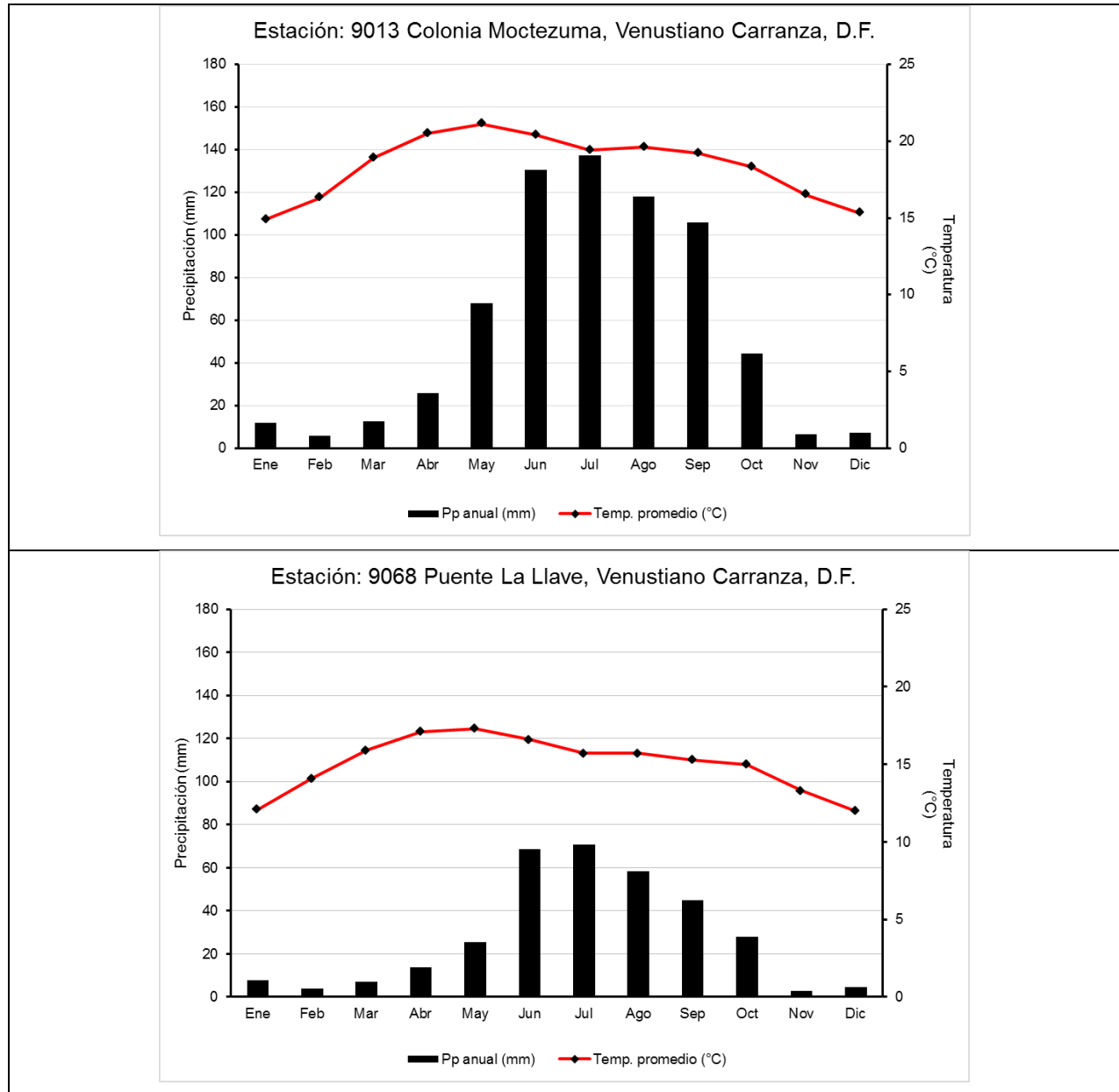


Figura IV—27. Climogramas obtenidos del análisis de la base de datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza, Ciudad de México.

IV.2.1.1.2 Temperaturas máximas y mínimas, precipitación y evaporación

A) Temperaturas máximas y mínimas

El valor promedio de las temperaturas normales máximas y mínimas anuales fueron de 24.8° y 8.1 °C, respectivamente, con un mayor rango entre la máxima y la mínima entre estaciones para la temperatura mínima con 4.7° contra 3.6 °C para la temperatura máxima (Tabla IV–8). La temperatura mínima normal anual se registró en Ecatepec y la máxima normal en la delegación Iztapalapa. Entre estas dos variables la temperatura máxima normal es la que muestra menor variabilidad entre estaciones (3.5 vs 16.8%).

B) Precipitación

La precipitación se puede presentar en forma líquida (lluvia y llovizna) y sólida (granizos y nieve). A nivel nacional, las precipitaciones que mayor volumen de agua descargan es la líquida, sumando la lluvia y la llovizna. A nivel nacional, las precipitaciones que mayor volumen de agua descargan es la líquida, sumando la lluvia y la llovizna.

Éstas se clasifican en cuatro tipos, de acuerdo a su formación: ciclónica, frente cálido, orográfica y la convectiva. La primera ocurre por el levantamiento de aire por una baja de presión atmosférica. La segunda es el resultado de la subida de una masa de aire caliente por encima de un aire frío. La orográfica se da cuando existe una barrera que provoca una elevación del viento proveniente del mar. Y, la convectiva que se da por el movimiento del aire por diferencia de temperatura originada por la temperatura del medio ambiente.

Los dos últimos tipos de precipitación mencionados son los que se tienen en el Valle de México, incluso la precipitación topográfica es la que representa las mayores precipitaciones a nivel nacional. En la zona metropolitana de la Ciudad de México la precipitación topográfica se presenta por efecto de los vientos húmedos provenientes

del Golfo de México y del océano Pacífico, donde el sistema montañoso del Eje Neovolcánico provoca una elevación del viento generando la descarga de agua en el Valle. Por otro lado, la precipitación convectiva, la de menor incidencia, se presenta por efecto del calentamiento del viento debido a la generación de calor a nivel de suelo por efecto de las actividades en la zona metropolitana.

Como se puede observar del análisis realizado en las 24 estaciones meteorológicas, la precipitación promedio anual resultó ser de 605 mm, con una máxima y mínima de 762.7 y 335.6 mm anuales, respectivamente. Éstas se presentan de manera estacional, cayendo la mayor cantidad de volumen de agua entre los meses de mayo a octubre (Figuras IV-24, IV-25, IV-26 y IV-27).

De los 365 días del año, se encontró que entre las estaciones meteorológicas se tiene en promedio 94.5 eventos. No existe una gran uniformidad en esta variable entre las estaciones meteorológicas analizadas (12.1% de variabilidad), mostrando un rango de 43.2 días con lluvia (Tabla IV-8). Fue la estación de Chapingo donde se registró un mayor número de días con lluvias (110.7) y, por lo contrario, en la estación Puente La Llave de la delegación Venustiano Carranza fue donde menos días con lluvia se registraron (67.5).

Tabla IV-8. Temperaturas máximas y mínimas promedio anuales, evaporación y días con lluvia en las estaciones meteorológicas ubicadas en el sistema ambiental regional definido para el proyecto.

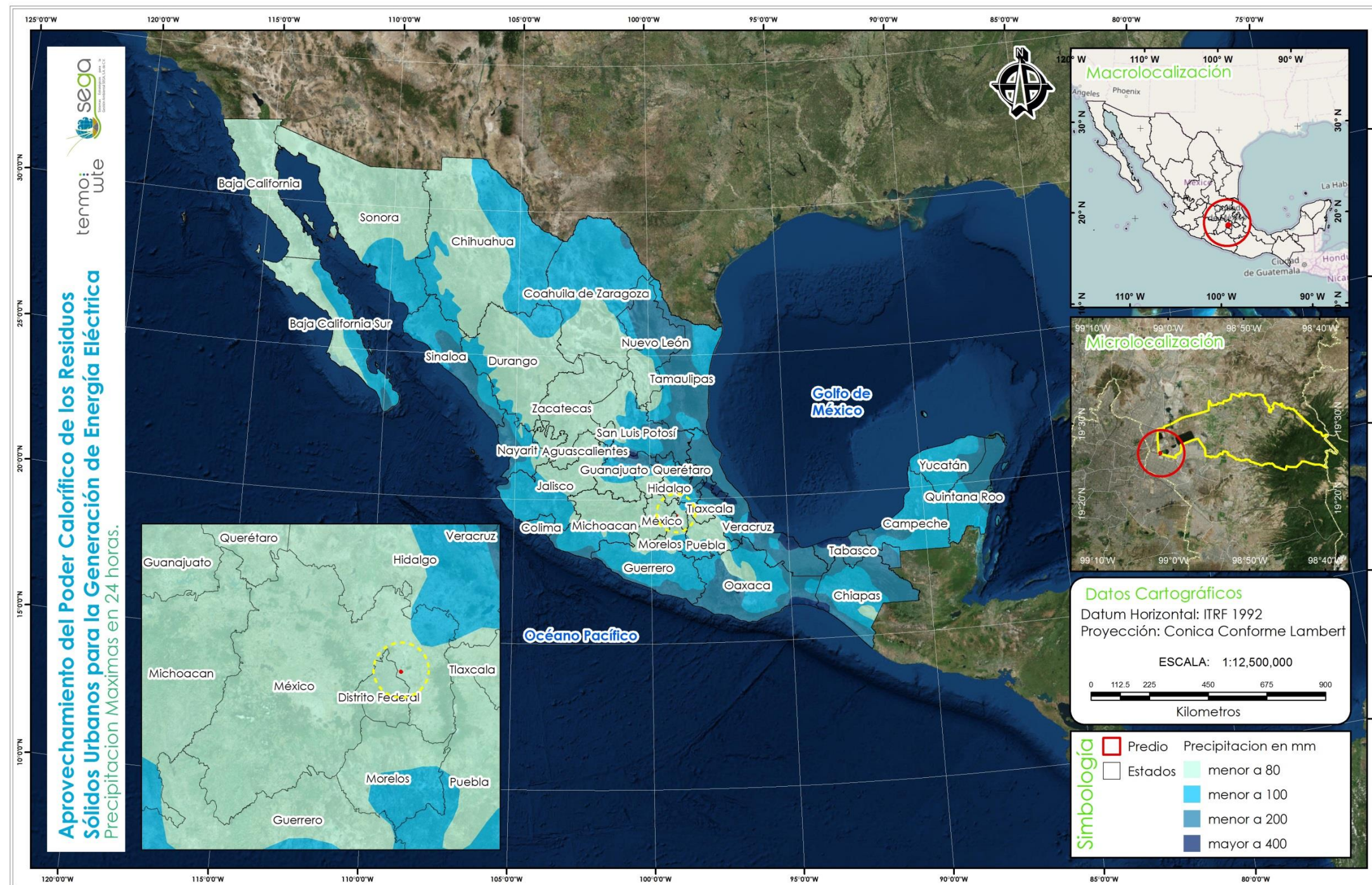
Clave	Estación	Temperatura (°C)		Lluvias (d)	Evaporación (mm)
		Máxima	Mínima		
15170	Chapingo	25.1	7.6	110.7	1570.7
15167	El Tejocote	23.7	6.2	90.8	1787.0
15083	San Andrés	23.9	6.8	106.9	1640.3
15125	Texcoco (DGE)	25.1	6.1	98.7	1723.6
15163	Texcoco (SMN)	25.7	7.2	81.7	---
15008	Atenco (SMN)	25.1	6.9	106.7	1902.3
15145	Plan Lago de Texcoco	24.8	7.7	104.7	2037.9

Clave	Estación	Temperatura (°C)		Lluvias (d)	Evaporación (mm)
		Máxima	Mínima		
15050	Los Reyes	24.4	8.5	94.3	1872.2
15137	Amealco	24.1	9.0	---	---
15092	San Juan Ixhuatepec	23.9	8.8	96.9	1770.9
15040	Gran Canal km 02+120 Bombas	24.6	7.9	91.1	1889.8
15041	Gran Canal km 27+250	24.1	5.7	91.5	1754.6
9009	Col. Agrícola Oriental	25.1	9.6	85.1	---
9056	Ixtacalco	25.3	7.3	89.1	1479.6
9036	Playa Caleta 454	25.3	10.1	101.3	---
9026	Morelos 77	25.1	8.4	100.5	1690.7
9052	Unidad Modelo	27.3	8.8	98.5	---
9017	Cuautepec	24.0	9.2	68.0	---
9029	Gran Canal km 06+250	24.8	8.8	98.6	1611.0
9025	Hacienda La Patera	23.8	8.7	85.2	---
9043	San Juan de Aragón	25.2	8.2	102.9	1318.8
9068	Puente La Llave	24.0	6.0	67.5	---
9007	Cinzel 42	25.2	10.1	107.8	1482.2
9013	Colonia Moctezuma	26.3	10.4	95.7	---
Valor promedio		24.8	8.1	94.5	1702.1
Valor máximo		27.3	10.4	110.7	2037.9
Valor mínimo		23.7	5.7	67.5	1318.8
Coeficiente de variación (%)		3.5	16.8	12.1	11.2

Lluvia máxima esperada en 24 horas

Es innegable y bien conocido y sabido los beneficios que se tienen con las precipitaciones, sin embargo, también son factor de riesgos para la sociedad y el medio ambiente, principalmente cuando éstas son intensas, se presentan por largo periodo y/o se acompañan de fuertes vientos. En este caso, en las zonas costeras del país las precipitaciones, principalmente las ciclónicas, pueden llegar a dejar más de 400 mm en 24 horas (Figura IV-28). La cuenca del Valle de México se ubica en una franja donde se esperan precipitaciones máximas de hasta 80 mm, siendo la franja de menor precipitación máxima esperada en un día, pero muy cerca de la isolinia de los 100 mm. De acuerdo con el CENAPRED (2001a), en un periodo de 56 años (de 1941 a

1997), la precipitación máxima registrada en 24 h en las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztacalco, Venustiano Carranza e Iztapalapa ha sido de 90 mm; en los municipios de Ecatepec, La Paz, Nezahualcóyotl, Texcoco y Tlalnepantla de 100 mm y, en Atenco de 95 mm. Valores muy por debajo de los 411 mm caídos en Acapulco de Juárez, valor máximo reportado hasta ahora a nivel nacional.



Fuente: Adaptado de CENAPRED (2001a).

Figura IV—28. Precipitación máxima esperada en 24 horas a nivel nacional, con ubicación del área del proyecto en cuestión.

Granizadas

Las granizadas son un caso especial de precipitación resultado del violento movimiento convectivo existente durante el desarrollo de una tormenta. Esto se debe a las fuertes corrientes verticales de aire que arremolinan las gotas de lluvia por encima y por debajo del punto de congelación del agua. Entonces su origen está estrechamente relacionado con las nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbos), que se forman durante la estación lluviosa de verano principalmente en las partes altas de la nube donde la temperatura es baja (Dirección General de Protección del Estado de México, 2015).

Puesto que dichas tormentas son comunes cuando hay nubes de desarrollo vertical, se esperaría que las zonas montañosas sean mayormente afectadas, siendo en los valles un tanto ocasional o repentina su ocurrencia. Pero contradictoriamente, aunque sean menos frecuentes e intensas las granizadas, es en los valles donde hacen más daño, por ejemplo, en zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría y en las regiones urbanas afecta viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso de agua y general inundaciones durante algunas horas.

Con base en los mapas de granizadas elaborados en el Atlas Nacional de Riesgos (<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/app/fenomenos/>), en el SAR delimitado para el proyecto la probabilidad de la ocurrencia de tormentas de granizo durante el año va de alta a muy alta. Dentro de los límites del SAR existen áreas con un mayor potencial de presentar mayor número de granizadas al año que otras (Figura IV–29); al noreste y este del SAR existen dos áreas con un potencial de entre 8 y 12 granizadas por año; sin embargo, en la mayor superficie del SAR el potencial está entre 4 y 8 eventos anuales. El AI del proyecto se encuentra en una zona donde el potencial está entre 2 y 4 granizadas al año.

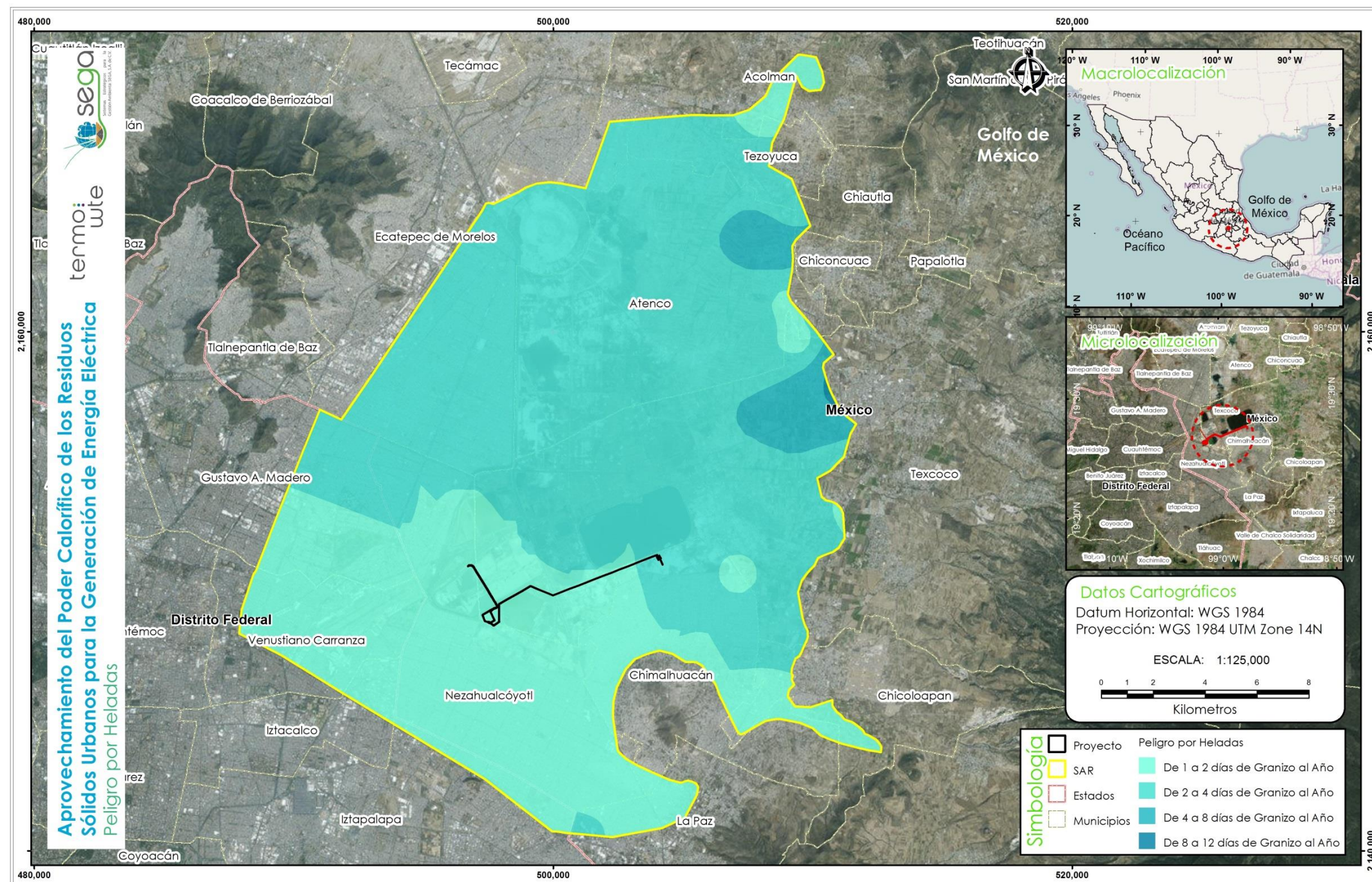


Figura IV—29. Diferenciación del potencial de granizadas dentro del sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.

Heladas

En el país existen áreas donde es más común la presencia de heladas, principalmente durante la época invernal. Una helada ocurre cuando la temperatura del aire cercano al suelo disminuye a 0°C o menos, durante un periodo mayor a cuatro horas (CENAPRED, 2001b). Por lo que, debido a la variación de la temperatura durante el día, es más común que éstas se presenten en las primeras siete horas del día, previo a la salida del sol.

Entre los factores que inciden para la formación de heladas están la nubosidad, humedad atmosférica, radiación solar y el viento. Para el caso de este último, un factor que favorece la generación de una helada es la falta de viento, ya que reduce la posibilidad de que el aire más caliente, normalmente el más alejado del suelo, se mezcle con el aire más frío que está cerca del suelo. Sin embargo, la condición orográfica, época del año, viento y temperatura pueden favorecer la formación de heladas debido al proceso de inversión térmica (CENAPRED, 2001b). No obstante lo anterior, el viento no es factor determinante para la formación de heladas, en la generadas por advección, formadas por masas de aire frío de origen continental, la velocidad del viento es de moderado a alto ($> 15 \text{ km h}^{-1}$), siendo más comunes su formación en zona de valles.

Si bien en México las regiones mayormente afectadas por heladas se ubican en la Mesa Central del Altiplano, por efectos del aire polar continental, en el eje neovolcánico también se tienen estas formaciones y sus efectos en la población y en la producción agropecuaria. De acuerdo con el CENAPRED (2001b), en ciertas áreas de los estados de México, Tlaxcala y Puebla se llegan a tener más de 100 heladas por año; sin embargo, el área del SAR delimitado para el proyecto se clasifica como de intensidad media, con entre 25 y 50 días con heladas al año.

C) Evaporación

La humedad atmosférica proviene de la evaporación a nivel del suelo y, en este proceso, las moléculas de vapor de agua escapan de los cuerpos de agua y del agua que es captada y retenida momentáneamente en la tierra y las plantas. El retorno del agua a la atmósfera se da por medio de procesos físicos y biológicos, combinados. El proceso físico es la evaporación directa del agua en la superficie del suelo y, el biológico es la absorción del agua y posterior transpiración de los vegetales.

La evaporación, en sí, depende de la cantidad de calor absorbida por el suelo, que está en relación con el balance energético. La evaporación continuará hasta el momento que el aire que está en contacto con la superficie evaporante esté saturado, en ese momento se produce un equilibrio entre las moléculas que dejan el líquido y el de las que se transforman en gotas de agua provenientes del vapor de agua. Como consecuencia, la evaporación está relacionada con la humedad relativa del aire, la que, a su vez, es función de la humedad absoluta y de la temperatura, así como de la presión. Como consecuencia, cuanto más rápido es el viento, más rápidamente se renueva el aire en contacto con la superficie que se evapora.

De las 24 estaciones meteorológicas analizadas en el presente trabajo, solo 15 tuvieron información registrada de la evaporación. Los valores obtenidos de esta variable van de los 1,318.8 mm a los 2,037.9 mm promedio anuales (Tabla IV–8). El valor menor de evaporación (1,318.8 mm promedio anual) se tiene en la estación meteorológica de San Juan de Aragón, ubicada en la delegación Gustavo A. Madero y, por otro lado, el valor máximo (2,037.9 mm promedio anual) se tiene en la estación meteorológica de Plan Lago de Texcoco, en Chimalhuacán. En promedio se obtuvo una evaporación anual de 1,702.1 mm; éste valor y los de la evaporación máxima y mínima antes referidos se encuentran entre los valores mencionados por la CONAGUA (2002a, 2002b, 2015) para los acuíferos de la Zona Metropolitana de la Cd. de México, Texcoco y Cuautitlán – Pachuca. Sin embargo, la evaporación es una variable del clima que no

muestra ser muy uniforme en el área, ya que se tiene un coeficiente de variación en los valores registrados en las diferentes estaciones meteorológicas del 11.2%.

IV.2.1.1.3 Vientos

El viento se refiere al movimiento de las masas de aire en la atmósfera, ocasionado por el movimiento de rotación y de traslación terrestres, que se origina por diferencias en la radiación solar, y al desigual calentamiento del aire, producido por las diferencias de presión.

Para poder entender cómo se comportan los vientos en la cuenca del Valle de México, hay que considerar que por su ubicación se encuentra influenciada tanto por los fenómenos meteorológicos procedentes del Golfo de México, como de los que se originan en el océano Pacífico. Los sistemas anticiclónicos provenientes de estas dos regiones provocan una reacción en cadena de eventos atmosféricos: en primer lugar, se bloquea el movimiento vertical del aire (es decir se forma una estabilidad atmosférica), esto conduce a frenar los procesos de formación de nubes, lo que a su vez origina a una gran incidencia de radiación solar sobre la superficie terrestre y por lo tanto la atmósfera se vuelve altamente fotoreactiva. De esta manera, la radiación solar constituye un primer elemento básico para que los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno reaccionen y se lleve a cabo la formación de ozono troposférico y otros gases oxidantes (Lara, 2001).

De acuerdo con los datos de las estaciones descritas anteriormente, las temperaturas medias mensuales más bajas se encuentran en los meses de diciembre, enero y febrero, que provocan en algunas ocasiones heladas y nevadas, debido a la invasión de frentes fríos procedentes de Canadá y Estados Unidos. En esta época también provienen del norte vientos polares y corrientes en chorro que provocan descensos de las temperaturas. Las corrientes en chorro se caracterizan por vientos veloces y transporte de humedad que generan bajas precipitaciones. Las masas de aire frío y

seco, impulsadas por sistemas anticiclónicos situados en la porción centro - occidental de Estados Unidos y Canadá, avanzan hasta la zona central del territorio mexicano y se extienden sobre el Valle de México. Este fenómeno provoca descensos de temperatura y estratificación de las capas troposféricas, induciendo la formación de inversiones térmicas en superficie o en capas atmosféricas muy bajas (Lara, 2001).

De acuerdo con lo mencionado por la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015), en la cuenca del Valle de México el flujo de viento de superficie es el resultado de la combinación de la fisiografía de la región y los fenómenos meteorológicos sinópticos (borrascas, anticiclones, ciclones, huracanes, entre otros). A escala local, las montañas que rodean la cuenca influyen en la dirección y velocidad del viento; en la escala sinóptica predomina un flujo desde el oeste con condiciones anticiclónicas durante los meses de noviembre a abril, el resto del año los vientos alisios acarrearán humedad desde el este, que provoca lluvias en la cuenca. Los procesos convectivos pueden provocar también un aumento en la velocidad de viento.

Como se puede ver en los climogramas de las estaciones meteorológicas que influyen en el SAR, las precipitaciones más bajas se presentan de noviembre a abril, esto se debe al enfriamiento de los océanos. Sin embargo, existen precipitaciones esporádicas por la irrupción de masas de aire frío y los vientos llamados “nortes”, los que propician humedad. En estos meses predominan los vientos secos del oeste que frecuentemente levantan nubes de polvo.

En los mismos climogramas se puede observar que, el régimen de lluvias normal comienza en mayo y termina en octubre, siendo de julio a septiembre los meses más lluviosos. Las lluvias extraordinarias que ocurren en verano están relacionadas con los fenómenos tropicales, como son los vientos alisios, las depresiones y tormentas tropicales y los huracanes. En esta época de lluvias, la cuenca del Valle de México se ve influenciada por la entrada de aire cálido y húmedo procedente del océano Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe, favoreciendo el movimiento ascendente del aire e inhiben la formación de inversiones térmicas.

La dirección del viento determina el destino de los contaminantes, cuando el viento sopla del norte hacia el sur u oeste, la dispersión es limitada por las montañas, favoreciendo la acumulación de los contaminantes en las laderas montañosas. Cuando el viento sopla desde el sur, la contaminación sale de la cuenca dispersándose.

En la Figura IV–30 se presenta la estructura del campo de viento en superficie durante el periodo diurno (8:00-20:00 horas) para cada mes de 2014, de acuerdo con los resultados reportados por la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015). En el grupo de imágenes de la Figura IV–30 se incluyen los vectores del viento predominante a partir de los datos horarios de la REDMET, donde la punta de la flecha indica la dirección hacia donde se mueve el viento (vector de flujo), y el tamaño del vector es proporcional a la intensidad del flujo. El campo de viento indica el movimiento de las masas de aire en la capa que se encuentra directamente sobre la cuenca.

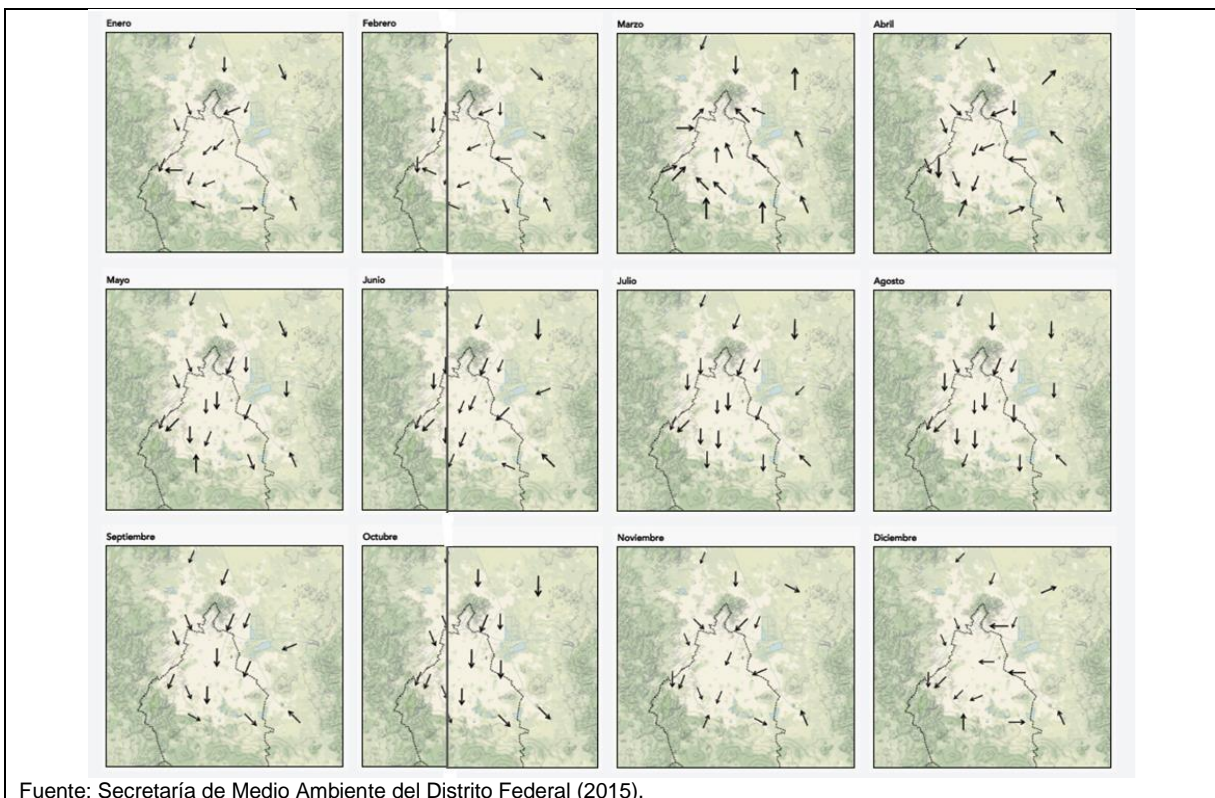


Figura IV—30. Campos de vientos de superficie diurnos durante el 2014 en la Ciudad de México.

De acuerdo con las imágenes de la figura anterior, durante el 2014 el flujo del viento fue desde el norte de la cuenca, lo que puede ser el causante de la dispersión de contaminantes de esta zona hacia el sur de la Ciudad de México. En la zona sureste se observó una corriente constante proveniente del Valle de Cuautla que circuló a través del corredor de Chalco, formando una zona de convergencia al sur de la Ciudad de México en donde ocurre la acumulación de contaminantes secundarios.

De acuerdo con el monitoreo a esta variable, la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015) menciona que se durante el 2014 la velocidad promedio del viento fue de 2.0 m s^{-1} (Figura IV–31). La velocidad promedio mensual máxima se obtuvo en marzo con 2.29 m s^{-1} y, por otro lado, diciembre fue el mes que tuvo la menor velocidad promedio del viento con 1.82 m s^{-1} ; sin embargo, no es una variable que muestre una gran variación durante el año (coeficiente de variación = 7.0%).

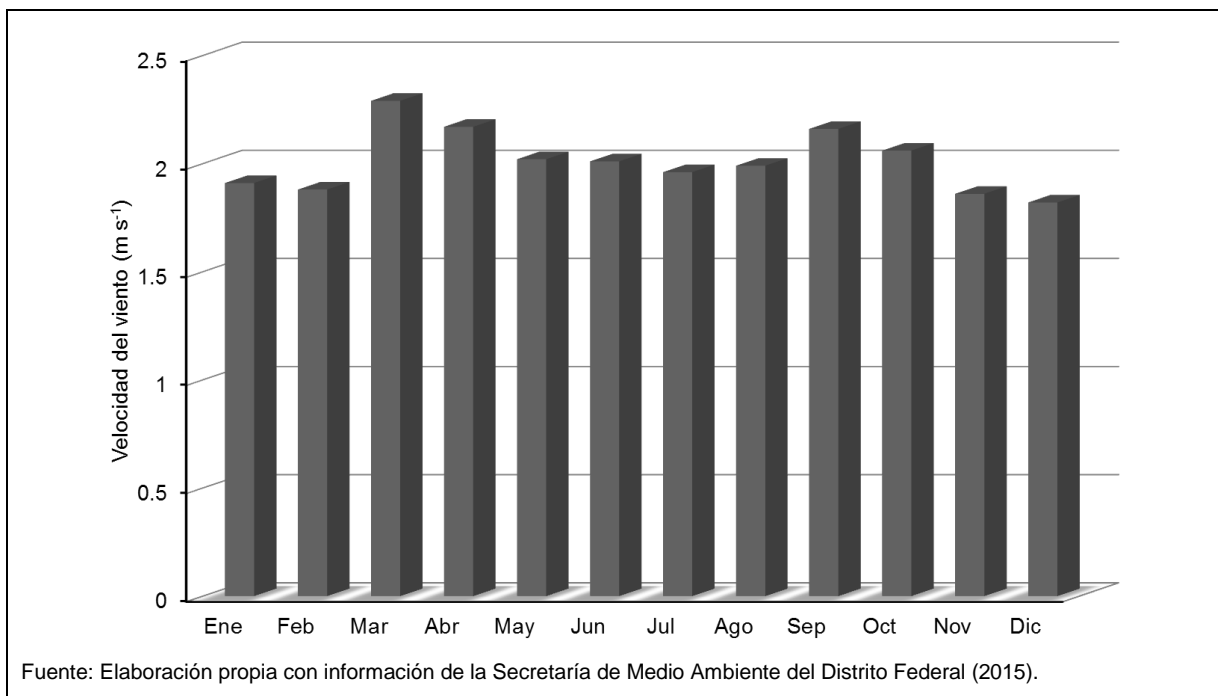


Figura IV—31. Velocidad del viento promedio mensual durante el 2014 en la Ciudad de México.

Así como se tiene variación de la corriente e intensidad de los vientos durante el año, también se tienen variaciones a través del día, en este caso, de acuerdo con lo que reporta la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015), durante las primeras nueve horas del día se tiene una baja velocidad del viento, la cual varía de 0.8 a 2.0 m s⁻¹, en general (Figura IV–32). A partir de las 10 de la mañana la velocidad empieza a incrementar hasta alcanzar su pico de las 17 a las 20 horas, logrando velocidades máximas de cerca de los 4.0 m s⁻¹. Las mayores velocidades de viento generalmente se registran en los sitios con menor densidad y con menor y más baja infraestructura (edificios) ubicados en la periferia de la zona urbana (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015).

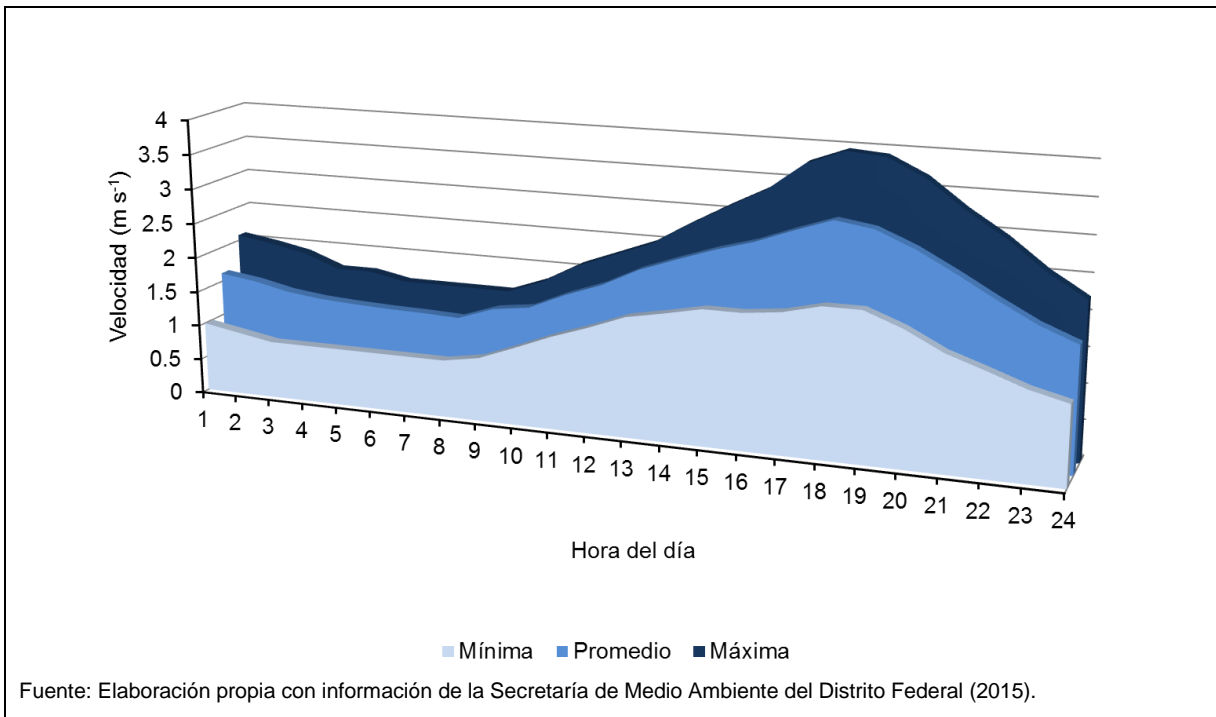


Figura IV—32. Variación mínima, promedio y promedio durante el día de la velocidad del viento en el 2014 en la Ciudad de México.

De acuerdo con Jáuregui (2000), la circulación local en la cuenca del Valle de México está dominada por la subsidencia del aire en el centro de la cuenca durante el día, lo

que origina el desplazamiento del aire superficial hacia el perímetro del valle y en dirección cuesta arriba de las montañas (vientos de valle, este fenómeno explica la relativa aridez de la zona). Por la noche el aire frío de las laderas de las montañas baja por gravedad hacia el fondo de la planicie (vientos de montaña). La interacción de estos vientos (locales) con los vientos regionales es lo que determina la dirección y fuerza de los vientos.

En los vientos de la tarde predominan los vientos de valle (se dirigen de la planicie hacia la montaña); en época de secas se presenta un flujo de vientos del sur en la mitad oriente de la Ciudad; asimismo, ligada a la isla de calor (presencia de aire tibio) se presenta una circulación ciclónica (vientos que giran contrario a las manecillas del reloj) en la porción norte de la ciudad. Durante la época de lluvias, el recorrido de los vientos de la tarde sobre la Ciudad se presenta del norte y noreste, lo que provoca el traslado de contaminantes de norte a sur, en particular se acumulan en la zona suroeste de la ciudad y en las partes bajas del Ajusco (Jáuregui, 2000).

En los vientos nocturnos predominan los vientos de montaña (se dirigen de las laderas de la montaña hacia la planicie); tanto en la época de secas como en la de lluvias, y por la presencia de montañas que rodean la ciudad, se presenta una convergencia de flujos de aire provenientes del poniente y del sur y también se llegan a presentar por el lado oriente, los cuales circundan el fondo de la cuenca del Valle de México. La convergencia de los flujos de aire se ve favorecida por la atracción que ejerce el aire tibio de la ciudad sobre el aire de las zonas periféricas hacia el interior de ésta, lo que provoca que los contaminantes queden atrapados durante la noche (Jáuregui, 2000).

IV.2.1.1.4 Calidad del aire

El monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México es una actividad que se ha llevado a cabo desde la década 50's. La WHO/UNEP (1992) reporta que en 1966 se instalaron 14 estaciones manuales para el monitoreo de la calidad del aire y en la

década de los 70's otras 22; las variables medidas eran las partículas suspendidas y el dióxido de azufre (SO₂). Fue hasta 1986 que se instaló la primera red de estaciones de monitoreo automático para la calidad del aire, cubriendo la mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México, además de que se incrementó el número de variables a monitorear, sumando el registro del monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (WHO/UNEP, 1992).

La emisión de contaminantes a la atmósfera está relacionada con la intensa actividad que vive en la Ciudad por funcionar como el principal centro administrativo, productivo y económico del país. La gran actividad industrial, los hogares de la población y el transporte, tanto público como privado, se han considerado la principal fuente generadora de emisiones a la atmósfera. Fue a finales de la década de los 80's cuando la contaminación atmosférica en la Ciudad de México empezó a representar un problema ambiental y de salud para los habitantes, llegando a un nivel que fue necesario el establecimiento de medidas para reducir las emisiones de contaminantes.

Entre las primeras medidas que el gobierno llevó a cabo para reducir la generación y emisión de contaminantes fue la implementación del programa "Hoy no circula", mismo que entró en operación a finales de 1989. Esta medida se tomó considerando que el parque vehicular de la Ciudad, el cual se estimaba en 2.5 millones de vehículos automotores, consumía el 44% de la energía total de la Ciudad y, además, era el principal generador de CO (2'853,300 t a⁻¹), NO_x (133,300 t a⁻¹) y de hidrocarburos no-metano (299,900 t a⁻¹) (WHO/UNEP, 1992). Otra medida que se implementó fue la de cerrar la refinería "18 de marzo", el 18 de marzo de 1991, ubicada en Azcapotzalco. Esta decisión se tomó considerando que la operación de esta planta, más la actividad industrial y las plantas generadoras de energía de la Ciudad, eran las principales fuentes emisoras de SO₂ (160,600 t a⁻¹).

De acuerdo con el reporte presentado por la Organización Mundial de la Salud en 1992 y el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (WHO y UNEP, respectivamente, por sus siglas en inglés), la contaminación del aire de la zona

metropolitana de la Ciudad de México mostraba serios problemas ya que se rebasaban las emisiones máximas tolerables de algunos contaminantes, poniendo en entredicho la eficiencia de las medidas establecidas para la reducción de las emisiones. Las partículas suspendidas y SO₂ fueron los contaminantes que estuvieron por arriba de los límites máximos establecidos por la OMS de manera general en toda el área metropolitana (WHO/UNEP, 1992). El O₃ y plomo (Pb) tuvieron un comportamiento más variable ya que representaron ser un problema por ciertos periodos y en ciertas áreas. Para el caso del Pb se registró un notable descenso de sus emisiones a partir de 1981 en toda el área metropolitana, sin embargo, no fue hasta 1983 que solo en la región centro - este de la zona metropolitana se registraron emisiones por debajo del límite máximo establecido (1 µg m³⁻¹).

Con la finalidad de mejorar los resultados, es a partir de 1994 que se empezó a establecer un marco jurídico ambiental y de salud específicamente enfocado a la mejora de la calidad del aire, empezando por definir metodologías claras y específicas para la medición de los contaminantes y estableciendo los límites máximos permisibles (Tabla IV–9). En este caso, el gobierno federal fue el encargado de la elaboración y publicación de la normatividad oficial mexicana; además de definir los estándares para la protección de la salud pública y vigilar su cumplimiento a nivel nacional. A partir de la publicación de las primeras normas oficiales mexicanas (NOM) técnicas en la materia, algunas de ellas han sido modificadas (actualizadas) y otras nuevas han sido publicadas, tomando en cuentas los nuevos descubrimientos y las necesidades de protección de la población y el medio ambiente.

Tabla IV-9. Normas oficiales mexicanas actualmente vigentes que definen los estándares máximos para el monitoreo de la calidad del aire a nivel nacional[§].

Contaminante	NOM	Publicación	Descripción
Dióxido de azufre (SO ₂)	NOM-022-SSA1-2010	8 de septiembre de 2010.	0.110 ppm ^{§§} , máximo promedio de 24 horas.
			0.200 ppm, segundo máximo anual como promedio móvil de 8 horas.
			0.025 ppm, promedio anual.
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	11.0 ppm, máximo anual como promedio móvil de 8 horas.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	NOM-023-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	0.210 ppm, promedio horario.
Ozono (O ₃)	NOM-020-SSA1-2014 (NOM-SSA1-020-1993, antes)	19 de agosto de 2014	0.095 ppm, promedio horario.
			0.070 ppm, máximo anual del promedio móvil de 8 horas.
Partículas suspendidas totales (PST)	NOM-024-SSA1-1993	---	Derogada
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	NOM-025-SSA1-2014 (NOM-025-SSA1-1993, anterior)	20 de agosto de 2014	75 µg m ⁻³ , promedio 24 horas.
			40 µg m ⁻³ , promedio anual.
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	NOM-025-SSA1-2014 (NOM-025-SSA1-1993, anterior)	20 de agosto de 2014	45 µg m ⁻³ , promedio 24 horas.
			12 µg m ⁻³ , promedio anual.
Plomo (Pb)	NOM-026-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	1.5 µg m ⁻³ , en un periodo de tres meses como promedio aritmético.

[§] Con información de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015) y SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=27ZaBhnml=27&dc=Yw==>.

^{§§} 1 ppm = 1000 ppb.

Las NOM técnicas definen los métodos de medición recomendados para el monitoreo de los contaminantes criterio. Estos métodos de medición pueden ser de referencia o equivalentes. Generalmente los métodos de medición propuestos por la NOM tienen una correspondencia con los designados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), por lo que cuando no existe una NOM para un contaminante criterio se utiliza la recomendación de la US EPA.

En la Ciudad de México y área conurbada, el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) es el responsable de la medición permanente de los principales contaminantes del aire. Esta es un área dependiente de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, para ello cuenta con 31 estaciones automáticas y 11 estaciones manuales, donde se mide los contaminantes criterio: automáticas (O_3 , NO_x , SO_2 , CO , PM_{10} y $PM_{2.5}$) y manuales (PST, PM_{10} , $PM_{2.5}$ y metales pesados). Además, se cuenta con 20 estaciones meteorológicas donde se registra la humedad, temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento y radiación ultravioleta. Todas estas estaciones de monitoreo se encuentran distribuidas en el área metropolitana, comprendiendo demarcaciones de la Ciudad de México y la zona conurbada del Estado de México (Figura IV–33).

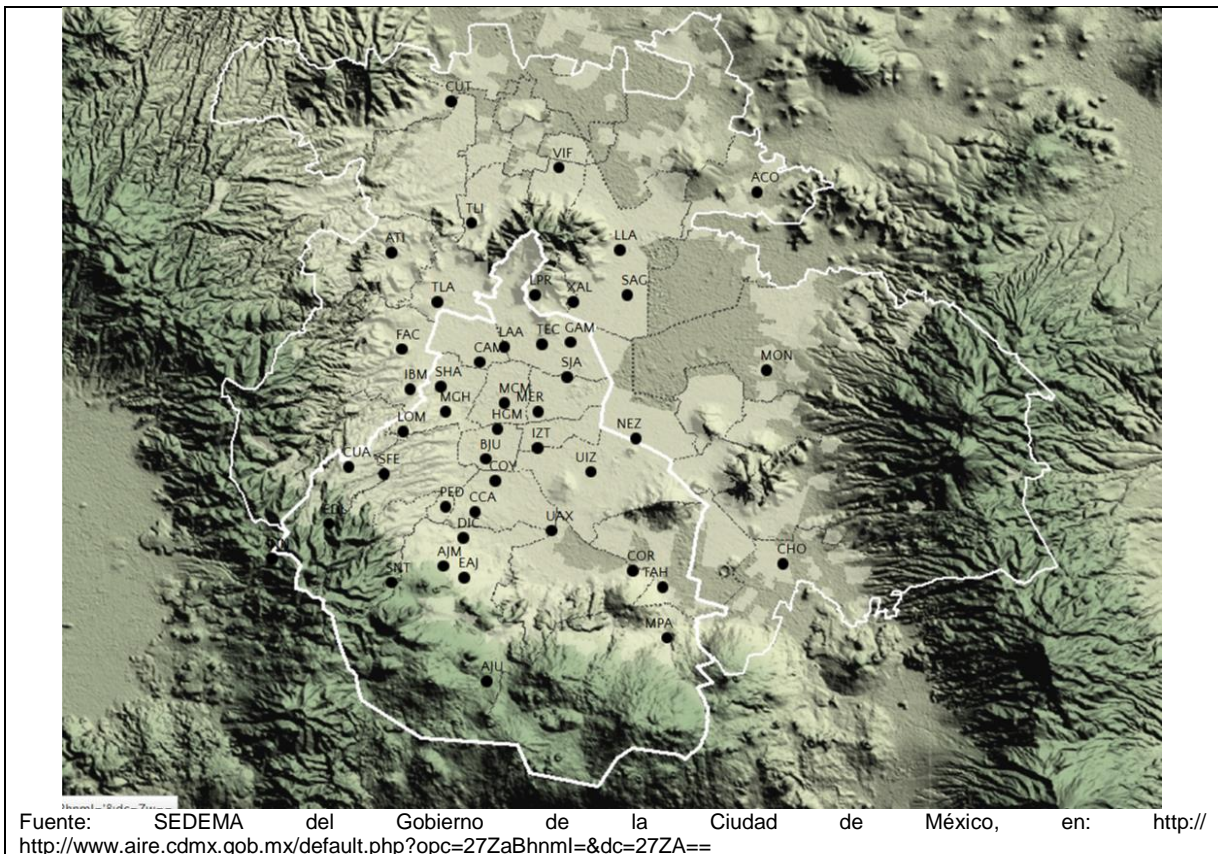


Figura IV—33. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire operadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México.

Para facilitar la interpretación de la calidad del aire entre la población del área metropolitana y a nivel nacional, se construyó el índice de calidad del aire, el cual muestra de manera sencilla el nivel de contaminación ambiental relacionándolo con el efecto que tendría en la salud. El índice se divide en cinco categorías, cada una corresponde a un intervalo en el índice y señala el nivel de riesgo para la salud (Tabla IV-10). La construcción de este índice está claramente explicado en la norma ambiental del Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006, apartado 5.2, donde se detalla el procedimiento para calcularlo.

En sí, el índice se calcula considerando seis de los contaminantes criterio: dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}); se representa con una escala que va de 0 a 50. Un valor menor a 100 se considera satisfactorio y con un bajo riesgo para la salud y un mayor a 200 extremadamente mala. Cualquier nivel superior a 100 implica algún riesgo para la salud, entre más grande es el valor del índice, mayor es la contaminación y el riesgo.

Tabla IV-10. Categorías del índice de calidad del aire establecido en la norma ambiental NADF-009-AIRE-2006 y sus implicaciones para la población.

Categoría	Intervalo	Mensaje	Significado	Recomendaciones
BUENA	0-50	Sin riesgo	La calidad del aire es satisfactoria y existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
REGULAR	51-100	Aceptable	La calidad del aire es aceptable, sin embargo, en el caso de algunos contaminantes, las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados.	Las personas que son extremadamente sensibles a la contaminación deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.

Categoría	Intervalo	Mensaje	Significado	Recomendaciones
MALA	101-150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general usualmente no es afectado.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MUY MALA	151-200	Dañina a la salud	Todos pueden experimentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar el esfuerzo prolongado al aire libre. La población en general debe limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
EXTREMA DAMENTE MALA	>200	Muy dañina a la salud	Representa una condición de emergencia. Toda la población tiene probabilidades de ser afectada.	La población en general debe suspender los esfuerzos al aire libre.

§ Con información de SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc='ZaBhnml=&dc='Zw==>.

Contaminantes analizados

Previo a la presentación de los resultados obtenidos en los monitoreos de la calidad del aire, se realiza una breve descripción de los contaminantes registrados y sus efectos en la población, información que fue obtenida de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015).

Dióxido de nitrógeno (NO₂): Este es un contaminante que puede ser primario, a partir de la oxidación del nitrógeno atmosférico durante la combustión, o secundario, por la oxidación en la atmósfera del óxido nítrico (NO). En altas concentraciones provoca inflamación en las vías respiratorias y un aumento de síntomas respiratorios en personas con asma. Los vehículos son principales emisores de este contaminante.

Dióxido de azufre (SO₂): Se forma por la oxidación del azufre contenido en los combustibles fósiles y la biomasa; tiene un papel importante en la formación de aerosoles y de la lluvia ácida.

Ozono (O₃): El ozono es un compuesto secundario que se encuentra de manera natural en el aire en concentraciones entre 0 y 50 ppb a nivel de superficie y su concentración aumenta con la altitud. En zonas urbanas se forma como un producto de reacciones químicas en la atmósfera en las que intervienen óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, emitidos principalmente por los vehículos y la industria, en presencia de luz solar.

Se sabe que la Ciudad de México es susceptible a altas concentraciones de ozono debido a que la presencia de montañas que rodean la cuenca limita considerablemente la dispersión de la contaminación, y su latitud y altitud contribuyen a que reciba una cantidad importante de radiación solar durante la mayor parte del año. La gran capacidad oxidativa de la atmósfera de la cuenca favorece una rápida producción de ozono durante las horas de mayor intensidad solar. En días soleados y con escasa dispersión, la concentración de ozono supera con facilidad los valores límite para la protección de la salud humana.

Monóxido de carbono (CO): Se forma durante la combustión incompleta del material orgánico. En ambientes urbanos este contaminante se produce principalmente durante la combustión incompleta de gasolina en los vehículos. En altas concentraciones puede provocar asfixia debido a que la hemoglobina de la sangre tiene una gran afinidad por este compuesto, compitiendo con el oxígeno durante la respiración.

La exposición prolongada a concentraciones moderadas puede provocar desde dolor de cabeza hasta la pérdida del conocimiento. La presencia de monóxido de carbono en altas concentraciones dentro de espacios cerrados y con poca ventilación puede provocar una intoxicación grave e incluso la muerte.

Partículas suspendidas (PM₁₀, PM_{2.5}): De manera general, el término de partículas suspendidas se refiere a cualquier material sólido o líquido que se encuentre en suspensión en el aire, sin importar la forma, tamaño o composición. Dependiendo del tamaño, las partículas pueden permanecer en suspensión durante periodos que van de minutos a varias semanas. Las partículas más grandes permanecen en suspensión durante algunos minutos y sedimentan rápidamente por gravedad; pero las partículas más pequeñas, con diámetros menores a 2.5 µm, pueden permanecer en suspensión durante varios días.

La principal vía de ingreso al organismo es durante la respiración, pero no todas las partículas en suspensión ingresan al sistema respiratorio, entre más pequeñas son ingresan más profundo. Las partículas más grandes se retienen en la región nasal, mientras que las menores a 10 µm pueden penetrar más allá de la laringe. Las más pequeñas, menores a 1 µm, son capaces de ingresar hasta la región alveolar, que es la zona en donde se realiza el intercambio de oxígeno. En el monitoreo de la calidad del aire se utilizan dos indicadores para el monitoreo de las partículas suspendidas: las partículas menores a 10 µm (PM₁₀) y las menores a 2.5 µm (PM_{2.5}).

Plomo (Pb): Las altas emisiones de Pb al medio ambiente provenía del combustible quemado por los vehículos, el cual contenía el compuesto tetraetilo de plomo que se empleaba como aditivo en las gasolinas para aumentar su octanaje, como antidetonante y para lubricar los asientos de las válvulas. Después de la combustión, el plomo era emitido en forma de partículas finas en los humos de escape; por su tamaño, estas partículas podían permanecer en suspensión en el aire ambiente y eran capaces de ingresar al sistema respiratorio. Dentro de los daños que provocaba a la población las altas concentraciones de Pb se encuentran problemas en el sistema nervioso, retraso en el desarrollo de los infantes, problemas neurológicos, daños en hígado y riñones, problemas de visión, daños en el feto durante el embarazo, entre otros.

Debido a los problemas que las altas concentraciones de Pb causaban a los habitantes, se tomaron acciones necesarias para eliminar el uso del tetraetilo de plomo

en las gasolinas. En la segunda mitad de la década de los 90's se prohibió la venta de gasolina con plomo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Actualmente la mayor parte del Pb presente en las partículas suspendidas proviene de fuentes industriales o del remanente del metal que aún se encuentra presente en el suelo en pequeñas concentraciones, este polvo es resuspendido por el viento o el paso de los vehículos.

Resultado de los monitoreos

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de los contaminantes del aire NO₂, SO₂, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5} y Pb registrados en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire instaladas en la Ciudad de México y área conurbada. Esta información fue obtenida de la página del Sistema de Monitoreo Atmosférico, perteneciente a la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhnmOkZA==%27>, apartado de "estadísticos". Primeramente, se presentan los resultados promedios mensuales de cada uno de los contaminantes. En segundo lugar, se mostrarán los resultados de su variación diaria promedio; y, por último, los resultados anuales promedio y su comparación con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad oficial respectiva vigente.

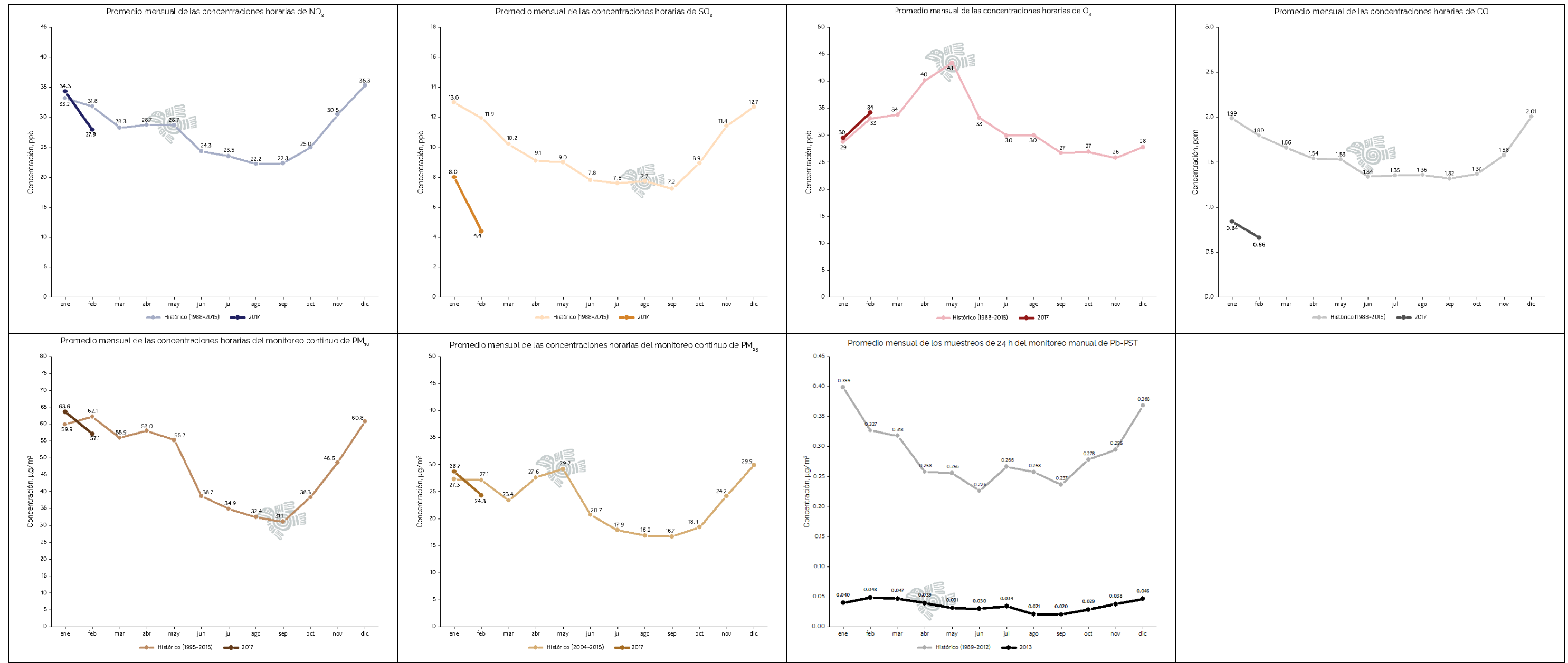
Así se tiene que, a través del año se puede ver que hay un claro patrón en la concentración de los contaminantes en el aire; donde, en los meses de secas, de noviembre a mayo, se tiene una mayor concentración y, durante la época de lluvias éstos bajan (Figura IV-34). Esto último se explica por el efecto de dispersión y lavado de contaminantes que tiene la lluvia en la atmósfera.

Por otro lado, el incremento en la concentración de contaminantes en la época de sequía no es uniforme, pero sigue un patrón. Al inicio de la época de sequía se nota un rápido incremento en la concentración de las partículas, SO₂, CO y Pb en el aire, lo

cual es ocasionado por la estabilidad atmosférica, inversiones térmicas de superficie y el descenso de humedad y temperatura (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015).

Posteriormente, de marzo a mayo se tiene un incremento pronunciado en la concentración de O_3 , el cual alcanza hasta 43 ppb y luego baja al inicio del periodo de lluvias. En este mismo periodo, el SO_2 continúa disminuyendo rápidamente, pero las concentraciones de NO_2 y las PM_{10} se mantienen elevadas, aproximadamente 28 ppb para el NO_2 y entre 55.2 y 58.0 $\mu g m^{-3}$ de PM_{10} . Este comportamiento se asocia con el desarrollo de un sistema de alta presión que propicia cielos despejados, humedad baja, estabilidad atmosférica, y con el alargamiento del periodo diurno, el aumento de la radiación solar y la actividad fotoquímica entre los contaminantes (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015).

La presentación de los resultados obtenidos de los registros mensuales es con el objetivo de ver la variación de la concentración de los contaminantes durante el año y como se pueden relacionar éstos con los factores climáticos. Además, de ver si alguno de ellos llega a rebasar los límites permisibles en las normas oficiales respectivas, aun y sabiendo que en ellas no existen límites establecidos para periodos mensuales. Es por ello que, los resultados mensuales se comparan, en esta ocasión, con los valores promedio definidos en las normas presentados en la Tabla IV-9 (solo como valore de referencia), cuando éstos están definidos. Así se puede ver que, el único contaminante que rebasa el límite máximo definido en las normas es el valor promedio anual de $PM_{2.5}$, el cual es de 12 $\mu g m^{-3}$ cuando el rango promedio mensual obtenido va de 16.7 a 29.9 $\mu g m^{-3}$ (Figura IV-34), pero no los 45 $\mu g m^{-3}$ establecido como límite promedio en 24 horas.



Fuente: SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhnmOkZA==%27>.

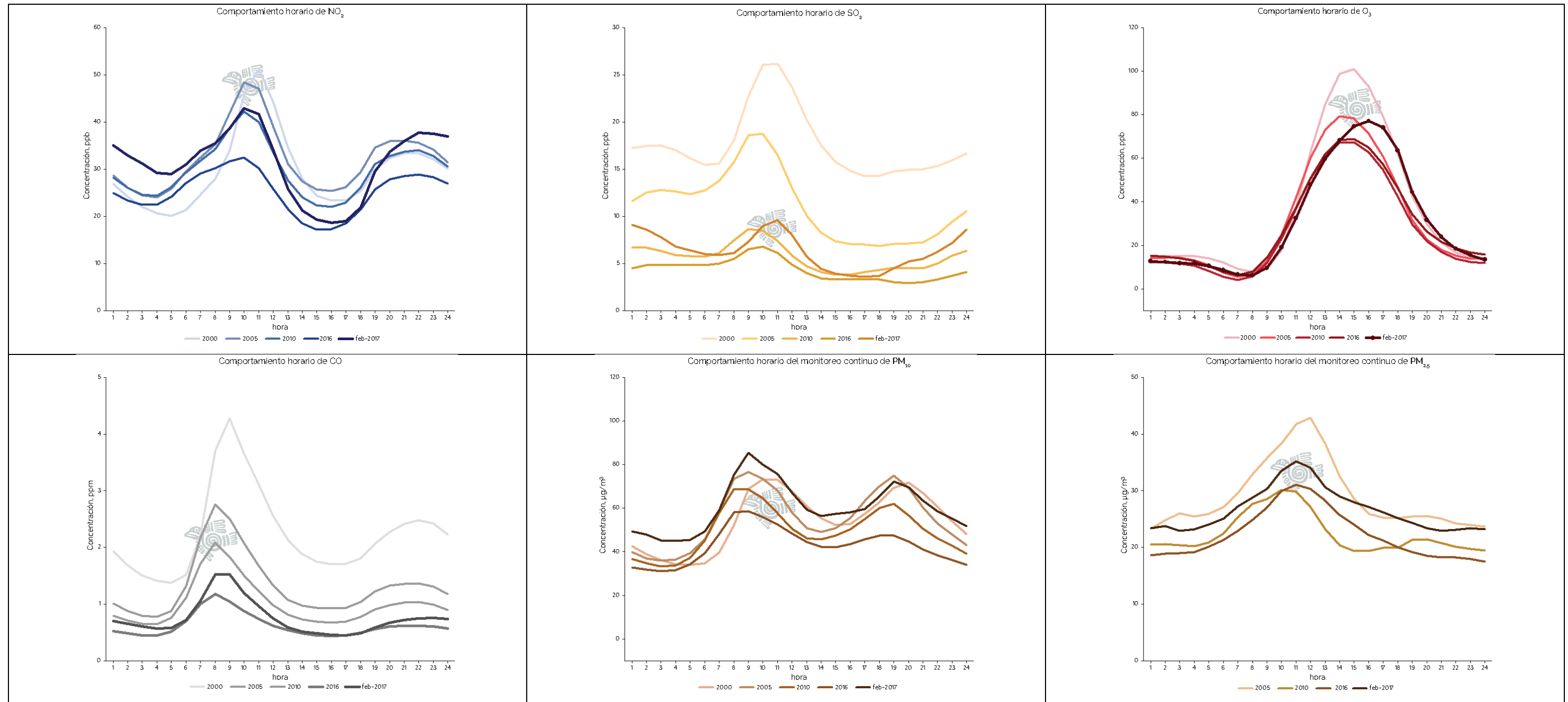
Figura IV—34. Comportamiento de los contaminantes NO₂, SO₂, O₃, CO, PM_{2.5}, PM₁₀ y Pb promedio mensual registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México.

Respecto a la concentración de los contaminantes durante el día, se puede ver que el NO₂, CO y PM₁₀ tienen dos picos de mayores concentraciones, el primero del día más pronunciado que el segundo; y, el SO₂ tiene un comportamiento similar, solo que el segundo pico es menos pronunciado que el de los otros contaminantes (Figura IV–35). Las primeras horas del día, hasta las 7 horas, se tiene una concentración baja de los contaminantes, posteriormente hay un incremento que dura hasta alrededor de las 12 horas. A partir de las 18 horas se tiene otro incremento, en algunos contaminantes más pronunciados que en otros, pero sin llegar a las concentraciones alcanzadas por la mañana, las cuales pueden mantenerse hasta la media noche. Por otro lado, el O₃ y las partículas suspendidas PM_{2.5} tienen un solo pico durante el día, el caso del O₃ se presenta en las horas de mayor radiación solar en el día (entre las 13 y 16 horas) y las PM_{2.5} lo tienen entre las 8 y las 11 horas. Para estos resultados hay que tener en cuenta que se trata de valor promedio horario, los cuales se diferencian de las condiciones horarias específicas de un día, lo que puede llevar a definir la calidad del aire del día y la toma de decisiones del Gobierno para definir la estrategia para mejorar la calidad del aire de ese momento.

El comportamiento antes descrito se ha tenido en todos los años de referencia (2000, 2005, 2010 y 2016) y en los dos primeros meses del presente año (Figura IV–35). Con la diferencia de que en el año 2000 se tenían picos más elevados en la concentración de contaminantes, siendo más notable la disminución del pico en SO₂ y CO. Las partículas PM₁₀ son las únicas que no han mostrado una clara disminución.

En todos los casos, las concentraciones registradas están por debajo de los valores promedio o máximos establecidos en las normas oficiales respectivas (Figura IV–35; Tabla IV–9). Las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} han sido las únicas que han mostrado las mayores concentraciones llegando o estando cerca de llegar (75 y 45 µg m⁻³, respectivamente). Específicamente, las PM₁₀ son las que han alcanzado la concentración el valor promedio límite definido, en los picos de la mañana y de la tarde;

si bien se notada una disminución de su concentración entre años, en los dos primeros meses del 2017 se ha visto un incremento. Para el caso de las $PM_{2.5}$, se ha notado una reducción de su concentración a partir del 2005, alejándolo del valor promedio límite definido.



Fuente: SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhmOkZA==%27>.

Figura IV—35. Comportamiento promedio diario de los contaminantes NO₂, SO₂, O₃, CO, PM_{2.5} y PM₁₀ registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México en los años indicados.

En los resultados de los promedios o máximos anuales, se han tenido logros significativos para la reducción de la concentración de los contaminantes en el aire, lo que ha sido posible debido a la eficiencia de las medidas establecidas, rutinarias y emergentes, y de la eficacia en su implementación (Figura IV–36).

El Pb fue el primer contaminante que se logró controlar, siendo esto posible debido al mejoramiento de la gasolina utilizada para el parque vehicular en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Como se puede ver en la Figura IV–36, desde 1992 se cumple con el valor promedio trimestral, en este caso, permisible, manteniéndose muy por debajo de este valor ($1.5 \mu\text{g m}^{-3}$). En 1989 se tuvo un incremento en su concentración atmosférica, pero sin alcanzar el valor límite normado.

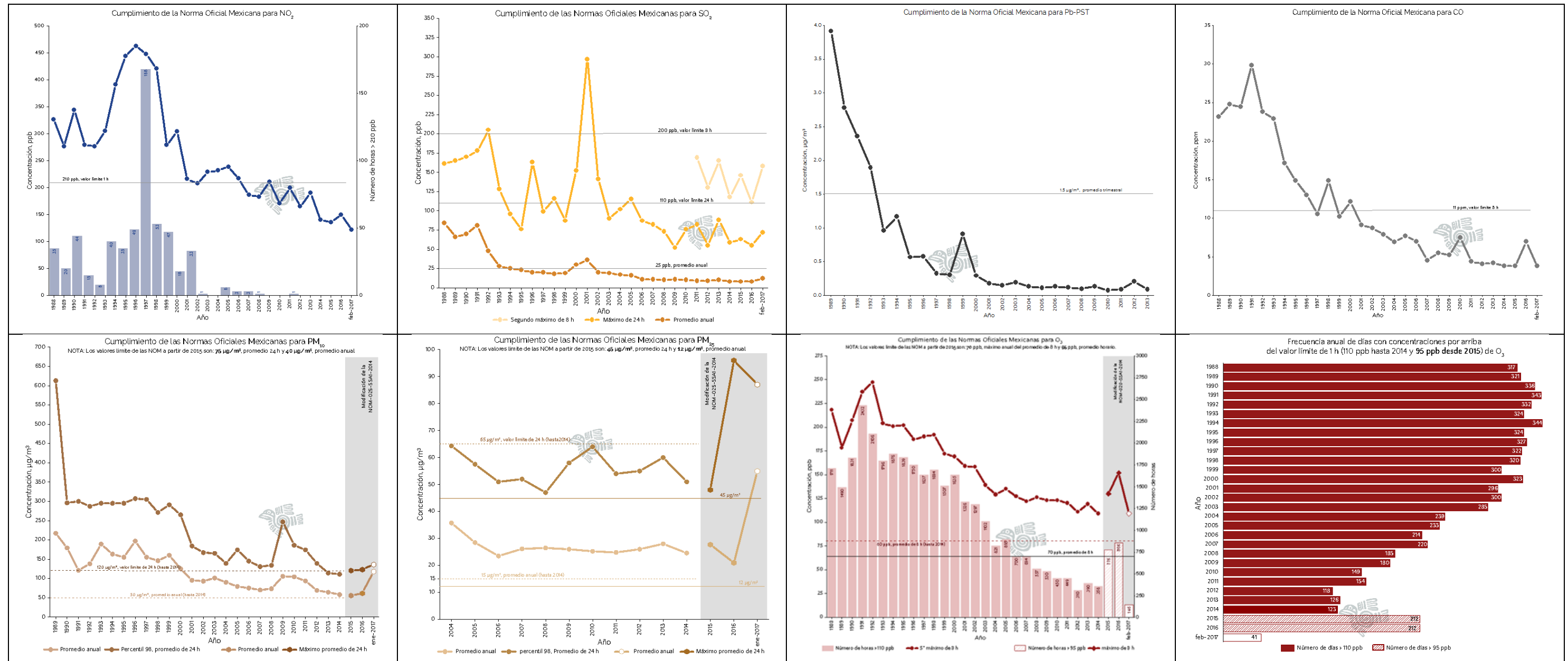
Entre el año 2000 y el 2002 se logró reducir las emisiones a la atmósfera de CO, SO₂ y NO₂, aunque para este último fue hasta el 2006 que se logró cumplir el valor promedio horario límite normado (210 ppb) (Tabla IV–9). A partir del 2001 las emisiones de SO₂ promedio anuales han sido muy estables, y por debajo de las 25 ppb permisibles. Por otro lado, si bien el CO ha tenido mayor variabilidad, los picos anuales promedio de emisiones no han llegado a rebasar el valor límite permisible (11 ppm máximo anual como promedio móvil de 8 horas). No ha sido lo mismo para el NO₂, el cual ha tenido variaciones en sus emisiones entre años; en el 2009 llegó al valor promedio horario límite, para posteriormente ir disminuyendo, sin volver a alcanzarlo.

Las partículas suspendidas y el ozono han tenido más problemas para mantenerse por debajo de los valores promedio anuales establecidos en las respectivas normas oficiales mexicanas (Figura IV–36; Tabla IV–9). Igual que los contaminantes anteriormente mencionados, a partir del año 2000 se ha visto una significativa disminución en las concentraciones de O₃ y PM₁₀, pero éstas no han sido lo suficiente para estar debajo de los valores máximos y promedios anuales, respectivamente. Y, para el caso de las PM_{2.5}, del 2004 al 2006 mostraron una tendencia a disminuir su concentración y con un promedio anual estable en los años sucesivos, pero su

promedio de 24 horas ha sido variable sin lograr bajar del límite establecido en la norma.

Para el caso específico del O₃, éste ha tenido una disminución significativa en el promedio horario a partir del 2004; sin embargo, se ha seguido manteniendo elevado el número de días con concentraciones por arriba del valor límite de 1 hora (110 ppb hasta 2014 y 95 ppb desde el 2015) (Figura IV–36).

Al respecto, la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2015) manifiesta que la complejidad de los procesos secundarios involucrados en su formación del O₃ en la atmósfera dificultan el diseño de políticas efectivas para su control. La caracterización de este contaminante requiere no sólo de la medición del contaminante, sino también de la caracterización de los principales precursores y del conocimiento de las características físicas y químicas de la atmósfera.



Fuente: SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhmOkZA==%27>.

Figura IV—36. Concentración promedio anual de los contaminantes NO₂, SO₂, O₃, CO, PM_{2.5}, PM₁₀ y Pb registrado en las estaciones de monitoreo ambiental del área metropolitana de la Ciudad de México y su cumplimiento de la normatividad oficial mexicana.

Contingencias ambientales

Como se mencionó anteriormente, el índice de calidad del aire es la forma mediante la cual se hace del conocimiento de la población la calidad del aire. En la Ciudad de México, ésta se reporta cada hora los 365 días del año, para cada una de las 31 estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire. Otra de sus finalidades es la definir las estrategias a implementar en caso de que la calidad del aire llegue a un nivel tal que represente un riesgo para la salud.

Las contingencias ambientales son una serie de medidas que se implementan cuando la calidad del aire pone en riesgo la salud de la población debido a elevadas concentraciones de contaminantes. Ésta se divide en las Fases I y II, de acuerdo al nivel del deterioro de la calidad del aire; las que corresponden con las categorías “Muy mala” y “Mala” descritas en la Tabla IV–10.

La Fase I de contingencia ambiental se activa cuando el índice de calidad del aire llega a ser mayor a 180 puntos, y se suspende cuando es igual o menor de 150 puntos, además de considerarse para ello que las condiciones meteorológicas sean las adecuadas para favorecer la dispersión de los contaminantes. Y, la Fase II de contingencia ambiental se activa cuando se superan los 200 puntos del índice de calidad del aire y, al igual que la fase anterior, se suspende cuando éste llegar a ser igual o menor de los 150 puntos. En ambos casos, el Gobierno de la Ciudad de México tiene claramente establecidas las medidas a implementar para lograr el mejoramiento de la calidad del aire.

De acuerdo con información del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en su página <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/pcaa-historico-contingencias.pdf>, de 1988 a marzo de 2017 se ha activado 60 veces la contingencia ambiental (Tabla IV–11). En el lapso de tiempo referido, no en todos los años se han

presentado estos eventos, siendo de 1991 al 2000 el periodo continuo más largo en el que al menos una vez se tuvo que activar la contingencia, y del 2006 al 2015 en el que no se activó en ningún año. De estos, en 1993 y 2016 han sido los años en que más contingencias se han presentado (12 y 10, respectivamente). El O₃ ha sido en el 91.7% de las veces el contaminante principal que originó las contingencias y el restante 8.3% las PM₁₀. Esa misma proporción resultó al analizar el número de veces en que se han presentado las contingencias por fases, correspondiendo el 91.7% de veces a la Fase I y el 8.3% a la Fase II, siendo en 1992 la última vez que se tuvo la necesidad de activar la Fase II.

Tabla IV-11. Activación de las fases de contingencia ambiental de 1988 a marzo de 2017 en la Zona Metropolitana del Valle de México[§].

INICIO							DURANTE					LEVANTAMIENTO		
2017														
Contaminante	Zona	Valor IMECA	Estación	Día de la semana	Fecha de activación	Hora	Fase	Valor Máximo	Estación	Fecha	Hora	Fecha de desactivación	Hora	Valor de desactivación
PM ₁₀	NE	153	Xalostoc	Viernes	06/01/2017	09:00	I Regional	172	Xalostoc	06/01/2017	11:00	07/01/2016	09:00	132
2016														
Ozono	SO	151	Ajusco Medio	Jueves	11/08/2016	16:00	I	158	Ajusco Medio	11/08/2016	17:00	12/08/2016	17:00	127
Ozono	SO	152	Santa Fe	Viernes	08/07/2016	17:00	I	152	Santa Fe	08/07/2016	17:00	09/07/2016	15:00	88
Ozono	SO	155	Miguel Hidalgo	Martes	31/05/2016	16:00	I	161	Santa Fe	31/05/2016	17:00	01/06/2016	18:00	115
Ozono	NE	165	Gustavo A. Madero	Viernes	27/05/2016	15:00	I	165	Gustavo A. Madero	27/05/2016	15:00	28/05/2016	18:00	109
Ozono	NO	151	Camarones	Martes	24/05/2016	15:00	I	151	Camarones	24/05/2016	15:00	24/05/2016	21:00	49
Ozono	SO	178	Santa Fe	Viernes	20/05/2016	15:00	I	188	Cuajimalpa	20/05/2016	16:00	21/05/2016	17:00	133
Ozono	SE	157	Tláhuac	Sábado	14/05/2016	17:00	I	157	Tláhuac	14/05/2016	17:00	15/05/2016	15:00	69
Ozono	CE	161	Benito Juárez	Lunes	02/05/2016	15:00	I	192	Ajusco Medio	04/05/2016	16:00	05/05/2016	17:00	127
Ozono	SO	156	Ajusco	Martes	05/04/2016	17:00	I	156	Ajusco	05/04/2016	17:00	06/04/2016	17:00	127
Ozono	SO	194	Cuajimalpa	Lunes	14/03/2016	16:00	I	203	Cuajimalpa	14/03/2016	17:00	17/03/2016	16:00	136
2005														
PM ₁₀	NE***	181	Villa de las Flores	Sábado	01/01/2005	08:00	I Regional	197	Villa de las Flores	01/01/2005	15:00	02/01/2005	08:00	90
2003														
PM ₁₀	NE***	176	Xalostoc	Jueves	25/12/2003	12:00	I Regional	190	Xalostoc	25/12/2003	22:00	26/12/2003	12:00	126
2002														
Ozono	SO	242	Pedregal	Miércoles	18/09/2002	16:00	I	242	Pedregal	18/09/2002	16:00	19/09/2002	16:00	137
2000														
PM ₁₀	SE***	185	Tláhuac	Domingo	30/01/2000	07:00	I Regional	385	Tláhuac	31/01/2000	15:00	01/02/2000	18:00	145
1999														
Ozono	SO	272	Plateros	Viernes	15/10/1999	15:00	I	272	Plateros	15/10/1999	15:00	16/10/1999	17:00	174
Ozono	NO	242	Azcapotzalco	Jueves	11/03/1999	17:00	I	242	Azcapotzalco	11/03/1999	17:00	12/03/1999	17:00	172
Ozono	SO	262	Pedregal	Lunes	11/01/1999	17:00	I	262	Pedregal	11/01/1999	17:00	14/01/1999	17:00	170
1998														
PM ₁₀	NE***	179	Nezahualcóyotl	Sábado	19/12/1998	03:00	I	230	Nezahualcóyotl	19/12/1998	13:00	22/12/1998	10:00	138
Ozono	NO	262	ENEP Acatlán	Jueves	03/12/1998	15:00	I	262	ENEP Acatlán	03/12/1998	15:00	06/12/1998	15:00	176
Ozono	NE	243	San Agustín	Martes	06/10/1998	14:00	I	243	San Agustín	06/10/1998	14:00	07/10/1998	16:00	103
Ozono	SO**	243	Pedregal	Viernes	05/06/1998	14:00	I	251	Pedregal	05/06/1998	15:00	06/06/1998	15:00	105
Ozono	SO	251	Pedregal	Lunes	25/05/1998	14:00	I	251	Pedregal	25/05/1998	14:00	30/05/1998	15:00	151

Tabla IV-11. Continúa...

INICIO							DURANTE					LEVANTAMIENTO		
1997														
Contaminante	Zona	Valor IMECA	Estación	Día de la semana	Fecha de activación	Hora	Fase	Valor Máximo	Estación	Fecha	Hora	Fecha de desactivación	Hora	Valor de desactivación
Ozono	NO	250	ENEP Acatlán	Miércoles	22/10/1997	17:00	I	250	ENEP Acatlán	22/10/1997	17:00	25/10/1997	17:00	200
Ozono	NO	270	Tacuba	Sábado	27/09/1997	16:00	I	270	Tacuba	27/09/1997	16:00	28/09/1997	16:00	142
Ozono	SO	262	Pedregal	Martes	29/04/1997	15:00	I	262	Pedregal	29/04/1997	15:00	01/05/1997	16:00	123
1996														
Ozono	SO	274	Pedregal	Martes	29/10/1996	14:00	I	274	Pedregal	29/10/1996	14:00	02/11/1996	15:30	111
Ozono	SO	256	Pedregal	Martes	15/10/1996	15:00	I	256	Pedregal	15/10/1996	15:00	17/10/1996	15:00	117
Ozono	NO	269	Tacuba	Viernes	19/01/1996	15:00	I	269	Tacuba	19/01/1996	15:00	22/01/1996	17:00	156
1995														
Ozono	SO	254	Pedregal	Viernes	01/12/1995	15:00	I	254	Pedregal	01/12/1995	15:00	04/12/1995	15:00	120
Ozono	SO	295	Pedregal	Lunes	31/07/1995	13:00	I	295	Pedregal	31/07/1995	13:00	01/08/1995	17:00	87
Ozono	CE	283	Benito Juárez	Viernes	23/06/1995	15:00	I	292	Benito Juárez	23/06/1995	16:00	24/06/1995	14:00	167
Ozono	SO	250	Pedregal	Martes	06/06/1995	13:00	I	254	Pedregal	06/06/1995	13:00	07/06/1995	14:00	151
Ozono	SO*	289	Plateros	Jueves	23/03/1995	13:00	I	289	Plateros	23/03/1995	13:00	24/03/1995	14:00	153
1994														
Ozono	SO	253	Pedregal	Miércoles	21/12/1994	15:00	I	259	Pedregal	21/12/1994	16:00	24/12/1994	14:00	64
1993														
Ozono	NO	258	ENEP Acatlán	Miércoles	22/12/1993	13:00	I	295	ENEP Acatlán	23/12/1993	14:00	25/12/1993	14:00	149
Ozono	SO	279	Plateros	Lunes	20/12/1993	14:00	I	279	Pedregal	20/12/1993	14:00	21/12/1993	15:00	133
Ozono	SO	276	Plateros	Lunes	13/12/1993	14:00	I	289	Pedregal	13/12/1993	15:00	15/12/1993	19:00	75
Ozono	NO	271	ENEP Acatlán	Jueves	02/12/1993	14:00	I	271	Pedregal	02/12/1993	16:00	03/12/1993	17:00	196
Ozono	SO	266	Plateros	Martes	16/11/1993	14:00	I	266	Plateros	16/11/1993	14:00	17/11/1993	14:00	160
Ozono	SO	257	Plateros	Jueves	11/11/1993	14:00	I	278	Plateros	11/11/1993	16:00	12/11/1993	18:00	124
Ozono	NO	257	Azcapotzalco	Jueves	28/10/1993	14:00	I	259	Azcapotzalco	28/10/1993	15:00	29/10/1993	14:00	29
Ozono	NO	257	ENEP Acatlán	Lunes	13/09/1993	14:00	I	257	ENEP Acatlán	13/09/1993	14:00	14/09/1993	14:00	55
Ozono	SO	255	Plateros	Viernes	26/02/1993	13:30	I	284	Merced	26/02/1993	14:00	27/02/1993	15:00	190
Ozono	SO	289	Pedregal	Jueves	18/02/1993	13:30	I	312	Pedregal	18/02/1993	14:00	19/02/1993	19:00	75
Ozono	SO	278	Pedregal	Martes	16/02/1993	14:30	I	278	Pedregal	16/02/1993	14:00	17/02/1993	19:00	87
Ozono	SO	272	Plateros	Viernes	12/02/1993	14:30	I	280	Pedregal	12/02/1993	16:00	13/02/1993	18:30	160

Tabla IV-11. Continúa...

INICIO								DURANTE				LEVANTAMIENTO		
1992														
Contaminante	Zona	Valor IMECA	Estación	Día de la semana	Fecha de activación	Hora	Fase	Valor Máximo	Estación	Fecha	Hora	Fecha de desactivación	Hora	Valor de desactivación
Ozono	SO	338	Pedregal	Miércoles	30/12/1992	16:00	II	338	Pedregal	30/12/1992	16:00	01/01/1993	17:00	117
Ozono	NO	300	ENEP Acatlán	Viernes	18/12/1992	14:00	I	300	ENEP Acatlán	18/12/1992	14:00	19/12/1992	17:00	191
Ozono	SO	360	Plateros	Viernes	20/03/1992	13:00	II	360	Plateros	20/03/1992	13:00	10/04/1992	13:00	187
Ozono	SO	293	Pedregal	Jueves	19/03/1992	12:00	I	Continua Fase II						
Ozono	SO	398	Plateros	Lunes	16/03/1992	14:00	II	398	Plateros	16/03/1992	14:00	17/03/1992	14:00	151
Ozono	SO	276	Plateros	Viernes	06/03/1992	12:00	I	276	Plateros	06/03/1992	12:00	07/03/1992	14:00	187
Ozono	SO	274	Pedregal	Martes	18/02/1992	14:30	I	277	Plateros	19/02/1992	14:00	20/02/1992	15:00	173
Ozono	NO	342	ENEP Acatlán	Jueves	06/02/1992	13:00	II	342	ENEP Acatlán	06/02/1992	13:00	07/02/1992	14:00	132
1991														
Ozono	SO	340	Pedregal	Miércoles	23/10/1991	14:00	II	340	Pedregal	23/10/1991	13:00	25/10/1991	16:00	179
Ozono	SO	267	Plateros	Miércoles	06/03/1991	12:00	I	315	ENEP Acatlán	07/03/1991	12:00	10/03/1991	14:00	162
Ozono	CE	249	Merced	Sábado	02/02/1991	13:00	I	249	Merced	02/02/1991	13:00	04/02/1991	16:00	184
1988														
Ozono	SO	298	PED/PLA*	Jueves	25/02/1988	12:00	I	298	PED/PLA	25/02/1988	13:00	28/02/1988	12:00	196
Ozono	SO	233	PED/PLA*	Miércoles	03/02/1988	12:00	I	266	PED/PLA	04/02/1988	13:00	05/02/1988	12:00	142

§ Con información del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/pcaa-historico-contingencias.pdf>.

* Contingencia aplicada de manera preventiva debido a los altos índices presentados el día anterior a la aplicación del plan y con pronóstico meteorológico desfavorable para el día siguiente.

** Aplicada bajo el criterio de 240 puntos IMECA acordado el 29 de Mayo de 1998.

*** Aplicada por partículas bajo el criterio de 175 puntos IMECA de PM₁₀.

IV.2.1.1.5 Calidad del aire en el SARA

Con la finalidad de conocer el comportamiento de la calidad del aire en el SARA definido para el proyecto, se analizó la información registrada en las estaciones de monitoreo ambiental que se encuentran dentro del área delimitada en la definición de este sistema regional delimitado para el proyecto. De acuerdo con el SARA definido para el proyecto y la ubicación de las estaciones de monitoreo ambiental, dentro de éste se ubican 13 estaciones; pero para nuestro análisis se decidió incluir, además, la estación de monitoreo de Acolman, como referencia de la calidad del aire en esa área fuera del SARA pero inmersa dentro del SAR (Tabla IV-12; Figura IV-37). Cabe aclarar que no todas las estaciones monitorean la misma cantidad de contaminantes y el tiempo de registro de las concentraciones varía entre estaciones y entre contaminantes. Aunado a lo anterior, las estaciones LAA y TEC no registran información relacionada con los contaminantes para evaluar la calidad del aire según lo informado en la base de datos del Sistema de Monitoreo Ambiental disponible, página web <http://www.aire.cdmx.gob.mx/estadisticas-consultas/concentraciones/index.php>, de donde se obtuvo la información para caracterizar la calidad del aire del SARA.

Tabla IV-12. Listado de estaciones de monitoreo ambiental y de contaminantes monitoreados por estación en el SARA definido para el proyecto.

Estación	Clave	Municipio/delegación	Contaminantes monitoreados
Acolman	ACO	Acolman	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ y PM ₁₀ .
Gustavo A. Madero	GAM	Gustavo A. Madero	O ₃ y PM _{2.5}
Iztacalco	IZT	Iztacalco	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ y PM ₁₀ .
Los Laureles	LLA	Ecatepec de Morelos	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO y SO ₂ .
La Presa	LPR	Tlalnepantla de Baz	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ y PM ₁₀ .
Merced	MER	Venustiano Carranza	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5} .
Montecillos	MON	Texcoco	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO y SO ₂ .
Nezahualcóyotl	NEZ	Nezahualcóyotl	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ y PM _{2.5} .
San Agustín	SAG	Ecatepec de Morelos	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5} .
San Juan de Aragón	SJA	Gustavo A. Madero	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ y PM _{2.5} .
UAM - Iztapalapa	UIZ	Iztapalapa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5} .
Xalostoc	XAL	Ecatepec de Morelos	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5} .
Lab. Análisis Ambiental	LAA	Gustavo A. Madero	Climatología, depósito atmosférico y pH.
Cerro del Tepeyac	TEC	Gustavo A. Madero	Depósito atmosférico y pH.

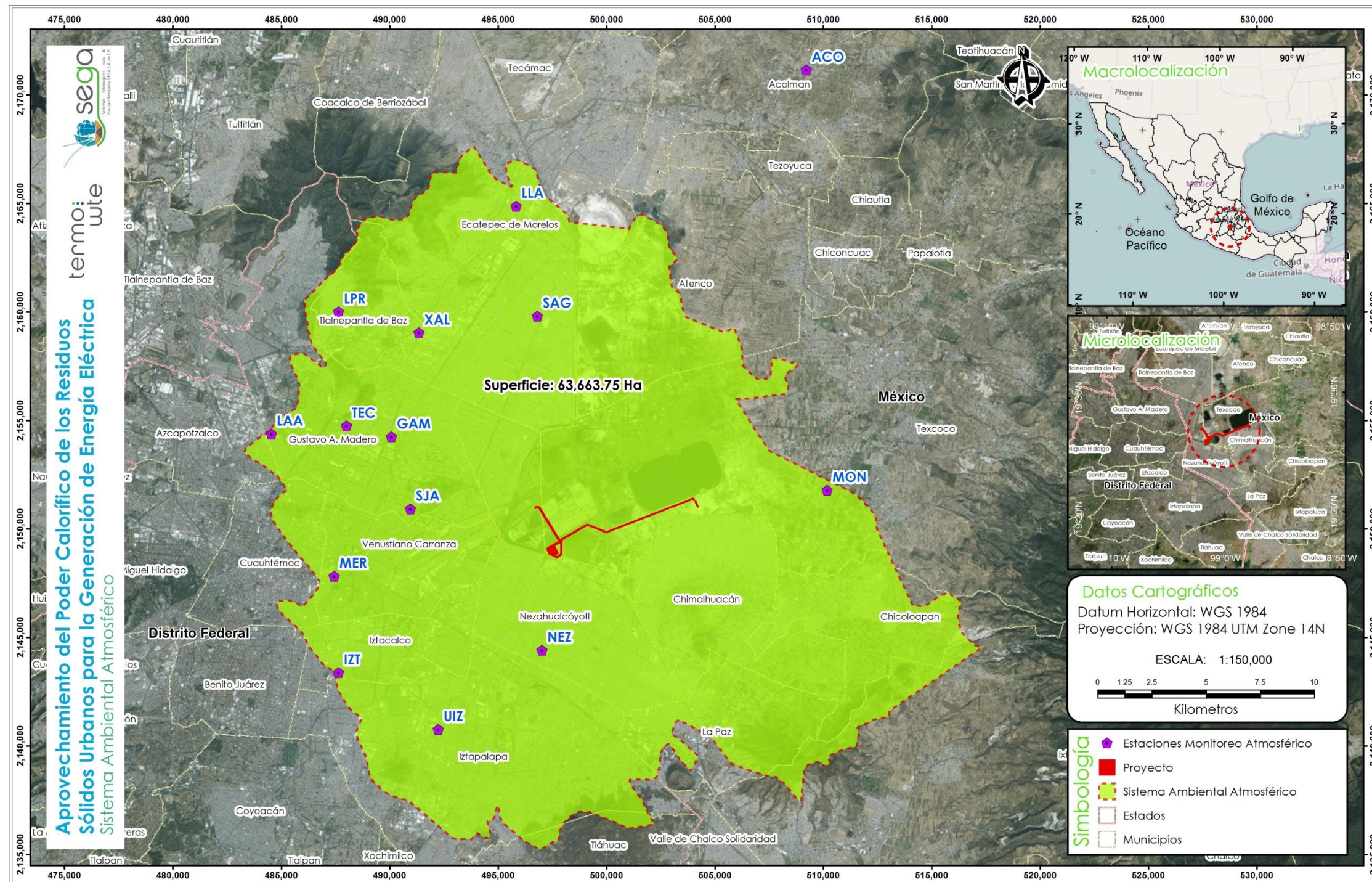
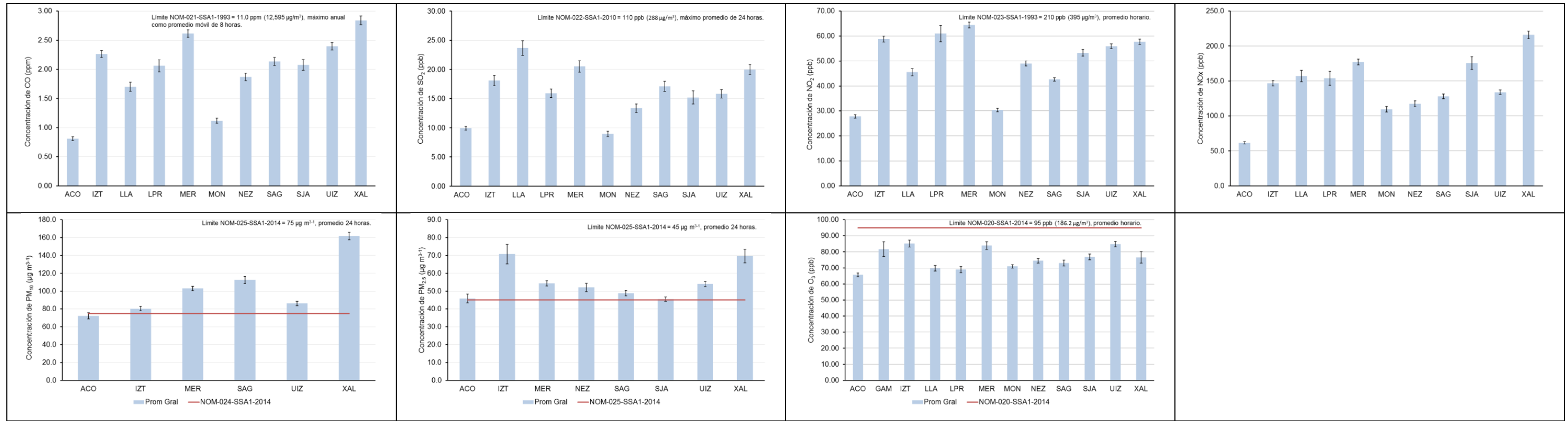


Figura IV—37. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México inmersas en el SARA definido para el proyecto.

De manera general, y con base en las concentraciones máximas diarias registradas en las estaciones de monitoreo analizadas, se encontró que no existe problema por las concentraciones de CO, SO₂, NO₂ y NO_x, ni con las concentraciones promedio de O₃, ya que los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límite máximos establecidos en la normatividad mexicana respectiva (Tabla IV–9; Figura IV–38). Pero, por otro lado, se encontraron valores de concentración de partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, en la mayoría de las estaciones, que rebasan los valores límite de la norma NOM-025-SSA1-2014, solo ACO y SAJ muestran valores promedio que están en el límite de los valores de la norma.



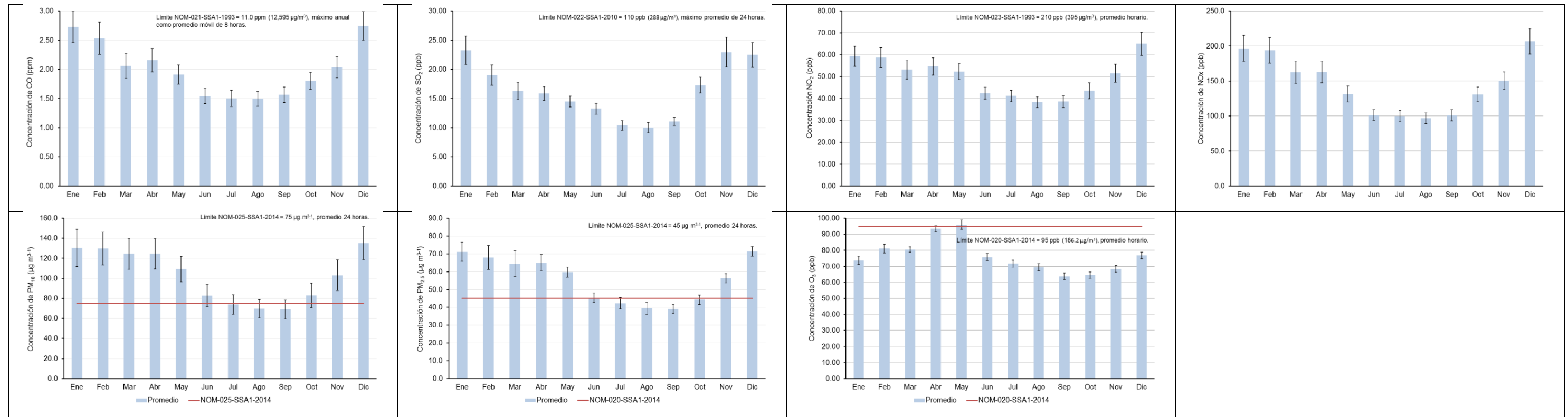
Fuente: Elaboración propia con información de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/estadisticas-consultas/concentraciones/index.php>.

Figura IV—38. Concentraciones promedio máximas de contaminantes registradas en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas dentro del SARA definido para proyecto entre 2005 y 2016.

Cuando se comparan los resultados promedio mensuales de las concentraciones máximas diarias de los contaminantes, se encontró un patrón similar a través del año con valor más altos en la época de secas, entre octubre y mayo, cayendo en el periodo de mayor precipitación, junio septiembre (Figura IV–39).

El O_3 muestra un comportamiento un poco diferente entre meses, mientras los otros contaminantes llegan a su máxima concentración en diciembre – enero y después empiezan a disminuir, el O_3 empieza a incrementar ligeramente en octubre, alcanzando sus máximas concentraciones en abril y mayo, llegando a rebasar el valor límite de norma, con una caída fuerte en junio (Figura IV–39). Un comportamiento similar fue reportado por Barret y Raga (2016), quienes encontraron una concentración de O_3 30% mayor en la primavera que en el resto del año, y la menor concentración en septiembre, lo cual fue atribuido a las mayores precipitaciones.

Por otro lado, se encontró que las concentraciones máximas diarias promedio por mes de las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ se encuentran rebasando el valor límite de norma de octubre – noviembre a mayo – junio (Figura IV–39).



Fuente: Elaboración propia con información de la SEDEMA del Gobierno de la Ciudad de México, en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/estadisticas-consultas/concentraciones/index.php>.

Figura IV—39. Concentraciones máximas, promedio mensuales, de contaminantes registradas en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas dentro del SARA del proyecto entre 2005 y 2016.

Tomando en cuenta que el SARA implica una gran superficie (63,663.75 ha), en la que se pueden generar diferentes contaminantes, y que se encuentra ubicada en una zona con diversos flujos de viento que pueden influir en su dispersión, se realizó un análisis para identificar algún patrón de concentración (distribución) de éstos. Para ello, se efectuó un análisis multivariado considerando los valores máximos diarios registrados en las estaciones de monitoreo del 2005 al 2016, considerando solamente al O₃, NO₂ y SO₂. El O₃ se incluyó por ser uno de los contaminantes que más ha influido históricamente en la activación de las contingencias ambientales en la zona metropolitana (Tabla IV–11), y el NO₂ y SO₂ por ser de los contaminantes que son monitoreados por un mayor número de estaciones, lo que ayuda a la comparación entre ellas.

El análisis multivariado consistió de un análisis de componentes principales considerando las 12 estaciones de monitoreo con información de contaminantes y los promedios mensuales de los máximos diarios, usando el coeficiente de correlación de Pearson, y, considerando que una estación tenía datos perdidos (GAM), se utilizó el método de eliminación “pairwise”. Posteriormente, se llevó a cabo la agrupación de estaciones de monitoreo por características similares a través de un análisis clúster jerárquico con los cinco primeros factores del análisis de componente principales, en este primer análisis explicaron el 97.8% de la variabilidad, método Ward de aglomeración, distancia euclidiana y con truncamiento automático. Para este análisis se utilizó el programa estadístico XLSTAT 2017.

Del análisis de componentes principales resultó que los dos primeros factores explicaron el 84.02% de la variabilidad, donde tan solo el primer factor explicó el 63.37% (Figura IV–40). Las estaciones que más influyeron en el primer factor fueron ACO (33.8%), MON (23.3%) y MER (15.4%); y, por otro lado, en el segundo factor fueron LLA (50.4%), UIZ (11.3%) e IZT (6.1%).

De este análisis se desprende que, de manera general, la estación de monitoreo MER está fuertemente asociada a las concentraciones de NO_2 en los meses de octubre a mayo. Las estaciones IZT, UIZ y SJA se encuentran asociadas, en diferente nivel, a las máximas concentraciones diarias de O_3 , además, la estación IZT se asocia a las concentraciones de NO_2 de junio y septiembre. Las estaciones LLA, XAL y, con un nivel más bajo, LPR se asocian a las concentraciones de SO_2 . Por último, las estaciones de monitoreo MON y ACO no se encuentran asociadas a las concentraciones de ninguno de estos contaminantes.

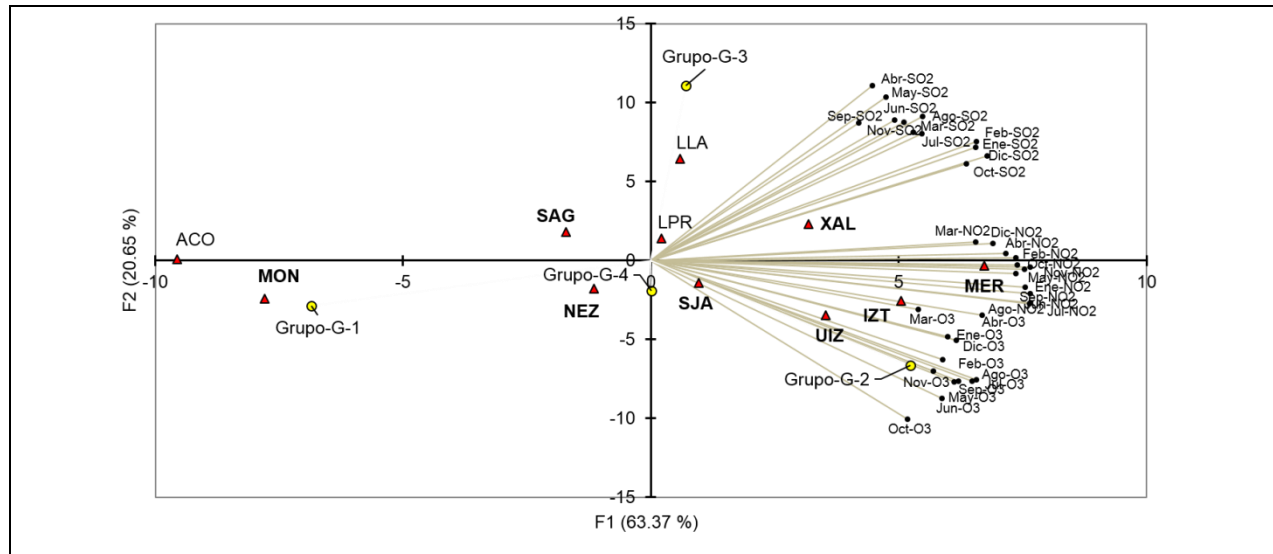


Figura IV—40. Factores principales relacionando grupos, estaciones de monitoreo ambiental y registro de los contaminantes O_3 , SO_2 y NO_2 .

Por medio del análisis clúster jerárquico, se identificaron cuatro grupos (Figura IV—41), con diferencia entre grupos del 71.3% y dentro de grupo del 28.7%. Los grupos quedaron conformados por las estaciones ACO y MON, grupo 1; IZT, MER y UIZ, grupo 2; LLA, SAG y XAL, grupo 3, y el grupo 4 por LPR, NEZ y SJA.

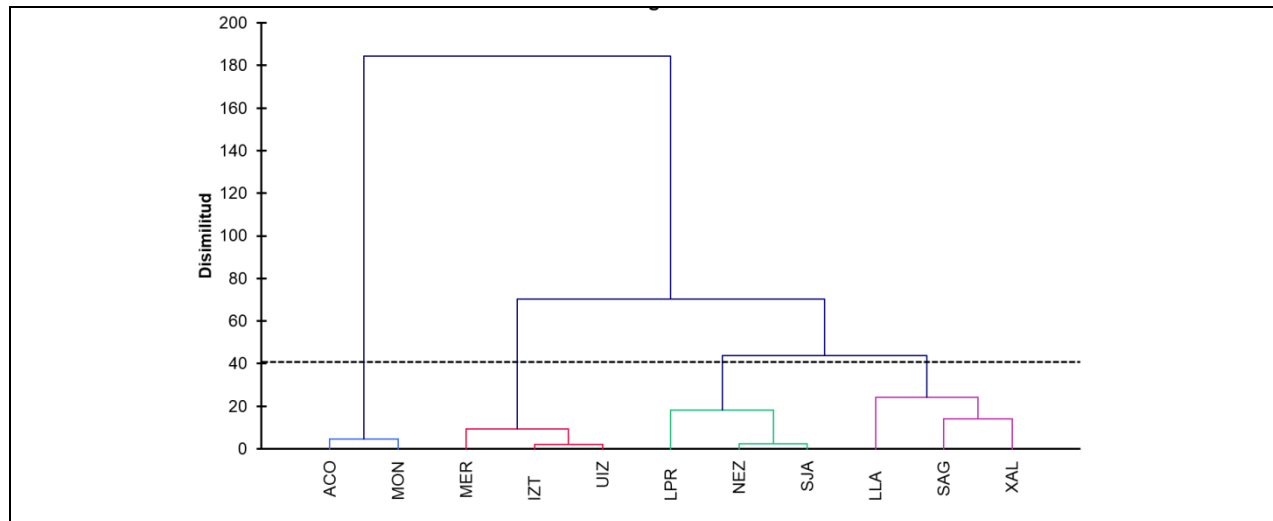


Figura IV—41. Conformación de grupos del análisis clúster jerárquico con base a la concentración promedio mensual de los valores máximos diarios de los contaminantes O_3 , SO_2 y NO_2 .

Las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del grupo 1 se ubican al noreste y este del SARA del proyecto; las del grupo 2 al suroeste del SARA en las delegaciones Cuauhtémoc, Iztacalco e Iztapalapa; las del grupo 3 al norte – noroeste del SARA, en el municipio de Ecatepec de Morelos y, las del grupo 4 tiene una distribución que va del centro-sur al noroeste del SARA, comprendiendo Nezahualcóyotl, Gustavo A. Madero y Tlalnepantla de Baz (Figura IV–37).

Las estaciones del grupo 1 se caracterizan por tener la menor variación y concentración de SO_2 , NO_2 y O_3 , como se puede ver en las gráficas de dispersión de la Figura IV–42. De estas estaciones, la de Montencillos (MON) es la que llega a rebasar ocasionalmente el nivel máximo de O_3 establecido en la NOM-020-SSA1-2014 (95 ppb, promedio horario), usado como valor de referencia. Adicionalmente, estas estaciones también tienen las menores variaciones y concentraciones CO. La concentración de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ fueron altas en la estación ACO, MON no tiene información al

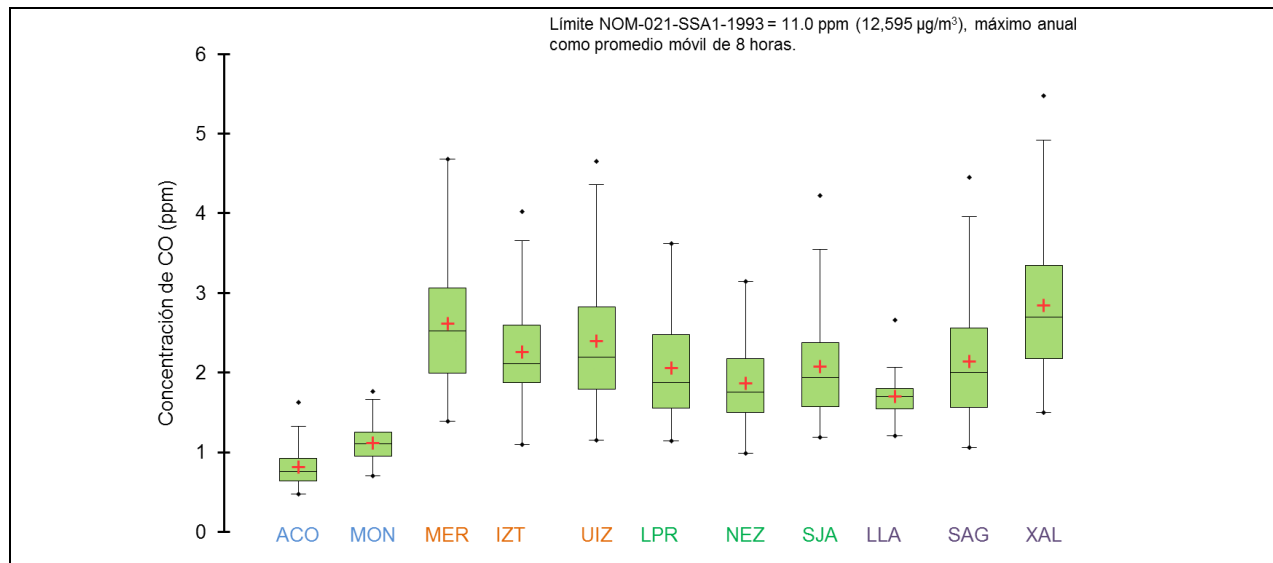
respecto, donde aproximadamente el 50% o valor promedio de los valores obtenidos se encuentran cerca del límite máximo establecido por la norma (Figura IV-42).

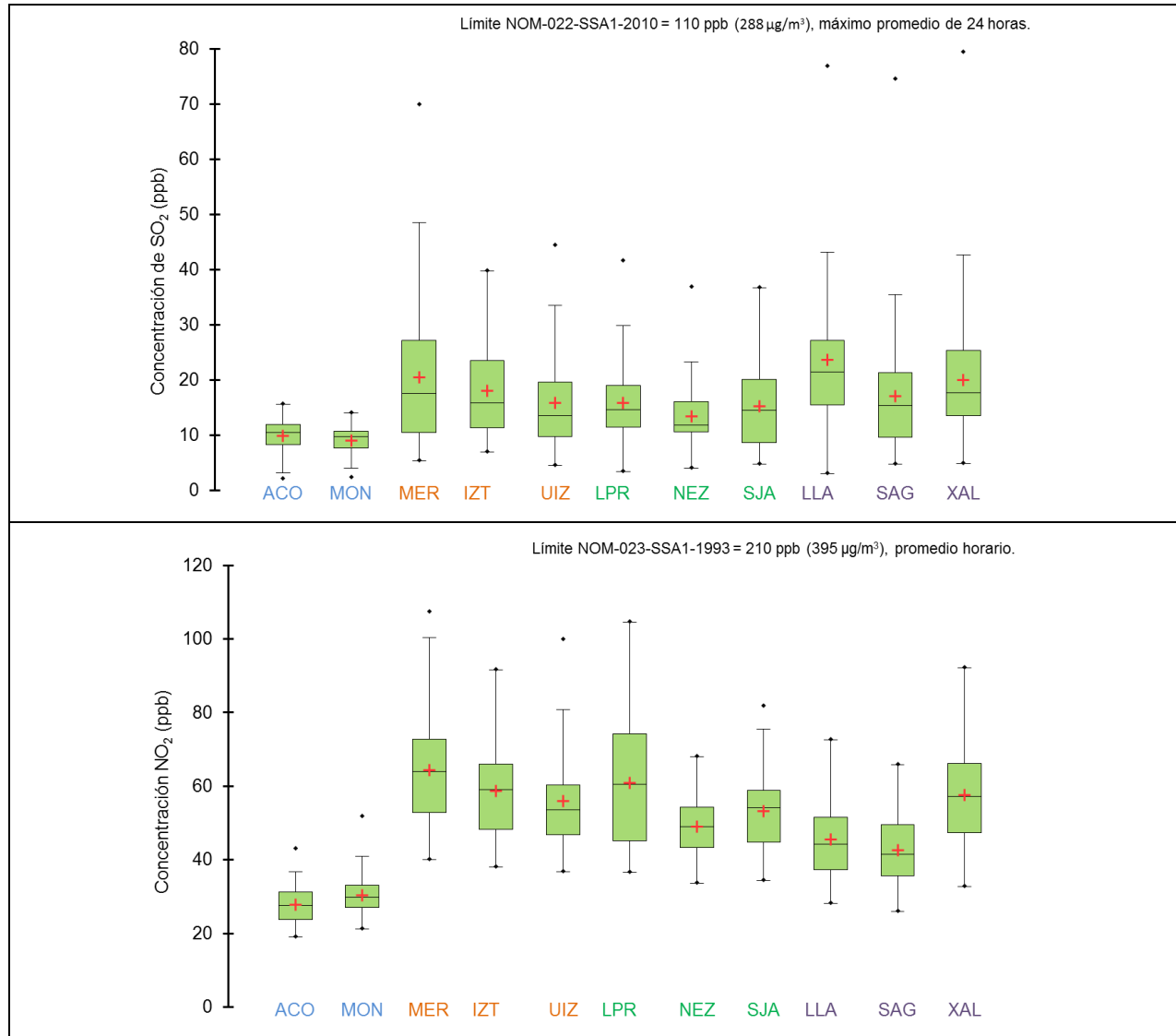
Las estaciones del grupo 2 alcanzan las mayores concentraciones de O₃, donde los valores más altos alcanzados, menos del 25% del total de los datos, llegan a estar sobre el valor de los 95 ppb establecido como valor límite por la NOM-020-SSA1-2014. Las concentraciones que sobresalen (conocidos como valores raros u outliers) en estas estaciones 241.5, 198.9 y 181.6 ppb para MER, IZT y UIZ, respectivamente, se presentaron en el 2008 donde hubo entre 7 y 9 días con concentraciones entre 100 y 144 ppb específicamente en los meses de enero (MER y UIZ) y diciembre (IZT). Grupalmente también son las estaciones que alcanzan las concentraciones más altas de NO₂, sin llegar al valor límite de norma, aunque en este caso la estación XAL, del grupo 3, tuvo un comportamiento muy similar en cuanto a dispersión y sesgo de valores a las de estaciones de este grupo. Adicionalmente, el mismo comportamiento antes descrito en estas estaciones se presenta en la concentración de CO. Además, las estaciones de este grupo también muestran altas concentraciones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} con valores promedio o el 75% de los datos por arriba de valores límite de la NOM-025-SSA1-2014 para ambos contaminantes, pero sin llegar a tener la mayor dispersión de valores.

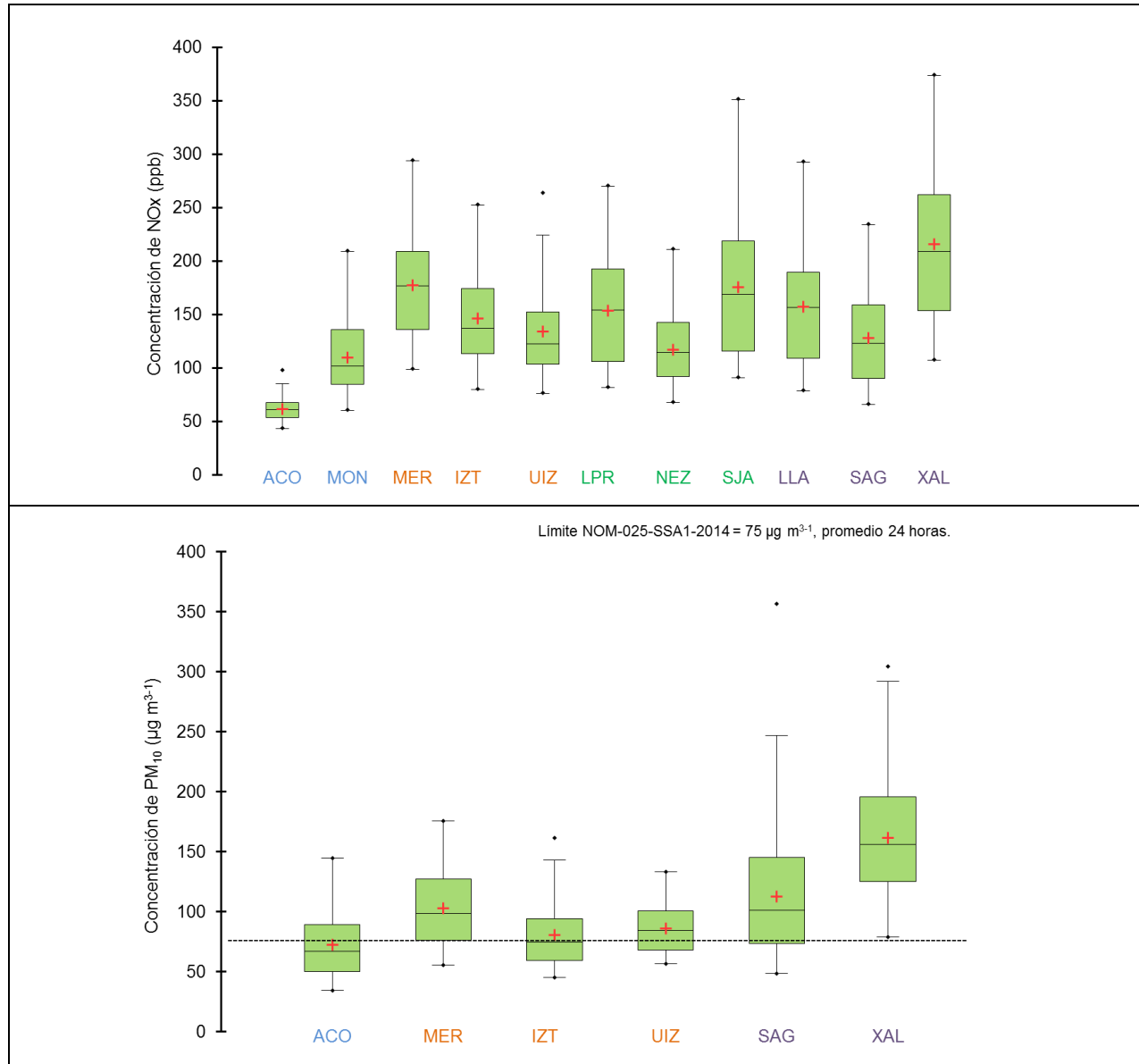
Las estaciones del grupo 3 tienen en común que son las que llegaron a alcanzar las mayores concentraciones de SO₂ y, de manera grupal, la mayor concentración y rango de dispersión. Los valores sobresalientes se presentaron en el año 2005, en abril para las estaciones XAL y SAG y en noviembre en la estación LLA. No tienen el rango más amplio de dispersión en la concentración del O₃ pero en las tres estaciones se alcanza a rebasar el valor límite normado, siendo la estación XAL la que tiene el mayor valor registrado. Además, las estaciones de este grupo SAG y XAL muestran entre el 50 y 100% de valores de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} por arriba de los valores límite establecidos en norma. En la estación SAG sobresale el valor 356.6 µg m⁻³ para la concentración PM₁₀, el cual corresponde al mes de marzo de 2006 cuando se tuvieron dos días en los

que se rebasó los $1,000 \mu\text{g m}^{-3}$ ($1,570$ y $1,261 \mu\text{g m}^{-3}$, para los días 16 y 19 de marzo, respectivamente).

Por último, las estaciones del grupo 4 son más uniforme en las variaciones y concentraciones de las tres variables usadas en el análisis, O_3 , SO_2 y NO_2 , sin destacar grupalmente por tener las mayores concentraciones de alguna de ellas. Ocasionalmente llegan a rebasar el valor límite de O_3 , y para el caso de las partículas $\text{PM}_{2.5}$ más del 50% de los calores encontrados están por arriba del valor límite de la norma.







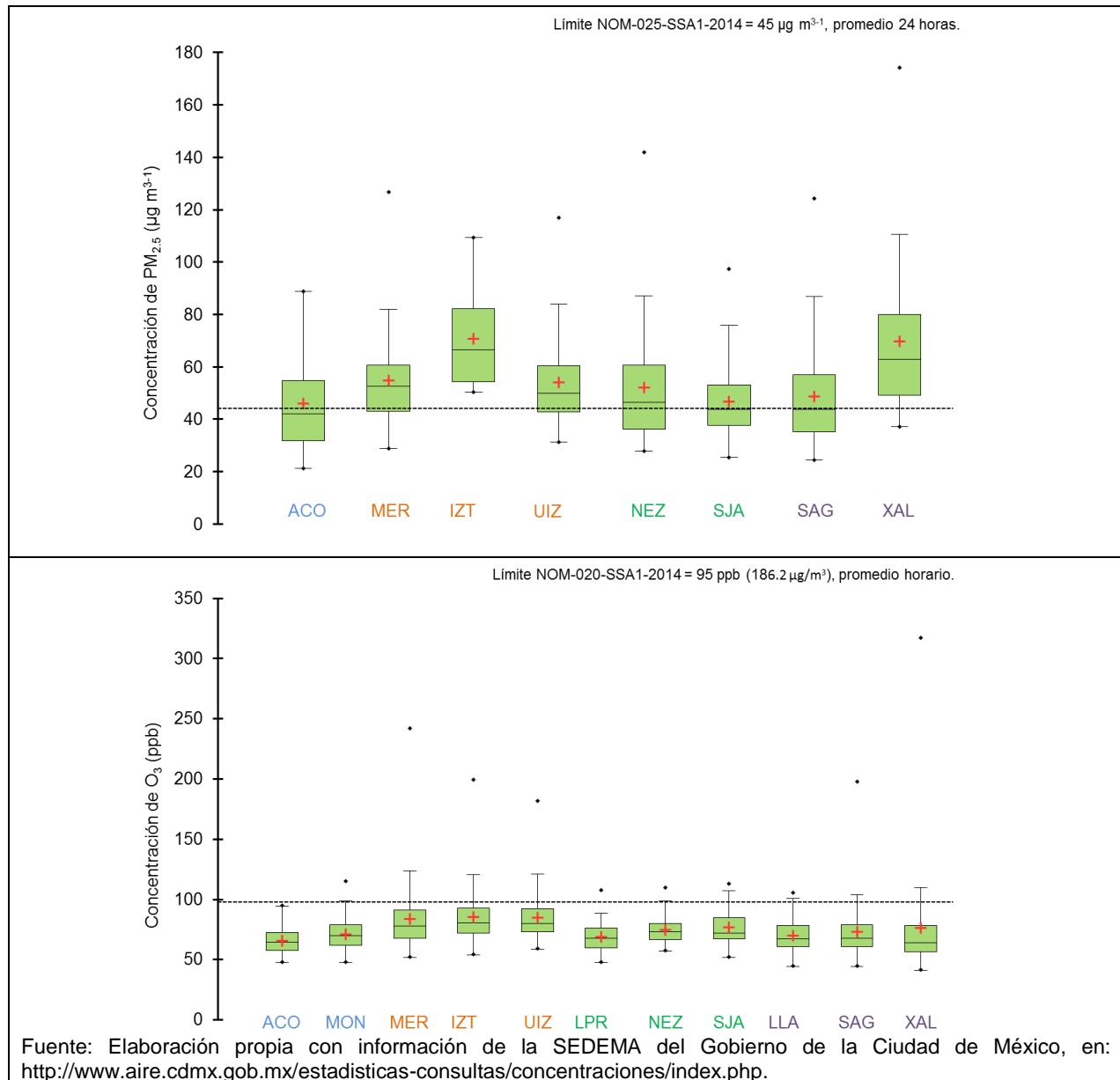


Figura IV—42. Dispersión de las concentraciones máximas de contaminantes en las estaciones de monitoreo ambiental inmersas en el SARA en el periodo 2005 – 2016.

De manera general, se puede decir que las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} son las que representan mayor problema en las estaciones de monitoreo analizadas, considerando los valores máximos diarios registrados, ya que prácticamente todos los valores

promedio se encuentran por arriba de los valores límite establecidos en la NOM-025-SSA1-2014, para cada uno de ellos. Seguido de las partículas, se tiene el problema de las altas concentraciones de O₃ que se llegan alcanzar en 10 de las 11 estaciones que tienen información al respecto, ya que logran rebasar el valor límite establecido en al NOM-020-SSA1-2014.

IV.2.1.2 Ambiente sonoro

El ambiente sonoro está conformado por las ondas que constituyen el sonido y ruido generado por diversas fuentes en un punto y tiempo dado. Sonido y ruido algunas veces se utilizan indistintamente, como sinónimos, sin embargo, existe una diferencia entre ellos. Mientras sonido se refiere, en sentido general, al efecto auditivo que es agradable para el oído, como sentido del ser humano, el ruido hace referencia a las ondas acústicas fuertes, no deseadas y desagradables para el sentido.

De acuerdo con la Organización Mundial de Salud (WHO, por sus siglas en inglés) (WHO, 1999), el ruido ha sido un problema ambiental desde siglos atrás, el cual ha venido agravándose con el paso del tiempo debido a las actividades humanas, siendo más impactante en las zonas urbanizadas.

En las grandes ciudades, como la Ciudad de México, las principales fuentes generadoras de ruido son los vehículos automotores, la actividad industrial, las diversas actividades en calles y edificios y las actividades de entretenimiento, con el 80, 10, 5 y 5% de la contaminación promedio, respectivamente.

Entre las dos características importantes del ruido están su duración e intensidad. Por su duración se tienen los ruidos intermitentes que se dan por cierto lapso de tiempo en un espacio dado, y los continuos, éstos tienen un periodo largo de generación, sin interrupción, en un espacio dado. Y, la intensidad es la energía radiada por una fuente en la unidad de tiempo que atraviesa la unidad de superficie (Mestre, S/F), está

relacionada con la distancia a la fuente generadora. La unidad de medida es el decibelio (dB) y se mide con un sonómetro.

Dependiendo de la intensidad será el grado de afectación o no al ser humano. De acuerdo con la información proporcionada por la WHO (1999), se espera que intensidades menores de 70 dB(A) no representen un problema para la salud (deficiencias auditivas), aun y cuando estén expuestos por muchos años. El límite máximo permisible de ruido laboral para adultos definido por la WHO es de 140 dB, y para niños jugando con juguetes ruidosos es de 120 dB.

Los efectos que tiene la contaminación acústica en los seres humanos son (WHO, 1999):

- Trastornos del sueño.
- Efectos sobre las funciones fisiológicas (hipertensión y cardiopatía).
- Acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales.
- Efectos negativos sobre el rendimiento laboral y en el aprendizaje de niños.
- Efectos en la conducta y relaciones sociales, e
- Interferencia en la vía de comunicación de la sociedad.

Los valores guía para el ruido de fondo, entendido éste como la mezcla de sonidos de intensidades, frecuencias y duraciones diversas producidos por un conjunto de fuentes y actividades, definidos por la WHO (1999) para cierto tipo de ambientes se presentan en la Tabla IV–13.

Tabla IV-13. Valores para el ruido de fondo establecidos por la Organización Mundial de la Salud para ambientes específicos y los efectos críticos a la salud en caso de ser rebasados.

Ambiente específico	Energía equivalente [dB(A)]	Tiempo (h)	Efecto
Exteriores	55	16	Molestia grave en el día y al anochecer.
	50	16	Molestia moderada en el día y anochecer.
Interiores de una vivienda y dormitorios	35	16	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer.
	30	8	Trastorno del sueño durante la noche.
Salones de clase	35	Durante clase	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje.
Escuelas (áreas de juego)	55	Durante el juego	Molestia (fuente externa).
Hospitales, pabellones, interiores	30	8	Trastorno del sueño durante la noche.
	30	16	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer.
Áreas industriales, comerciales y de tránsito	70	24	Deficiencia auditiva.
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	100	4	Deficiencia auditiva.

Aunado a los efectos que tiene la contaminación acústica en la sociedad, se debe tomar en cuenta que ésta también impacta negativamente el comportamiento de la fauna silvestre, en este caso específico a la terrestre. Su efecto dependerá de la taxa y hasta especies, ya que tienen diferente nivel de respuesta a las ondas y niveles acústicos. Bowles (1995) reportó que los mamíferos pueden tener una sensibilidad por debajo de los 20 dB. En este caso, la sensibilidad se debe entender como el sonido más débil que pueden oír. Las aves muestran mayor uniformidad en su capacidad auditiva que los mamíferos en un rango que va de los 0 a los 10 dB; aunque los búhos son una de las pocas excepciones con un rango de sensibilidad entre 15 y 20 dB (Bowles, 1995).

La autora arriba mencionada refiere que los reptiles han sido menos estudiados, sin embargo, se menciona que las tortugas tienen una deficiencia auditiva, estando su

mejor sensibilidad entre los 40 y 50 dB. En este caso, las lagartijas resultan ser más sensibles con un rango que va de los 10 a los 20 dB. Por último, resulta que los anfibios son los que muestran un rango de sensibilidad más amplio, mismo que va de los 10 a los 60 dB.

Francis y Barber (2013) mencionan que el ruido puede impactar el comportamiento animal que se pueden agrupar en cuatro categorías: a) cambios conductuales temporales; b) alterando la distribución y movimiento espacial; c) afectando los hábitos de consumo o mejorando su capacidad para interactuar con depredadores y, d) cambios en la forma de atraer parejas y en la defensa territorial.

Estudiando el efecto de la contaminación acústica en aves, Arpacik et al. (2016) mencionaron que ésta impacta su comportamiento, especialmente en el apareamiento, anidación y alimentación. En este mismo grupo de fauna, Francis y Barber (2013) y Peris y Pescador (2004) encontraron que el ruido que se emite tiene un efecto adverso en ciertas especies, pero no en toda la comunidad de aves de una región, lo que llega a reflejarse en una reducción en la diversidad de especies. Esto último también lo reportan Francis et al. (2009) estudiando el efecto que tiene la contaminación acústica en la distribución y anidamiento de aves, encontrando que el ruido redujo la diversidad de especies anidadas, guiando a una diferenciación de comunidades y favoreciendo la reproducción debido a la reducción de algunos depredadores. Además, si bien Peris y Pescador (2004) encontraron la afectación para ciertas especies de aves, también refieren que existen especies que tienden a ser más abundantes cerca de carreteras con ruido más intenso. Estos últimos autores no mencionan cuantitativamente las intensidades de ruido de las carreteras bajo estudio, pero Mestre (S/F) refiere que un coche en una autopista emite una intensidad de 100 dB (muy ruidoso), un camión pesado (a 6 m de distancia) emite una intensidad de 90 dB (muy ruidoso) y una calle con mucho tráfico 80 dB.

En México, las emisiones de ruido están reguladas por la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994 que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición, la cual fue publicada el 13 de enero de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Esta norma tiene el objetivo de establecer los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y su método de medición. Posteriormente, el 03 de diciembre de 2013 se publicó, en el mismo medio, el acuerdo por el que se modifica su numeral 5.4, que define los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación “A”, por tipo de zona y horario, la cual quedó como se indica en la Tabla IV-14.

Tabla IV-14. Valores máximos permisibles de ruido de fondo establecidos en el acuerdo de modificación de la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994.

Ambiente específico	Horario	Límite máximo [dB(A)]
Residencial (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (exteriores en juegos)	Durante el juego	55
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	4 horas	100

Para conocer el nivel acústico en el área donde se pretende construir la planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos, el 04 de abril del presente año se efectuó la medición del ruido de fondo, es decir, el nivel sonoro que corresponde al ruido ambiental producido por todas las fuentes, sin la operación de la planta que se pretende construir. Éste incluye las emisiones de ruido generadas por la operación del aeropuerto internacional Benito Juárez, incluyendo las actividades de despegue y aterrizaje de los aviones.

Para la realización de este trabajo se siguió la metodología establecida en la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994. La medición del ruido de fondo realizada fue continua, tomándose un total de 88 puntos de medición, entre las 10:30 y las 13:00 horas. Éstos se ubicaron en torno al predio que se proyecta para alojar la fuente fija, a

una distancia aproximada de 20 m de separación entre cada uno. El tiempo de medición fue de 2 minutos para cada punto, lo que corresponde a un tiempo total de 176 minutos de medición; donde el sonómetro realizó integraciones parciales del nivel sonoro continuo equivalente cada 5 segundos durante el tiempo de medición descrito de dos minutos. Asimismo, para cada punto de medición se obtuvieron simultáneamente los valores del nivel sonoro continuo equivalente empleando la característica de ponderación en frecuencia “A” y “C”. La característica de ponderación temporal reportada corresponde a respuesta “FAST”; determinándose adicionalmente los valores de los percentiles 10, 50 y 90 ponderados en “A” y, el micrófono del sonómetro se colocó a una altura de 1,4 m sobre el nivel del piso para la medición. Adicionalmente a los valores exigidos por la norma, para cada punto se obtuvo el Nivel Sonoro Continuo Equivalente ponderado en “C” y el espectro en función de la frecuencia.

Aunado a las mediciones de campo, se realizó una simulación del nivel de fondo a alcanza con la fuente fija en operación. Para este ejercicio se empleó el software de modelación acústica CadnaA, versión 4.4, de la compañía DataKustik. Este paquete de modelación utiliza la norma industrial ISO 9613-2 (Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2. General method of calculation) para determinar la propagación del sonido. Asimismo, permite el cálculo del comportamiento acústico a partir de la contribución de múltiples fuentes de ruido, basando el procesamiento de datos en los niveles de presión acústica por bandas de octava, la consideración de múltiples reflexiones, la difracción producida por edificios, barreras y obstáculos y la absorción del terreno. Todo lo anterior, en conjunto, hace posible considerar las fuentes, primarias y secundarias, la geometría, la topografía y sus efectos en el modelo de la propagación del sonido.

Los resultados obtenidos evidencian que, al momento de realizar las mediciones del nivel de fondo en el área del predio del proyecto éstas no representaron un problema. El nivel sonoro continuo equivalente “A” promedio obtenido fue de 45.8 dB (Tabla IV–

15), con valores que fluctúan entre 32.8 y 51.7 dB(A). Los resultados obtenidos se encuentran por debajo del establecido por la WHO para exteriores [55 dB(A), Tabla IV–14]; y al establecido en la modificación de la NOM-081-SEMARNAT-1994 para zonas industriales y comerciales y residenciales (68 y 55 dB, respectivamente) (Tabla IV–14; Figura IV–43; Anexo III).

Tabla IV-15. Niveles sonoros continuos equivalentes “A” y “C” promedios obtenidos en el área del predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico durante el día.

Medición	Energía equivalente [dB(A)]
Nivel sonoro continuo equivalente “A” (LeqA)	45.8
Nivel sonoro continuo equivalente “C” (LeqC)	62.4
Percentil 10	49.2
Percentil 50	42.2
Percentil 90	37.3

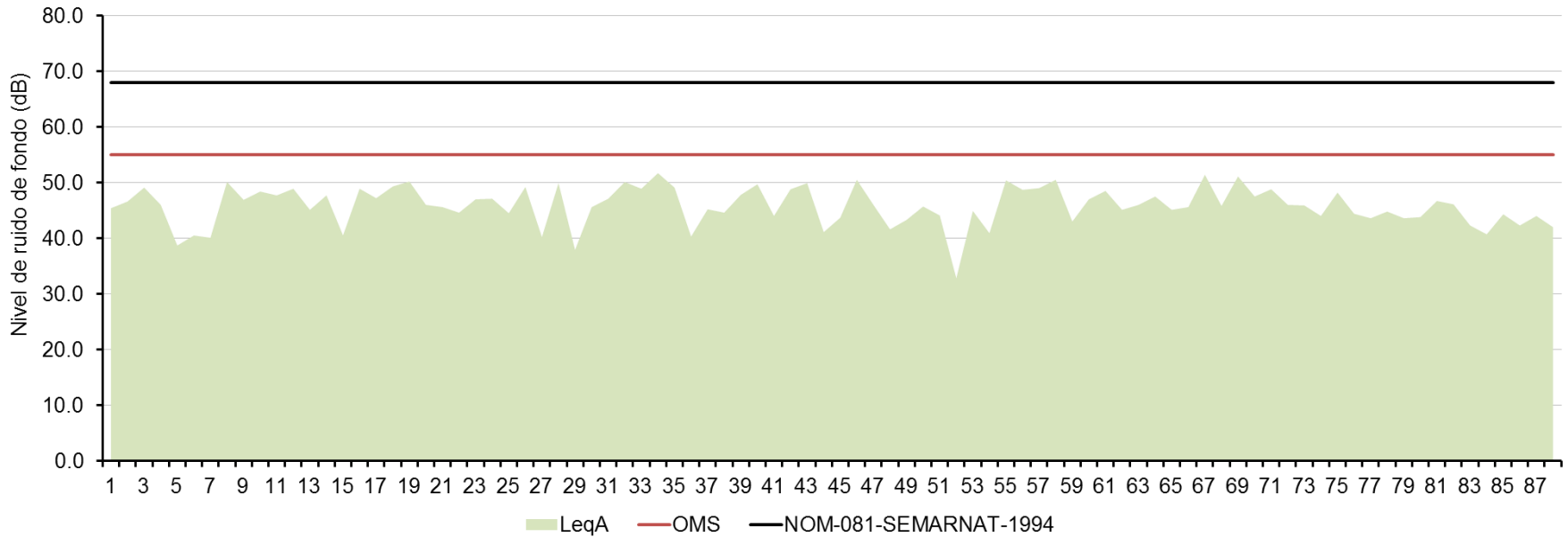


Figura IV—43. Variación del ruido de fondo promedio medido durante el día en los 88 puntos en el predio del proyecto de la planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos. La línea roja representa el valor establecido por la OMS para exteriores y la línea negra el límite máximo indicado en la NOM-081-SEMARNAT-1994 para áreas industriales y comerciales durante el día.

Del ejercicio de simulación del ruido de fondo, ya con la planta en operación, resultó que éste fluctuaría entre 36.5 y 48.4 dB(A), valores por debajo a los definidos por la WHO (1999) para exteriores y por la NOM-081-SEMARNAT-1994 para áreas industriales y comerciales y residenciales (Figura IV–44). Los ruidos de fondo más elevados se tendrían en la parte norte y noroeste del predio y los más bajos al sureste, lo que estaría regulado por la distribución de los componentes de la planta.



Figura IV—44. Nivel de ruido de fondo en el área de influencia del proyecto simulando la planta en operación. Los representan el nivel sonoro continuo equivalente en “dB(A)” (LeqA).

IV.2.1.3 Fisiografía

México es un país con una gran variación topográfica y geológica, representado por sistemas montañosos que corren cerca o relativamente cerca de las zonas de costa,

mesetas o valles centrales, planicies costeras y áreas con poco relieve en los extremos, con intercalación entre ellas. Esta gran variación llevó a diferenciar y clasificar el territorio nacional en provincias y subprovincias fisiográficas donde las provincias representan las características generales del relieve de una región específica y, las subprovincias agrupa regiones con características topográficas similares que las diferencian de otras dentro regiones.

El INEGI presentó la clasificación fisiográfica del territorio nacional dividiéndolo en 15 provincias y 73 subprovincias. El SAR delimitado para el desarrollo del proyecto se ubica en la provincia denominada “Eje Neovolcánico o Sierra Volcánica Transversal” (Figuras IV–45), la cual, a su vez, se divide en 15 subprovincias. Esta provincia es la única que atraviesa el país del océano Pacífico al Golfo de México, constituyendo una franja de 130 km de ancho y 880 km de largo (Tagoda, 2008). Según lo mencionado por este autor, en la costa occidental esta provincia inicia en la desembocadura del río Grande Santiago, San Blas, Nayarit y en Bahía de Banderas, Jalisco, y llega a Palma Sola, Veracruz, abarcando la cadena del Pico de Orizaba y Cofre de Perote. Comprende, parcial o totalmente, los estados de Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Aguascalientes, Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Estado de México y Ciudad de México.

Entre las características que distinguen a esta provincia es la presencia de grandes volcanes, como el Pico de Orizaba (5,610 msnm), Popocatepetl (5,465 msnm), Iztaccíhuatl (5,230 msnm), Nevado de Toluca (4,680 msnm), Nevado de Toluca (4,680 msnm), Nevado de Colima (4,240 msnm) y el volcán de Fuego (3,838 msnm). Además, también existen cuencas cerradas como la del Valle de México y la de los lagos de Michoacán: Pátzcuaro, Zirahuen y el de Chapala, el más grande del país.

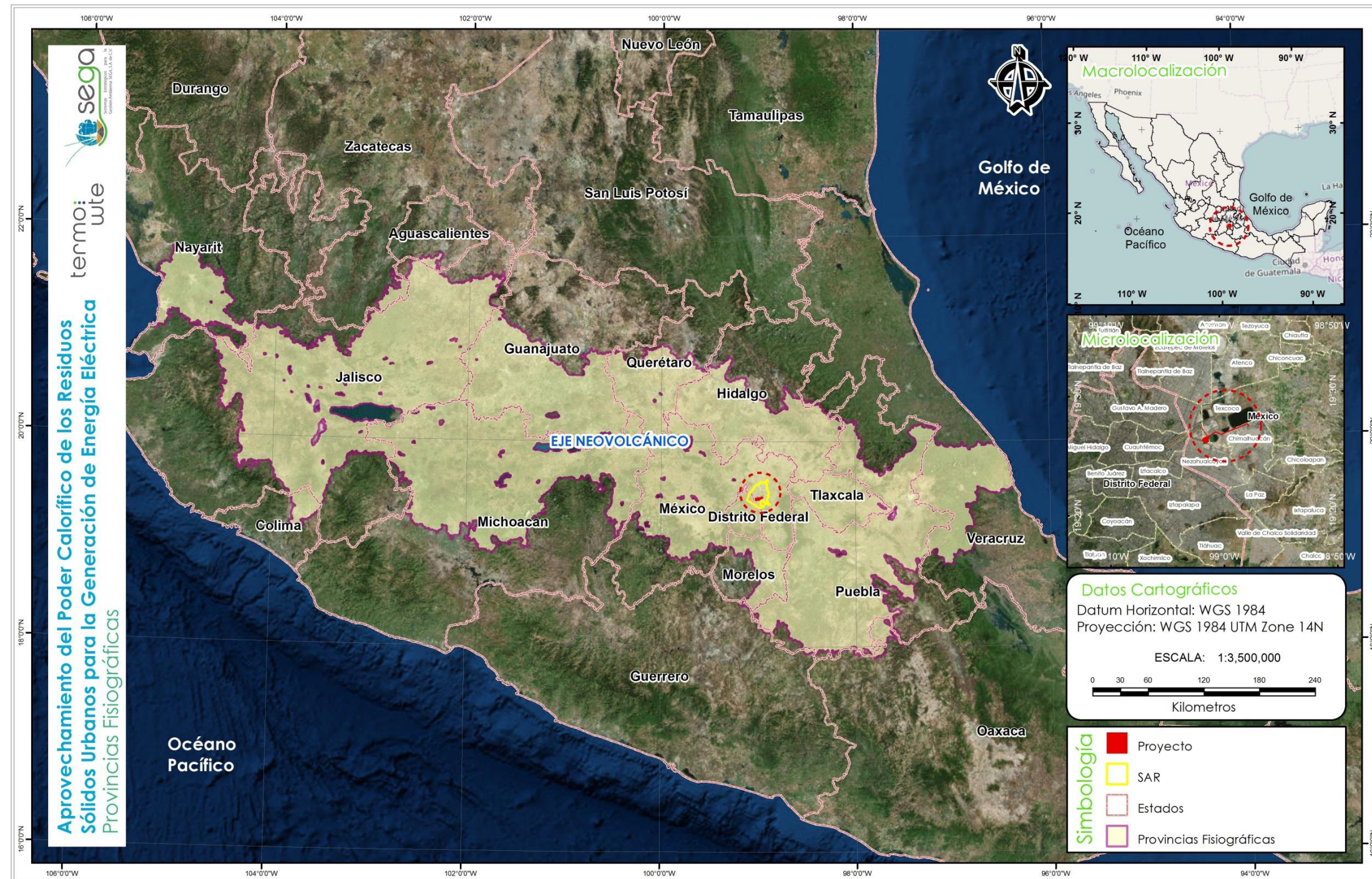


Figura IV—45. Provincias fisiográficas definidas por el INEGI para el territorio nacional.

En otro nivel, el SAR se ubica dentro de la subprovincia fisiográfica “Lagos y volcanes de Anáhuac” (Figura IV–46). Ésta se conforma, parcial o totalmente, por los estados de Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz, Estado de México y la Ciudad de México.

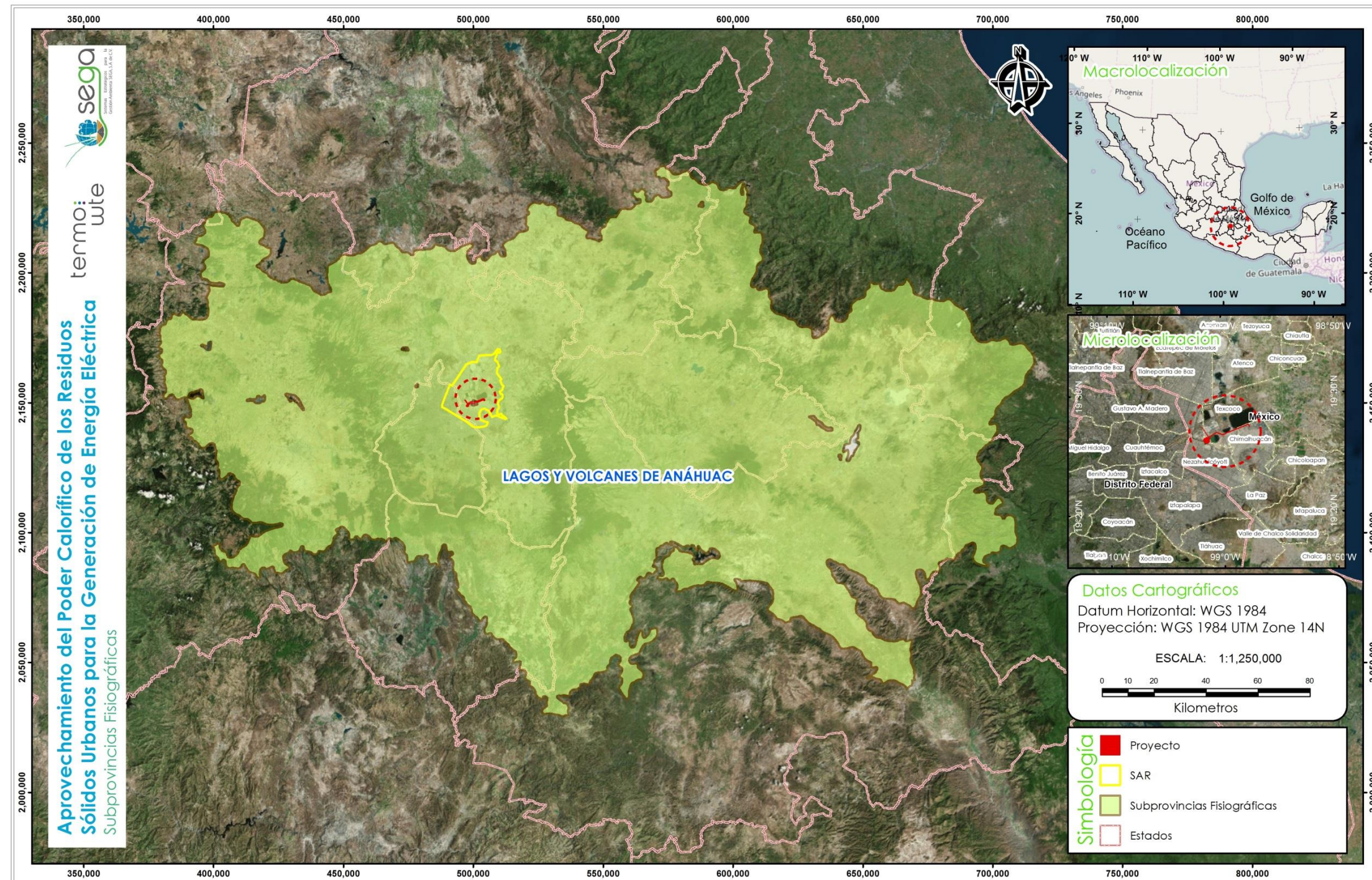


Figura IV—46. Ubicación del sistema ambiental regional y predio del proyecto con respecto a la subprovincia fisiográfica Lagos y volcanes de Anáhuac.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se encuentra delimitada por elevaciones topográficas de origen volcánico sobresaliendo la Sierra de Guadalupe al norte, la Sierra de Las Cruces al poniente, la Sierra Chichinautzin al sur, el volcán del Ajusco al suroeste y la Sierra Nevada al oriente; más hacia el sur se tiene influenciando al Valle de México la Sierra Madre del Sur, principalmente por las elevaciones de Huautla y La Caldera de Tilzapotla, en Morelos, y Taxco, Guerrero (Figura IV–47). Dentro de este valle existen algunos sistemas volcánicos aislados, siendo los principales los que forman la Sierra de Santa Catarina y existiendo algunos otros que aparecen en forma aislada como son el Peñón del Marqués, el Peñón de los Baños y el Cerro de La Estrella.

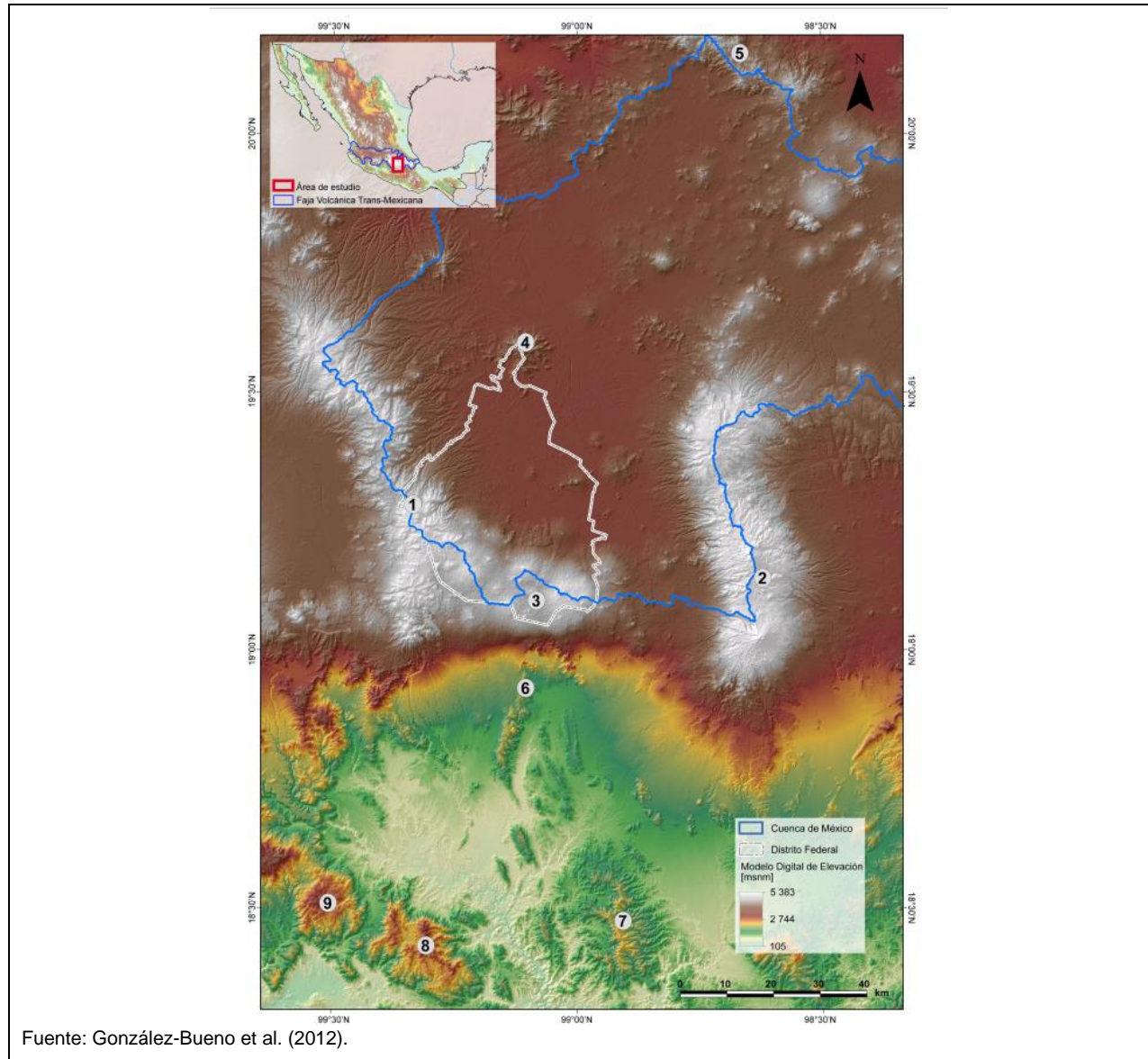


Figura IV—47. Ubicación de las principales elevaciones alrededor de la cuenca del Valle de México. 1) Sierra de Las Cruces; 2) Sierra Nevada; Sierra Chichinautzin – Ajusco; 4) Sierra de Guadalupe; 5) Sierra de Pachuca; 6) Tepoztlán, Mor.; 7) Huautla, Mor.; 8) La Caldera de Tilzapotla y, 9) Taxco, Gro.

El sistema montañoso que rodea específicamente la cuenca del Valle de México varía en altitudes que van de los 1,700 msnm hasta los 5,300 msnm, con una altitud media

de alrededor 3,400 msnm. Entre éstos tenemos el cerro del Ajusco con 3,930 msnm, el Chichinautzin con 3,430 msnm, Sierra Nevada con 3,478 msnm, Tláloc 3,690 msnm, Nevado de Toluca 4,680 msnm e Iztaccíhuatl con 5,230 msnm. Sin embargo, en el SAR delimitado para el desarrollo del proyecto se tiene muy poca variación altitudinal, ubicándose entre los 2,240 y 2,250 msnm, por lo que se puede decir que se encuentra dentro de una gran planicie (Figura IV–48). Es esta disposición, y origen de los vientos dominantes, lo que favorece la dispersión de contaminantes del norte hacia el sur de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

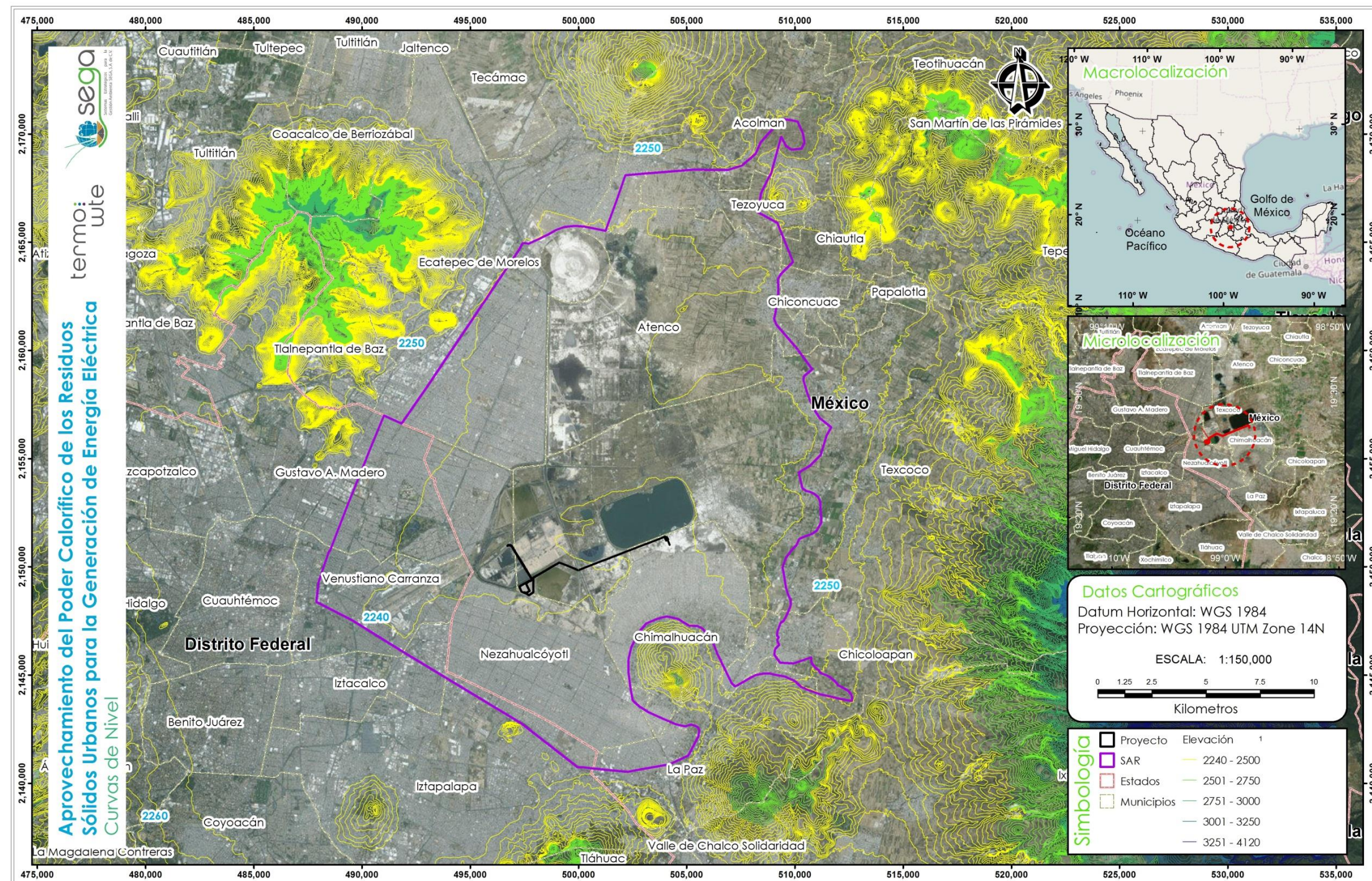


Figura IV—48. Variación altitudinal en el sistema ambiental regional y área de influencia del proyecto en cuestión.

En la conformación y distinción fisiográfica de una región interviene, además de las características específicas del relieve, identificar y definir los procesos geológicos suscitados que intervinieron para darle su constitución y características actuales. Tagoda (2008) menciona que las provincias fisiográficas son regiones en las que el relieve es el resultado de la acción de un mismo conjunto de agentes modeladores del terreno, así como de un mismo origen geológico, lo mismo que un muy semejante tipo de suelo y de la vegetación que sustenta.

IV.2.1.4 Geología

Geológicamente a la provincia fisiográfica donde se ubica el SAR definido para el proyecto se le conoce como Faja Volcánica Transmexicana, pues tiene una posición transversal con respecto a las grandes provincias geológicas mexicanas que corren en sentido NNW-SSE (Demant, 1978) (Figura IV–49). Al norte bloquea la Sierra Madre Oriental, la Meseta Central y la Sierra Madre Oriental y, al sur colinda con la Sierra Madre del Sur. Esta faja está conformada por un ensamble de masas corticales, con historias geológicas diferentes y está dividido en cuatro áreas: oeste, central, este y más al este (Ferrari et al., 2012).

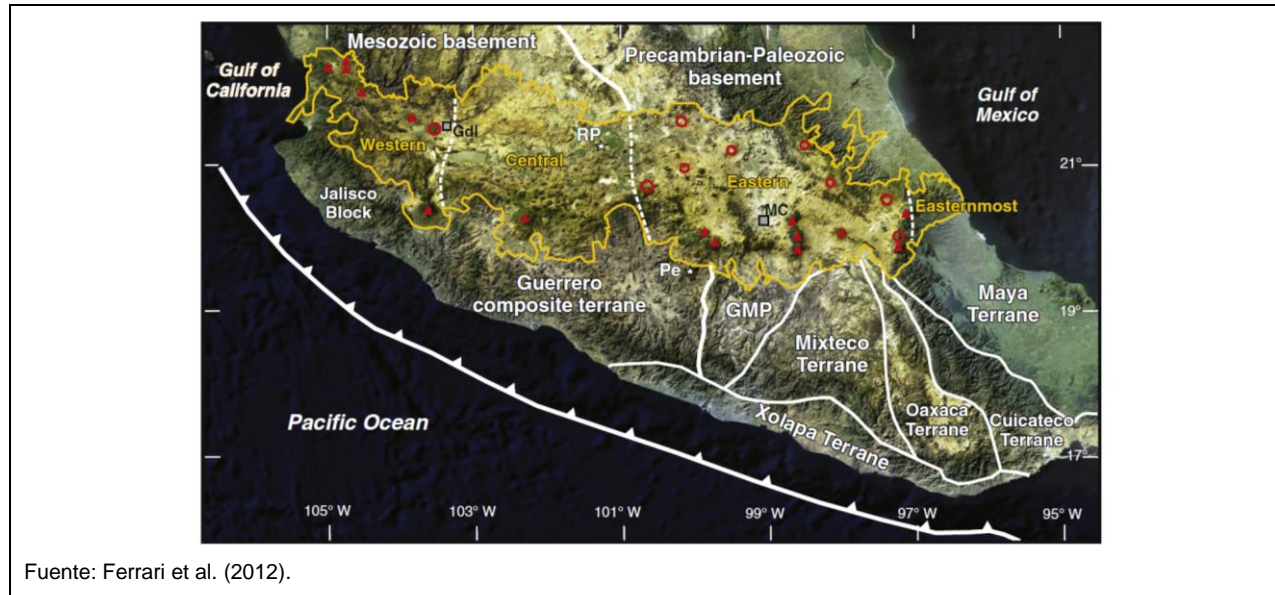


Figura IV—49. Ubicación de la provincia Faja Volcánica Mexicana, delimitada en amarillo, su división interna y principales terrenos tectono-estratigráficos presentes.

Las divisiones Oeste y Central de la Faja se ubican sobre el terreno Guerrero, del basamento Mesozoico, que está compuesto por rocas volcánicas y volcanoclásticas de afinidad oceánica a continental, con un importante componente de rocas sedimentarias marinas (Gómez-Tuena, 2005). Estos mismos autores refieren que hay otros estudios estratigráficos, geocronológicos y estructurales que consideran el terreno Guerrero como un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias depositadas sobre la corteza atenuada de la placa de Norteamérica, que fue posteriormente deformada por la orogenia Larámide.

Por otra parte, en la parte sur de la división Este, donde se ubica el SAR del proyecto, se tiene que está ubicada sobre el basamento del terreno Mixteco, del Precámbrico y Paleozoico. Este Terreno limita al oriente con Oaxaquia, al sur con el terreno Chatino, y al occidente con el terreno Guerrero. De acuerdo con Gómez-Tuena et al. (2005), las rocas que lo conforman son principalmente metasedimentos y metabasitas de afinidad oceánica a continental metamorizadas en facies de anfíbolita, eclogita y esquisto

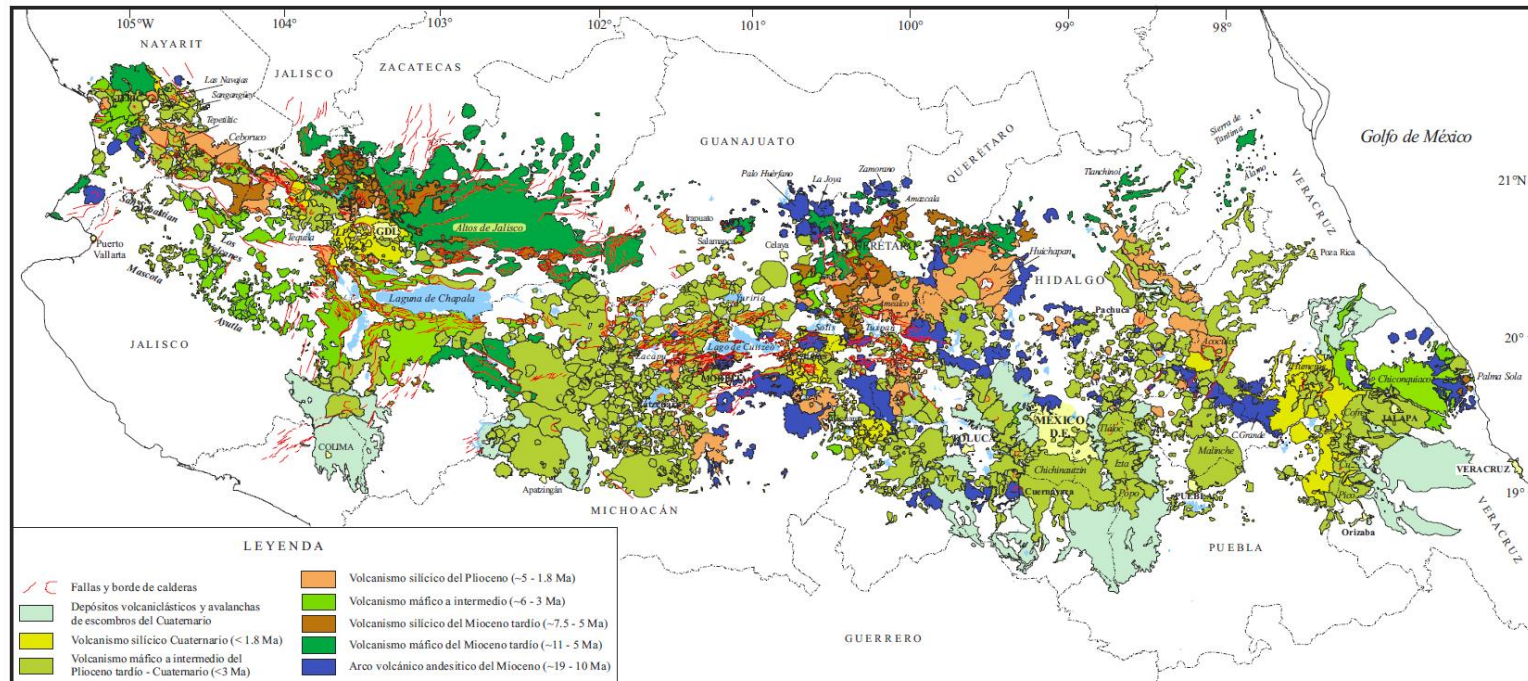
verde, que son intrusionados por granitos e influenciados por periodos de migmatización.

Al terreno Oaxaca también se le clasifica como microcontinente comprendiendo los terrenos Oaxaca, Juárez, Sierra Madre y Maya y parte de Coahuila (Gómez-Tuena et al., 2005). Éstos mismos autores mencionan que los afloramientos del Complejo Oaxaqueño están conformados principalmente por metapelitas, gneises cuarzofeldespáticos, calcisilicatos, anfibolitas y mármoles, comúnmente intrusionados por anortositas, charnokitas y gneises máficos granatíferos (silicatos o rocas ricas en magnesio y fierro). Toda la secuencia se encuentra metamorfizada en facies de granulita, y localmente reequilibrada en facies de anfibolita.

Esta Faja Volcánica está conformada por diversos episodios que constituyen su historia geológica. Demant (1978) la dividió en cuatro episodios, siendo éstos:

- 1) Instauración de un arco de composición intermedio en el Mioceno medio y tardío.
- 2) Episodio máfico del Mioceno tardío.
- 3) Episodio silícico de finales del Mioceno y principios del Plioceno temprano.
- 4) Reinstauración de un arco con gran variabilidad composicional a partir del Plioceno tardío.

En la división Este de la Faja Volcánica Transmexicana, donde se ubica el SAR del proyecto, es donde mayor heterogeneidad de episodios se tienen (Figura IV-58). Aquí coinciden áreas pertenecientes al Arco volcánico andesítico del Mioceno (~19-10 Ma), volcanismo máfico (roca rica en magnesio y hierro), a intermedio del Plioceno tardío cuaternario (<3 Ma), pequeñas áreas de volcanismo silícico del Plioceno (~5-1.8 Ma) y la mayor superficie, fragmentada, de depósitos volcanoclásticos (derivados de la actividad volcánica explosiva) y avalanchas de escombros del cuaternario.



Fuente: Gómez-Tuena et al. (2005).

Figura IV—50. Mapa geológico simplificado de la Faja Volcánica Transmexicana.

Derivado de la actividad volcánica en la Faja Volcánica y, específicamente, en el área aledaña a la cuenca del Valle de México, las columnas estratigráficas muestran una gran variación en su composición y edad geológica. Derivado del estudio realizado por González et al (2015) en pozos profundos para la extracción de agua en la cuenca del Valle de México, cinco de ellos ubicados en el área de la Ciudad de México (Tulyehualco, Copilco, San Lorenzo Tezonco, Mixhuca y Roma), y uno en el Estado de México (Texcoco), se pudo inferir más sobre la estratigrafía de la Cuenca, aportando información sobre la geocronología y geoquímica de las rocas volcánicas del subsuelo. Del estudio estratigráfico se puede determinar que en la mayor parte de la Cuenca los primeros 100 m, aproximadamente, están conformados por depósitos lacustres, siendo más ancha esta capa en el pozo Texcoco (Figura IV–51). Posterior al primer estrato, es común encontrar intercalados otros estratos constituidos de tobas, predominantemente, lavas de composición máfica a félsica, conglomerados y evaporitas con estratos de depósitos lacustres, más delgado que el primero, hasta los 500 m de profundidad. Posterior al nivel antes mencionado, los estratos de depósitos lacustres desaparecen para solo tener intercalaciones de los otros estratos. De hecho, Siebe et al., referidos por González et al. (2015), definieron a la cuenca del Valle de México como una depresión profunda que se originó en repuesta a la actividad volcánica y tectónica de la región, y que los materiales que la rellenan son predominantemente volcánicos.

En las diferentes columnas estratigráficas analizadas se puede ver la gran intercalación de los estratos de toba, que es roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas, u otros elementos volcánicos muy pequeños, expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica que posteriormente se cementa. Sin embargo, en la columna del pozo Texcoco resaltan los estratos de evaporitas encontrados en los primeros 500 m de profundidad (Figura IV–50), ya que este tipo de rocas que se forman por la evaporación de aguas salinas, que, para que se formen es necesario que la evaporación sea mayor al aporte que recibe el cuerpo de agua; por lo que es más común encontrarlas en zonas marinas.

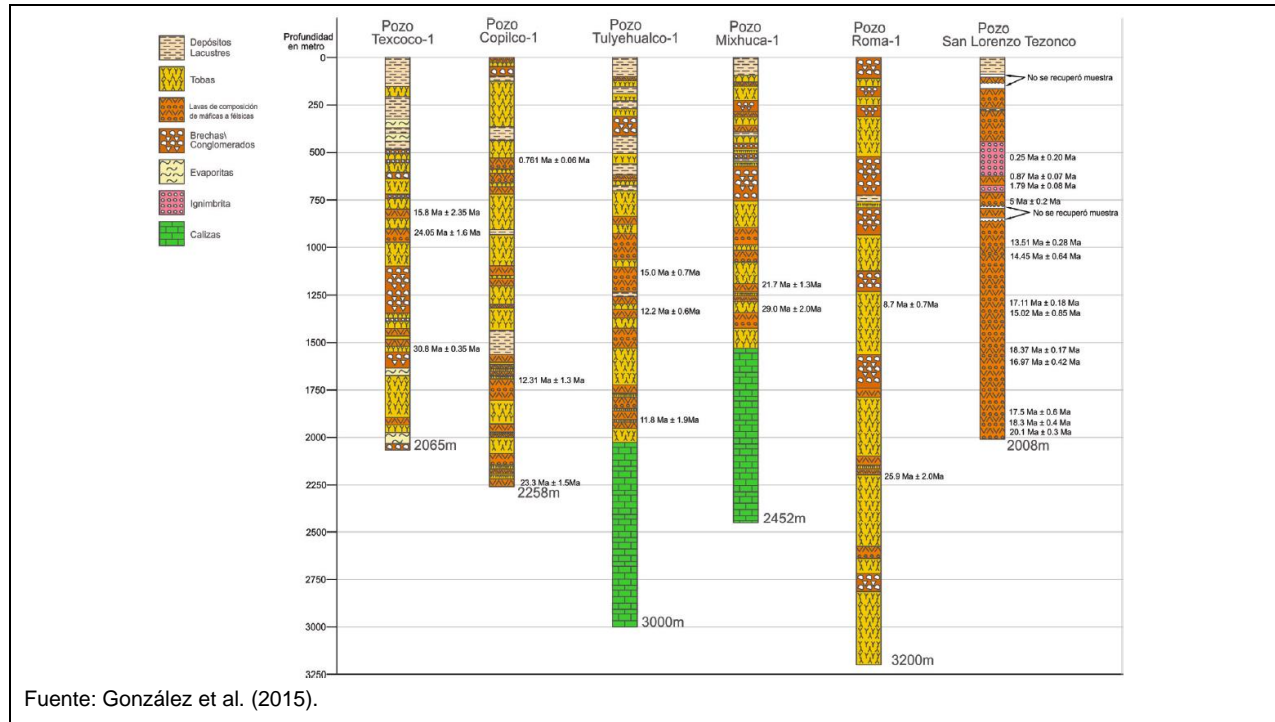


Figura IV—51. Columnas estratigráficas de los pozos profundos perforados en la cuenca del Valle de México.

Los resultados mencionados por Gómez-Tuena et al. (2005) y González et al. (2015) concuerdan con la clasificación geológica del INEGI para la región. De acuerdo con su cartografía, el área del SAR delimitado para el proyecto, y sus áreas aledañas, está constituida por rocas ígneas extrusivas, volcanoclásticas, básicas, principalmente (Figura IV–52).

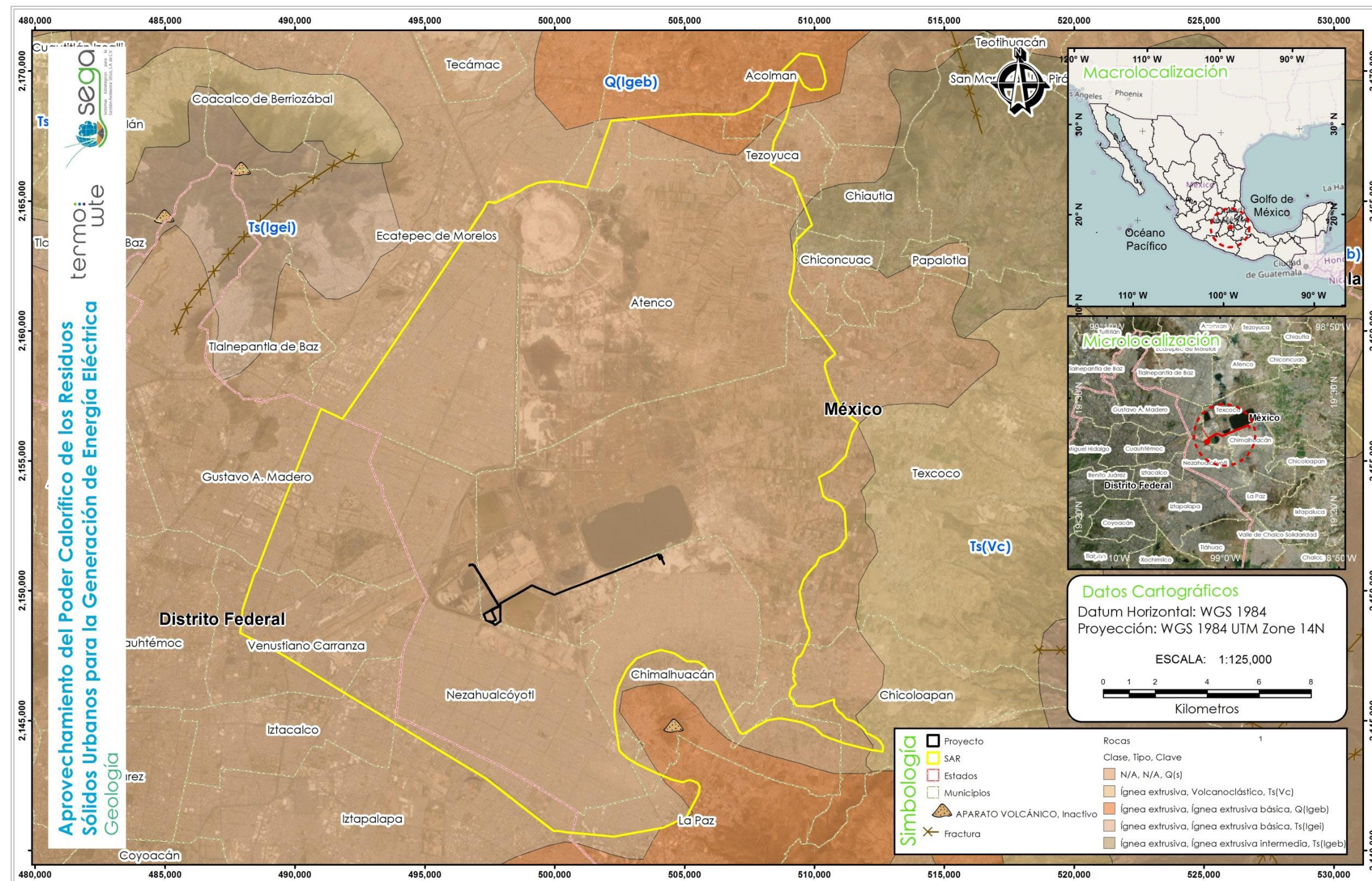


Figura IV—52. Caracterización geológica del SAR delimitado para el proyecto en cuestión y sus áreas aledañas.

En el trabajo de González et al. (2015), hacen referencia a que uno de los problemas geológicos de la Cuenca es la alta tasa de subsidencia, la cual llega a pasar de 350 mm a⁻¹ en zonas críticas, más procesos de fracturamiento y fallamiento geológico. Al sur de la Ciudad de México y suroeste de la Cuenca de México existe una serie de fallas normales (Xochimilco y Xicomulco, Mixhuca, Contreras y el graben de Santa Catarina), las cuales quedan fuera del SAR definido para el proyecto (Figura IV–53). Al norte de éste se tienen las fallas Tizayuca y Texcoco, interfiriendo esta última con el AI del proyecto. Sin embargo, al día de hoy no se ha reportado sismicidad notoria en las fallas que se encuentran en la Cuenca.

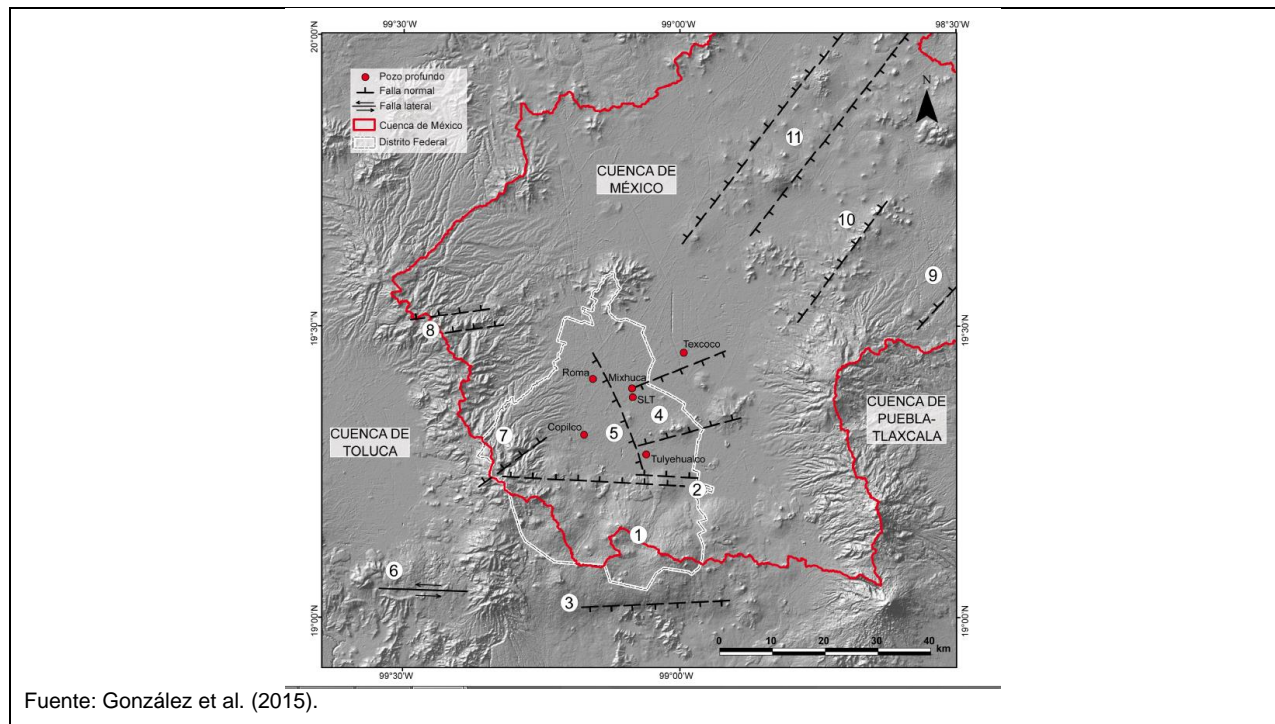


Figura IV–53. Ubicación de los pozos profundos caracterizados de la Ciudad de México y Estado de México y de las fallas geológicas: 2) Xochimilco y Xicomulco; 4) Graben Santa Catarina; 5) Mixhuca; 10) Texcoco y, 11) Tizayuca.

IV.2.1.5 Sismicidad

México se considera un país activo sísmicamente, en el que se tiene conocimiento de este tipo de eventos desde el periodo prehispánico y la conquista. Esta actividad es resultado de la subducción de la placa de Cocos a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. En el sur y oeste de México, este fenómeno es más complejo debido a que es controlada por la subducción de la placa de Cocos bajo las placas de Norte América y del Caribe en el sureste.

Si bien en el periodo prehispánico y de la conquista no se tenían sismógrafos para medir la intensidad y duración de los temblores, quedaron evidencias documentadas de los daños que éstos dejaban en los lugares donde impactaban. Es a finales del siglo XIX cuando ya se empezó a tener conocimiento de las características de estos movimientos.

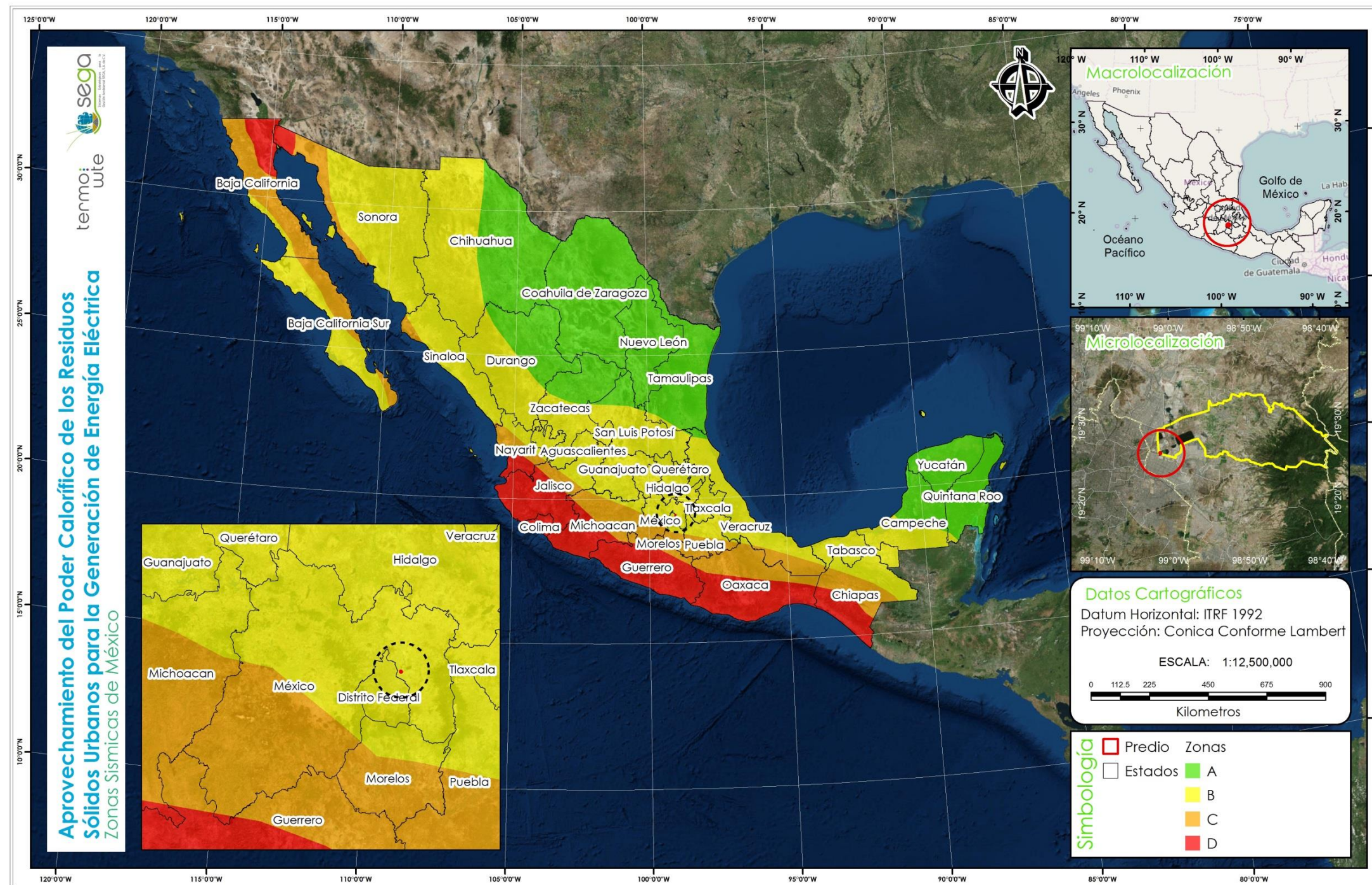
El CENAPRED (2001a) presentó la regionalización sísmica de México tomando como base, para ello, los registros históricos de grandes sismos en el país, los catálogos de sismicidad existentes y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud. Con base en los resultados obtenidos, el país se dividió en cuatro zonas (Figura IV–54), descritas como sigue:

- a) Zona A: Es donde no se tienen registros históricos, no se tiene conocimiento de eventos significativos en los 80 años previos a la elaboración del escrito y donde las aceleraciones del terreno se esperan sean menores al 10% del valor de la gravedad. Entre los estados ubicados en esta zona están Yucatán, Nuevo León, Coahuila y, parcialmente, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Chihuahua.
- b) Zona D: Es una franja que se ubica frente a las costas del océano Pacífico, abarcando parcialmente los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit. Se caracteriza por un área donde ocurren con mayor

frecuencia los grandes temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 10% del valor de la gravedad.

- c) Zonas B y C: En estas zonas la sismicidad no es nula, pero tampoco es tan intensa como en la zona D; los sismos son con menor frecuencia o las aceleraciones del terreno no rebasan el 70% de la gravedad. Estas zonas se ubican en una franja central que recorre de norte a sur el país y, es en la franja de la zona B donde se ubica la Ciudad de México y la parte norte y noreste del Estado de México.

De acuerdo con esta regionalización, el SAR definido para el proyecto se ubica dentro de la zona B, lo que significaría que los sismos son de baja frecuencia.



Fuente: CENAPRED (2001a).

Figura IV—54. Regionalización sísmica de México. Zona A sin conocimiento de eventos significativos; zona D incidencia de los mayores eventos y, zonas B y C sismicidad intermedias entre zonas A y D.

Sin embargo, la zona metropolitana ha sufrido en diversas ocasiones el impacto de este tipo de movimientos. De 97 sismos registrados con intensidad mayor a 5° Richter o con registro de gran impacto de 1900 al 2012, 32 han afectado o dejado sentir su intensidad en la Ciudad de México y áreas aledañas (www.tembloresenmexico.com). De éstos y de los que se tiene información de su magnitud, 6 tuvieron una intensidad entre 5 y 5.9° Richter, igual número de eventos estuvieron entre 6 y 6.0° y, finalmente, 17 tuvieron una intensidad mayor a 7°. Por otro lado, de los que se tiene información de su epicentro, 11 se originaron en el estado de Guerrero, nueve en Oaxaca, tres en Michoacán y dos en Veracruz. De éstos, resaltan 12 por el nivel de afectación que ocasionaron en la Ciudad de México (Tabla IV–16). De todos ellos sobresale el sucedido el 19 de septiembre de 1985, el cual tuvo su epicentro en las costas de Michoacán y Guerrero, dejando, oficialmente, 10,000 muertos en la Cd. de México; pero, extraoficialmente se mencionan alrededor de 40,000. Además, éste ocasionó el colapso de varios edificios y otros quedaron sensibles, colapsando, algunos de ellos, con la réplica del siguiente día.

Es a partir de los temblores de 1985 que se empezaron a tomar mayores acciones para reducir las afectaciones por este tipo de fenómenos, tanto preventivas en el accionar de la gente durante los temblores como en la forma de construcción. Los resultados de dichas acciones se ven con los resultados obtenidos en los eventos posteriores con magnitudes mayores a los 6° Richter, donde las afectaciones a la infraestructura y muertes ocasionadas han disminuido significativamente. Sin duda que la tecnología actual ha ayudado a reducir los impactos, ya que los equipos sísmicos actuales son más sensibles al movimiento, mayores a 4 gales (cm s^{-2}), que corresponde a la aceleración a la cual el ser humano comienza a percibir movimientos del terreno, lo que es utilizado por el sistema de alerta sísmica para que se tomen las debidas precauciones.

Tabla IV-16. Grandes sismos que han ocasionado daños significativos en la Ciudad de México y áreas aledañas de 1900 al 2012[§].

Fecha	Magnitud (° Richter)	Epicentro	Zonas afectadas	Afectaciones
14/04/1907	7.9	Costa de Guerrero	Guerrero y D.F.	Un muerto y un herido en la Cd. de México y daños en el Palacio Nacional, la Catedral y los templos de Santo Domingo y Santa María la Redonda y en el Colegio Salesiano.
07/06/1911	7.8	Costa de Michoacán	Cd. de México, D.F.	40 muertos y 16 heridos en el 3 ^{er} regimiento de artillería en la Rivera de San Cosme y grandes afectaciones en la Col. Santa María la Ribera. En total de 250 casas quedaron totalmente destruidas.
19/11/1912	7.0	Falla de Acambay, Edo. Méx.	Cd. de México, D.F.	Daños en la Col. Guerrero, Av. Álvarez, Alameda Central y el Palacio Nacional de la Cd. de México.
28/07/1957	7.7	Costa de Guerrero	Cd. de México, D.F.	En la Cd. de México causó 68 muertos, daños en varios edificios y casas. Además, provocó el derrumbe del Ángel de la Independencia.
23/08/1965	7.3	Oaxaca	Oaxaca, Ciudad de México, DF	Ocasionó seis muertos, cinco de ellos en la Cd. de México.
14/03/1979	8.0	Petatlán, Gro.	Cd. de México y Costa de Guerrero.	Ocasionó cinco muertos y daños en la Col. Roma y la destrucción de la Universidad Iberoamericana.
19/09/1985	8.1	Costas de Michoacán y Guerrero	Centro (especialmente Cd. de México), sur y occidente del país.	Oficialmente se declararon alrededor de 10,000 muertos; sin embargo, fuentes extraoficiales declararon 40,000 sólo en la Cd. de México. Se clasificó como en la Cd. de México VIII (Destructivo) o IX (Ruinoso).
20/09/1985	7.3	Zihuatanejo, Gro.	Centro (especialmente Cd. de México), sur y occidente del país.	Réplica más significativa del sismo del 19 de septiembre de 1985. Terminó por colapsar edificaciones dañadas por el sismo del día anterior.
14/09/1995	7.3	Ometepec, Gro.	Guerrero y Cd. de México	Hubo 4 muertos y unos 5000 damnificados, en la Ciudad de México causó gran alarma.
20/03/2012	7.4	Ometepec, Gro.	Cd. de México, Edo. Méx., sur y sureste del país.	Dejó dos muertos y varios heridos. Se registraron afectaciones en 29 municipios del estado de Guerrero y 27 de Oaxaca. Hubo afectaciones en la línea "A" del metro, entre otros daños menores en edificios y escuelas.

Fecha	Magnitud (° Richter)	Epicentro	Zonas afectadas	Afectaciones
02/04/2012	6.3	Ometepec, Gro.	Zona metropolitana de la Cd. de Méx., centro y sureste del país.	En la Cd. de México se desalojaron los edificios inmediatamente, hubo lentitud en el servicio de Internet y las líneas telefónicas colapsaron unos minutos, varias personas fueron víctimas de crisis nerviosas. También se reportaron daños a muchas viviendas.
13/04/2012	5.2	Oaxaca	Oaxaca, Guerrero y Cd. de Méx.	Murió una mujer de un infarto, se cayó el techo de un hospital y dejó una decena heridos.

§ Información obtenida de la página de internet <http://www.tembloresenmexico.com/index.php/listado-de-sismos-en-mexico>.

Según lo refiere la Norma Técnica Complementaria al Reglamento de la Ley de Protección Civil del Distrito Federal NTC-002-SPCDF-PC-2010, la Ciudad de México muestra diferente grado de riesgo sísmico por zonas, donde las delegaciones con mayor riesgo sísmico son: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac. Las zonas con mayor riesgo presentan aceleraciones del terreno desfavorables para la estabilidad de la infraestructura civil.

Esta zonificación y riesgo sísmico sirve para diseñar las estructuras de cimentación; para ello, en el artículo 170 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal se clasifica el D.F. en tres zonas, de acuerdo a las características constitutivas del suelo, siendo estas:

Zona I: Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos.

Zona II: Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos

arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros, y

Zona III: Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente comprensible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Adicionalmente, en la norma técnica complementaria NTC-002-SPCDF-PC-2010 la zona III se divide en cuatro subzonas (III_a, III_b, III_c y III_d), cada una con un coeficiente sísmico específico (relación entre la fuerza cortante horizontal por efecto del sismo y el peso de la edificación). Así, de esta zonificación para el diseño sísmico de las estructuras resulta que el SAR del proyecto se ubica dentro de la zona III (Figura IV–X). El coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas en el grupo B del artículo 139 del Reglamento (viviendas, hoteles, comercios e infraestructura no vital), se tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en las zonas III_a y III_c, 0.45 en la III_b y 0.30 en la III_d.

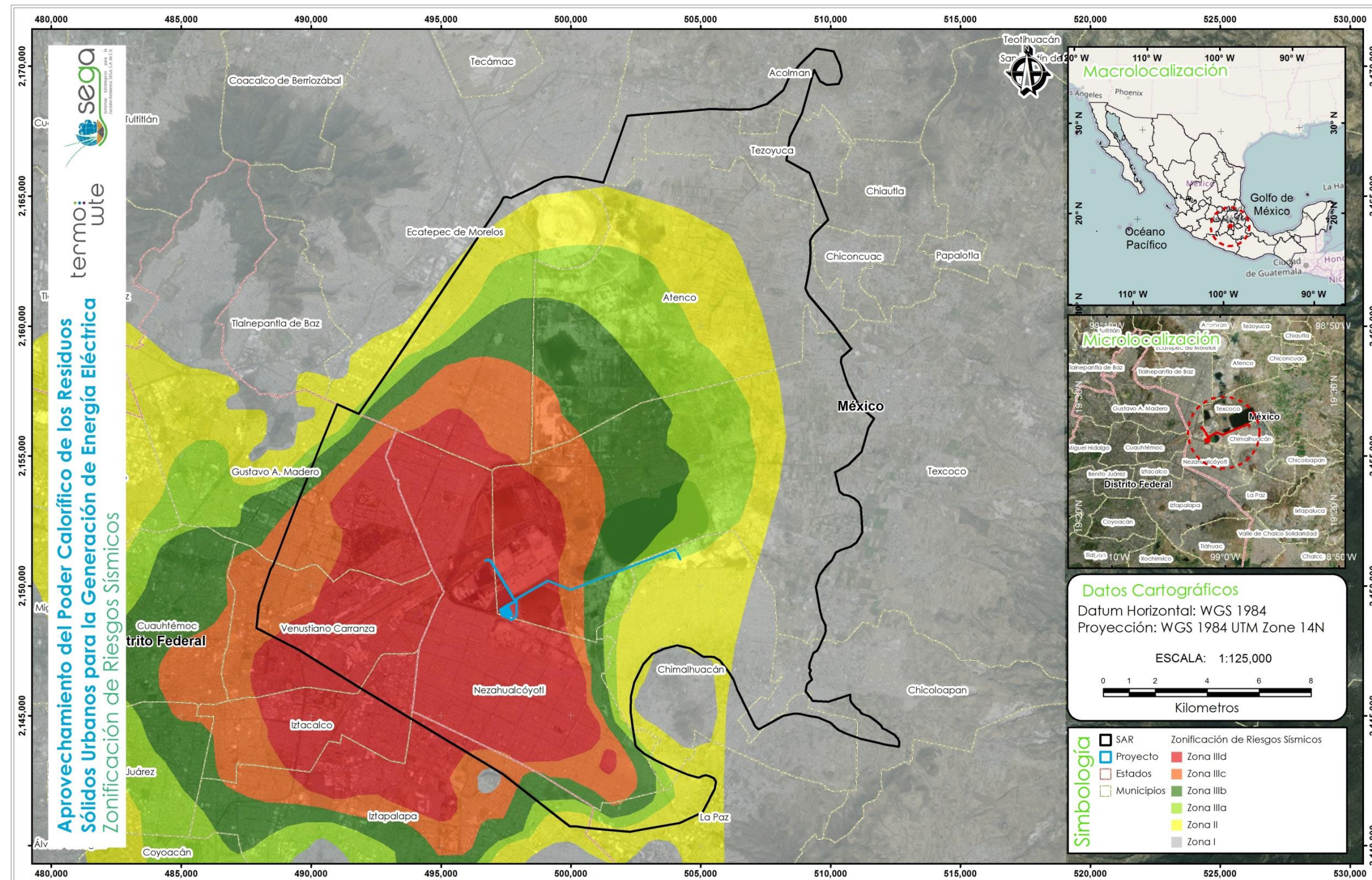


Figura IV—55. Zonificación para fines de diseño sísmico de estructuras en el sistema ambiental definido para el desarrollo del proyecto.

IV.2.1.6 Suelos

IV.2.1.6.1 Generalidades

Los suelos son un recurso natural muy importante en todos los ecosistemas. En este medio se tienen diversos procesos fundamentales para la vida de la microbiota, flora, fauna y el ser humano mismo. Sin embargo, su influencia en el medio depende mucho de sus propiedades físicas y químicas, las cuales varían dependiendo del material parental del cual se originaron, ubicación, y de los efectos de los procesos climáticos y de afectación (tanto naturales como antrópicos) bajo los cuales han sido sometidos a lo largo del tiempo. Con base en los estudios realizados para conocer sus características físicas y químicas y las diferencias encontradas, se empezaron a clasificar los suelos encontrados, con la finalidad de uniformizar el conocimiento y homogeneizar los criterios para su caracterización y clasificación.

El suelo es un cuerpo natural tridimensional, organizado e independiente, formado a partir de la intemperización de rocas y sedimentos; por la interacción del clima, la biota, el relieve y el tiempo (Jenny, 1994). Es heterogéneo y anisotrópico en su composición, contiene materia viva y es capaz de soportar plantas.

El suelo es un sistema abierto a la atmósfera y a la corteza terrestre. Forma parte fundamental de cualquier ecosistema, cumpliendo una serie de funciones ambientales como la filtración del agua de lluvia y posterior recarga de acuíferos; además, es el principal almacén de carbono (solo superado por los mares y océanos).

Se caracteriza por ser un sistema disperso donde están presentes las tres fases de la materia (sólida, líquida y gaseosa). La fase sólida está compuesta por minerales y materia orgánica; dentro de los minerales se distinguen tres partículas importantes arenas, limos y arcillas. La materia orgánica se distingue entre viva (biota) y no viva (biomasa). Por otro lado, la fase líquida se compone principalmente por el agua que

entra y se conserva en el suelo. Y, por último, la fase gaseosa que se compone, principalmente, de vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y algunos elementos que tienen una fase gaseosa como el nitrógeno (NO_x).

La interacción de estas tres fases le confiere al suelo una serie de propiedades y características propias. De esta manera se distinguen propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales no se mantienen constantes, variando por diversas causas, antropogénicas y ambientales.

Para la clasificación del suelo es necesario conocer a detalle variables de las propiedades físicas y algunas características químicas del suelo (Cuanalo, 1981). Como parte de las variables de las propiedades físicas a determinar en campo están la textura, estructura, porosidad, consistencia, color, permeabilidad, número, tipo y ancho de horizontes y la densidad aparente. Y, entre las variables importantes a considerar para conocer las propiedades químicas del suelo están el pH, carbonato (CO_3), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), su conductividad eléctrica y la concentración de los cationes intercambiables (K, Mg y Ca); siendo éstas las características más variables de un suelo.

IV.2.1.6.2 Descripción de propiedades relevantes del suelo

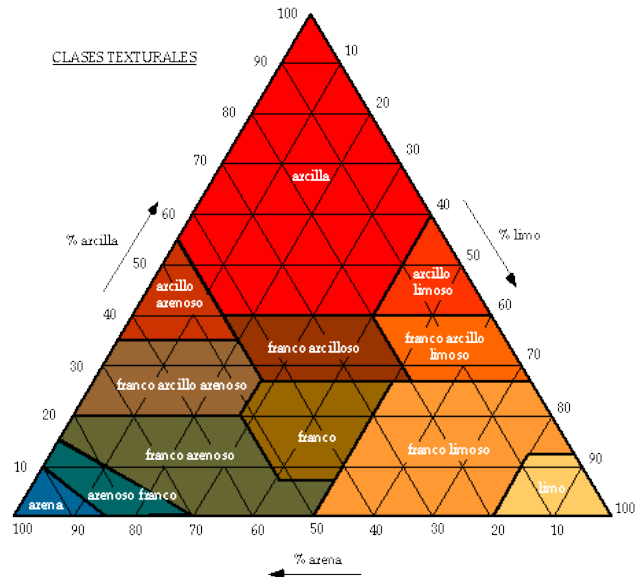
a. Textura

Esta variable del suelo hace referencia a la proporción en la que se encuentran distribuidas las partículas que pueden conformar el sustrato del suelo, las cuales son clasificadas, de acuerdo con su tamaño en arena, limo y arcilla. Las partículas que tienen un diámetro mayor de 2 mm se consideran gravas y, por ello, no entran en el análisis granulométrico del suelo. En la Tabla IV-17 se muestra la clasificación granulométrica de las distintas partículas del suelo.

Tabla IV-17. Clasificación de las partículas del suelo con base a su tamaño, según la clasificación de la USDA* y la USCS*.

Fracción granulométrica	Tamaño de partícula (mm)	
	USDA	USCS
Arena muy gruesa	2.0 – 1.0	---
Arena gruesa	1.0 – 0.5	2.0 – 0.2
Arena media	0.5 – 0.25	---
Arena fina	0.25 – 0.10	0.20 – 0.02
Arena muy fina	0.10 – 0.05	---
Limo	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
Arcilla	< 0.002	< 0.002

De acuerdo a la proporción de cada partícula presente en el suelo, se establecen 12 clases texturales, las cuales se indican en el triángulo de texturas desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) (Figura IV–56). De acuerdo a la dominancia de cada partícula, el suelo adquiere características específicas en cuanto a fertilidad, retención de humedad, capacidad de infiltración del agua y velocidad de circulación del agua y aire.



Fuente: Tomada de: <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>

Figura IV—56. Triángulo de texturas del suelo.

De manera general, se pueden agrupar las 12 clases texturales en tres grandes grupos: texturas gruesas, que agrupa las texturas arenosas, arena migajosa y franco arenosa; texturas medias, donde hay una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla y, texturas finas o pesadas, agrupan las texturas arcillosa, franco arcillosa, franco arcillo arenosa, franco limosa y limosa.

Cada grupo de texturas (finas, medias o gruesas) tienen un comportamiento específico en la velocidad de infiltración del agua y otras propiedades importantes del suelo. En suelos de texturas finas la infiltración es muy lenta, mientras que, en suelos de textura gruesa, la infiltración es muy rápida.

b. Estructura

La estructura del suelo es el ordenamiento o acomodo de las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) en partículas secundarias o agregados y el espacio poroso que llevan asociados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. Esta es una característica edáfica que permite diferenciar el suelo del material geológico. Los poros del suelo funcionan como vía de comunicación y movimiento en el perfil del suelo, en el horizonte y entre horizontes del suelo, permitiendo la transferencia de fluidos (aire y agua), el desarrollo de la biota (micro y macroorganismos) y facilitan el desarrollo de raíces.

Se reconocen 6 tipos principales de estructuras del suelo, cuando un suelo no desarrolla agregados se le denomina masivo o disperso. En la Figura IV-57 se ilustran los distintos tipos de peds del suelo, y su influencia en la infiltración y circulación del agua y del aire.

ESFEROIDAL		EN FORMA DE PRISMA	
 GRANULAR (POROSA)	 MIGAJÓN (MUY POROSA)	 PRISMÁTICA (CÚSPIDES PLANAS)	 COLUMNAR (CÚSPIDES REDONDEADAS)
 MASIVA	LAMINAR	DE BLOQUE	
	 EN PLACAS	 EN BLOQUES	 UNIGRANULAR

Fuente: Tomada de: <http://fisiolvegetal.blogspot.mx/2012/10/principales-factores-que-afectan-la.html>

Figura IV—57. Tipos estructurales del suelo y su influencia en la infiltración de agua.

De igual manera, es importante la estabilidad que tengan estos agregados o pedos del suelo, esta estabilidad depende de la presencia de sustancias que funcionen como cementantes entre las partículas elementales del suelo; dichas sustancias pueden ser materia orgánica coloidal, arcillas, carbonatos (en suelos alcalinos), óxidos de hierro, aluminio y manganeso (en suelos ácidos). La pérdida de estos materiales lleva al deterioro de la estructura del suelo. La estructura de tipo granular facilita la infiltración y circulación del agua y del aire, por el contrario, la ausencia de estructura (suelo masivo) o la estructura del tipo laminar esta circulación es muy lenta.

Debido a la implementación de prácticas inadecuadas en el manejo del suelo la estructura del suelo puede pasar de una muy favorable, como la granular, a una poco favorable, como la laminar; por ello, es importante conservar los materiales que funcionan como cementantes.

c. Densidad aparente

La densidad es una propiedad que tiene toda materia y se define como la masa por unidad de volumen. En el caso del suelo este volumen es el que ocupa la fracción sólida del suelo (mineral y orgánico) y el del espacio poroso (que en términos prácticos el aire no tiene peso), de ahí que la densidad del suelo reciba el termino de densidad aparente. Si se elimina el volumen ocupado por el espacio poroso entonces la densidad del suelo se denomina densidad real.

La densidad aparente del suelo indica, de manera indirecta, el grado de compactación del suelo, valores altos de la densidad aparente, indica mayor compactación. De manera que permite inferir las dificultades para el crecimiento de las plantas y la circulación del agua y del aire. Esta propiedad del suelo está directamente relacionada a la textura y la estructura del suelo.

La densidad aparente del suelo también indica indirectamente la porosidad del suelo, pero no su tamaño ni la conexión entre ellos. Esta información es muy importante para poder predecir el movimiento del agua y el aire en el suelo. Un suelo puede tener un espacio poroso amplio y tener poros pequeños, lo que influye en la retención de humedad.

d. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo constituye un sistema complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrada por diversos grupos de sustancias. La materia orgánica del suelo se compone de material vegetal, macro y microorganismos vivos, restos de ellos, y sustancias resultantes de su degradación físico-química. Es un componente del suelo que tiene gran importancia por su influencia en la estructura, en la capacidad de

retención de agua y nutrientes, y en los efectos bioquímicos que causa sobre los vegetales.

Normalmente la materia orgánica representa entre el 1 y el 6% en peso, aunque esta proporción puede ser muy variable dependiendo del momento del año, tanto en suelos agrícolas (por causa de la fenología del cultivo o la época de cosecha), como naturales (dependiendo en este caso de la presencia de especies caducifolias o perennes, por ejemplo). En suelos agrícolas suele representar el 1 – 3% de los constituyentes del suelo, mientras que, en suelos forestales, este porcentaje puede elevarse mucho. El horizonte superficial es, normalmente, el que contiene los más altos porcentajes, mientras que el contenido va disminuyendo progresivamente con la profundidad. Ésta se caracteriza por poseer una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que condicionan a su vez las propiedades del suelo. Entre éstas se pueden mencionar:

- El humus tiene mayor capacidad de retención de agua que la arcilla, por lo que juega un papel muy importante en la presencia del agua en el suelo.
- La materia orgánica favorece el desarrollo de la estructura del suelo, la adición de materia orgánica disminuye la permeabilidad y aumenta la capacidad de retención de agua. De este modo, la materia orgánica actúa como un regulador de la capacidad de retención y la infiltración del agua.
- Se favorece la penetración de las raíces en el suelo.
- Disminuye la erodabilidad del suelo, ya que los restos orgánicos depositados sobre la superficie del suelo lo protege de los efectos de la erosión hídrica y eólica. La agregación de las partículas en agregados las protege también de la erosión.
- Disminuye el riesgo de formación de costra superficial. Lo que favorece la infiltración del agua.

IV.2.1.6.3 Descripción de perfiles de suelo

El suelo es un cuerpo natural que forma parte fundamental del ecosistema; y su estudio debe iniciarse en campo, con la observación detallada del suelo y del medio en donde se encuentra. Para cualquier estudio agronómico, ambiental, arquitectónico, ingenieril, u otro se deben seleccionar y estudiar los suelos representativos de cada una de las unidades en que sea posible subdividir el paisaje.

El perfil del suelo es un corte vertical del terreno que permite estudiar el suelo en su conjunto desde su superficie hasta el material que le dio origen. En esta observación pueden distinguirse capas que se denominan horizontes.

Los horizontes se delimitan de acuerdo a la presencia de diferencias en color, textura, estructura, resistencia y consistencia, principalmente.

El suelo está delimitado por la superficie del terreno en la parte superior, de manera lateral delimitado con otro suelo, con roca o sedimentos, y en algunos casos con cuerpos de agua; el límite inferior es un poco más difícil de identificar ya que el suelo presenta variaciones en sentido vertical (resultado de la interacción de los factores de formación), estas variaciones de las propiedades del suelo están en función de la distancia a la superficie.

La presencia de horizontes es el resultado de la evolución o génesis del suelo a partir de un material parental. Por ello se denominan horizontes genéticos; estos horizontes presentan cierta variabilidad en su morfología. Sin embargo, esta morfología no es infinita, existiendo horizontes semejantes, lo que hace posible que existan sistemas de clasificación de suelos con base a características similares.

La designación de los horizontes del suelo resume muchas observaciones de la descripción del suelo y da una impresión acerca de los procesos genético que han formado el suelo. Actualmente se utilizan las letras mayúsculas del alfabeto latino (O, A, E, B, C y R), para referenciar los horizontes mayores del suelo (Figura IV–58).

Adicionalmente se incluyeron las letras I, L y W, las cuales sirven para identificar tres capas o estratos adicionales: hielo, materiales límnicos y agua, respectivamente.

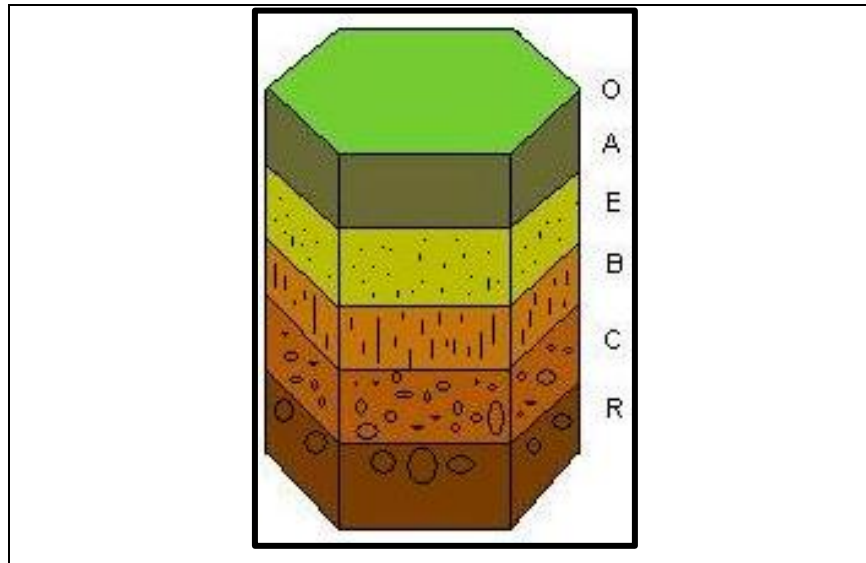


Figura IV—58. Representación esquemática de los distintos horizontes que conforman el perfil del suelo.

IV.2.1.6.4 Identificación de los tipos de suelo presentes a nivel del SAR del proyecto.

Para determinar los diferentes tipos de suelos presentes en el SAR (Sistema Ambiental Regional) delimitado para el proyecto, se utilizó el conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional) editados por el INEGI, la cual contiene información actualizada de los diferentes grupos de suelos que existen en el territorio nacional, obtenida durante el período 2002-2006, utilizando para la clasificación de los suelos el Sistema Internacional “Base Referencial Mundial del Recurso Suelo”.

Para la extracción de la información a nivel del SAR, se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG), ya que el diseño conceptual de la información la hace apropiada para manejarse bajo estas herramientas de cartografía asistida por

computadora. De esta manera, se obtuvo la espacialidad y los tipos de suelo presentes en el SAR delimitado para el proyecto.

De acuerdo con Reyes (2014), la primera clasificación moderna de suelo considero tres niveles: a) las zonas climáticas (suelos zonales), b) los procesos particulares formadores (suelos intrazonales) y, c) basados en el material parental (suelos azonales). Diversos países han generado su propia clasificación de suelo; sin embargo, es la clasificación de la FAO-UNESCO una de las más conocidas y usadas a nivel mundial. Esta clasificación originalmente comprendía 26 grupos de suelos y 206 subunidades; pero con el paso del tiempo y la realización de nuevos y resultados, éstos se han venido incrementando hasta los 32 grupos de suelos de referencia que se consideran hoy en día (Reyes, 2014).

En México es en el periodo del presidente Díaz Ordaz que se inicia con la clasificación de suelos y la elaboración de la cartografía, utilizando la clasificación de los suelos propuesto por la FAO-UNESCO modificada por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) (Xix, 2010). Después de varios trabajos y esfuerzos de dependencias federales es que se llega hasta la actual cartografía elaborada por el INEGI, quien continuó con los estudios edafológicos del país.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos por el INEGI, con base al análisis de 9,549 perfiles de suelo y 10,892 realizados de 1969 al 2000, en el país se ha documentado la presencia de 23 de los 32 grupos de suelos. De éstos, los más abundantes son: Leptosoles (28.3%), Regosoles (13.7%), Feozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9.0%), Vertisoles (8.6%) y otros (14.0%).

A nivel del SAR se diferenciaron tres grupos de suelos, siendo los Solonchaks los que mayor superficie comprenden con el 63.3% de la superficie total, seguidos de los Feozems y Vertisoles (Tabla IV-18; Figura IV-59). Y, el predio del proyecto se ubica dentro del área de los Solonchaks (Figura IV-59).

Tabla IV-18. Superficie y porcentajes de los tipos de suelos, y cuerpos de agua, presentes en el sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.

ID	Tipo de suelo	Clave	Superficie (ha)
1	Feozem	Hh+Re+l/2/D	452.42
2		Hh+Re/2/D	22.54
3		Hh+l/2/L	251.00
4		Hh/2	4040.79
5		Hh+Zg/2/n	3247.18
6		Hh+To/2	78.48
7		Hh/2/L	8.97
8		Hh+Hg+Zm/2/n	359.43
9	Solonchak	Zg+Zm/3/n	26458.51
10	Vertisol	Vp+Vc+Zg/3	5981.66
11	H ₂ O	---	915.12
Total			41,816.12

A continuación se presenta una breve descripción de estos grupos.

Feozem (del griego *phaios*, oscuro, y ruso *zemlja*, tierra): Se caracterizan por ser suelos que provienen de varios materiales no consolidados, con un horizonte superficial rico en materia orgánica y alto porcentaje de saturación de bases. Se asocian a regiones con un clima suficientemente húmedo para que exista lavado, pero con una estación seca. El clima puede ir de cálido a frío y van de la zona templada a las tierras altas tropicales. El relieve es llano o suavemente ondulado y la vegetación de matorral tipo estepa o de bosque.

Son suelos porosos, fértiles y son excelentes tierras agrícolas. Se usan para la producción de algodón, cereales, cebada y vegetales junto con otros cultivos y, grandes áreas ganaderas de este tipo de suelo se usan para la producción pecuaria. Se consideran susceptibles a la erosión eólica e hídrica.

Vertisoles (del latín verteré, verter o revolver): Son suelos con una capa de 25 cm o más de espesor, con un límite superior dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral, presente caras de fricción o agregados en forma de cuña con ejes longitudinales inclinados entre 10 a 60 grados de la horizontal. Un promedio ponderado de 30% o más de arcilla en la fracción de tierra fina, entre la superficie del suelo mineral y una profundidad de 18 cm, y 30% o más de arcilla en la fracción de tierra fina de todos los horizontes, entre una profundidad de 18 cm y 50 cm.

Una característica distintiva de este tipo de suelos es la presencia de grietas que se abren y se cierran periódicamente, las cuales llegan a ser de más de 1 cm de ancho y de 50 cm de largo (Figura IV–60). Esta característica está íntimamente relacionada con el elevado contenido de arcilla (arcillas expandibles, con más del 30%), el predominio de minerales arcillosos del tipo 2:1 y los cambios de humedad motivados por la alternancia de periodos lluviosos y secos.

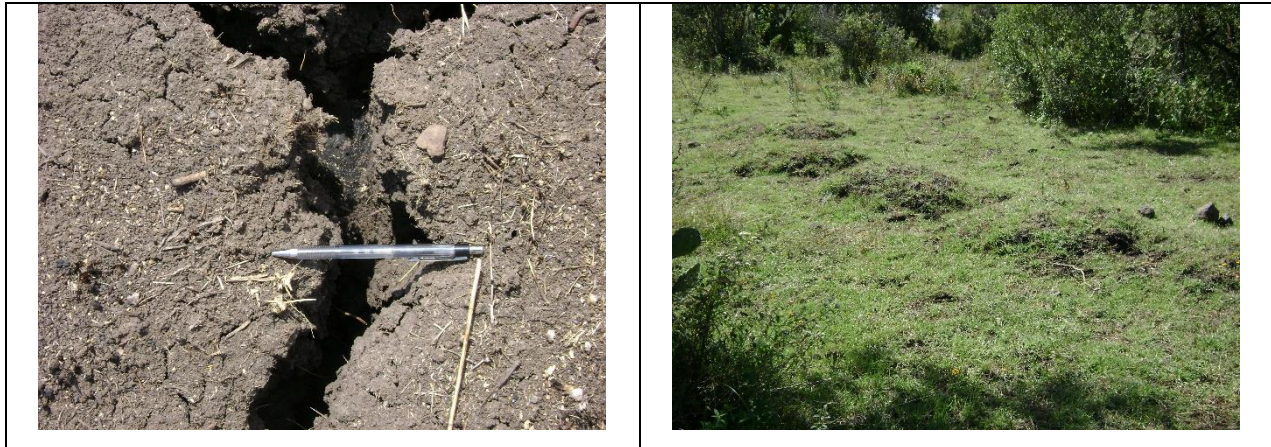


Figura IV—60. Relieve tipo gilgai y agrietamiento característicos de los suelos Vertisoles.

Los Vertisoles son suelos que se encuentran en depresiones de áreas llanas o suavemente onduladas. Se desarrollan en climas templados y cálidos con una marcada diferenciación entre las estaciones de secas y lluvias. Estas condiciones ambientales favorecen la formación de arcillas que tienen la propiedad de hincharse cuando están húmedas y encogerse al secarse (arcillas expandibles), dando lugar a un microrelieve característico llamado gilgai (Figura IV–60). Sus características particulares están íntimamente ligadas al tipo de arcilla que posean, siendo el grado de absorción de agua su principal determinante. Son suelos casi siempre muy fértiles, aunque con ciertos problemas de manejo agrícola como son dificultad para la labranza, mal drenaje y deficiencia de materia orgánica.

Este grupo de suelos presentan generalmente una vegetación herbácea bastante desarrollada, aunque su manejo es complicado debido a los movimientos del suelo; es por ello que se desenvuelve bien una vegetación herbácea con pocas raíces y estacional. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo ya que se son muy fértiles, pero su dureza dificulta la labranza. Cortez-Arriola et al. (2014) reportan una producción de hasta 16.4 t MS ha⁻¹ de forraje de maíz en este tipo de suelos bajo sistemas de producción de forraje tradicional, mayor a las 14.1 t MS ha⁻¹ reportadas por

Avendaño (2011) en otro tipo de suelos. Además, ocupan gran parte de importantes distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas, Veracruz y en el Valle del Lago de Chapala. En ellos se produce una gran proporción a nivel nacional de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización.

Solonchaks Del ruso sol: sal. Literalmente suelos salinos. Se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. Se encuentran ampliamente representados en zonas áridas y semiáridas y regiones costeras; caracterizados por estar presentes en áreas donde la capa freática ascendente alcanza el solum o donde hay algo de agua superficial presente, con vegetación de pastos y/o hierbas halófitas, y en áreas de riego con manejo inadecuado (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Siguiendo con la descripción realizada por el IUSS Grupo de Trabajo WRB de este grupo, este tipo de suelos se caracterizan por lo tener un desarrollo del perfil de débil a fuertemente meteorizados, muchos de ellos con un patrón de color gléyico a cierta profundidad. En áreas bajas con capa de agua somera, la acumulación de sales es mayor en la superficie del suelo (Solonchaks externos). Los Solonchaks donde el agua freática ascendente no alcanza el suelo superficial (o aún el solum) tienen la mayor acumulación de sales a cierta profundidad debajo de la superficie del suelo (Solonchaks internos).

Respecto a su utilización para la producción agropecuaria, el IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007) indica lo siguiente:

Su empleo agrícola se halla limitado a cultivos resistentes a sales o donde se ha disminuido la concentración de salitre por medio del lavado del suelo. Su uso pecuario depende del tipo de pastizal pero con rendimientos bajos. Los productores en Solonchaks adaptan sus métodos de laboreo, una práctica recurrente bajo sistemas de

riego es plantar a media altura del camellón. Esto asegura que las plantas se beneficien del agua de riego y que la acumulación de sales sea mayor en la parte superior del camellón, fuera del área radicular.

En zonas agrícolas, los suelos fuertemente afectados por sales no son muy demandados y hacen que baje su valor comercial. Sólo después de que las sales se han lavado del suelo (el cual entonces deja de ser un Solonchak) pueden esperarse buenos rendimientos. La aplicación de agua de riego no sólo debe satisfacer las necesidades del cultivo, pero debe aplicarse un exceso de agua por encima del requerimiento de riego para mantener el movimiento descendente en el suelo y lavar el exceso de sales de la zona de raíces. El riego de cultivos en regiones áridas y semiáridas debe estar acompañado de drenaje cuyas facilidades de drenaje deben diseñarse para mantener el nivel de agua freática debajo de la profundidad crítica. El uso de yeso sirve para mantener la conductividad hidráulica mientras las sales están siendo lavadas con el agua de riego.

IV.2.1.6.5 Tipos de suelo presentes en el predio del proyecto

a) Definición de áreas de muestreo

Con base en el análisis de las imágenes satelitales se identificaron dos zonas homogéneas del área del predio del proyecto; una de ellas cubierta con vegetación y la otra sin cobertura vegetal (Figuras IV-61 y IV-62). Los tipos de suelo en las superficies requeridas para la ejecución del proyecto en cuestión se determinaron mediante la descripción de perfiles de suelo. Los sitios de muestreo, construido uno en cada una de las zonas diferenciadas del predio, y número de barrenaciones se determinaron de acuerdo a las zonas homogéneas en cuanto a cobertura vegetal encontradas mediante el análisis de las imágenes de satélite y verificación en campo (Figura IV-62).

Cabe aclarar que, esta zona fue usada como tarquina conformada por la disposición del material dragado de la laguna Churubusco. Además, ésta área también ha sido usada para contener agua durante la época de lluvias, o, en su caso, regular excedencias del dren Chimalhuacán. Con esta consideración, no se puede hablar que el perfil del suelo en sitio del proyecto esté conformado por horizontes de diagnóstico bien constituidos pedológicamente hablando, sino más bien por estratos o capas de disposición de material de dragado en diferentes periodos identificables.



Figura IV—61. Condiciones físicas presentes en el predio del proyecto al momento de definir los sitios de muestreo para la caracterización del suelo.

Si bien el suelo en el predio del proyecto se tiene clasificado como Solonchak (Figura IV–59), dadas las características arriba mencionadas es difícil de hablar de un tipo de suelo como tal. Esa clasificación de suelo puede corresponder al material encontrado debajo del material dragado y dispuesto en el predio. Por lo que, la descripción de los perfiles construidos y que a continuación se presentan, se refiere a las características de los estratos identificados en ellos y no a horizontes pedológicamente desarrollados.

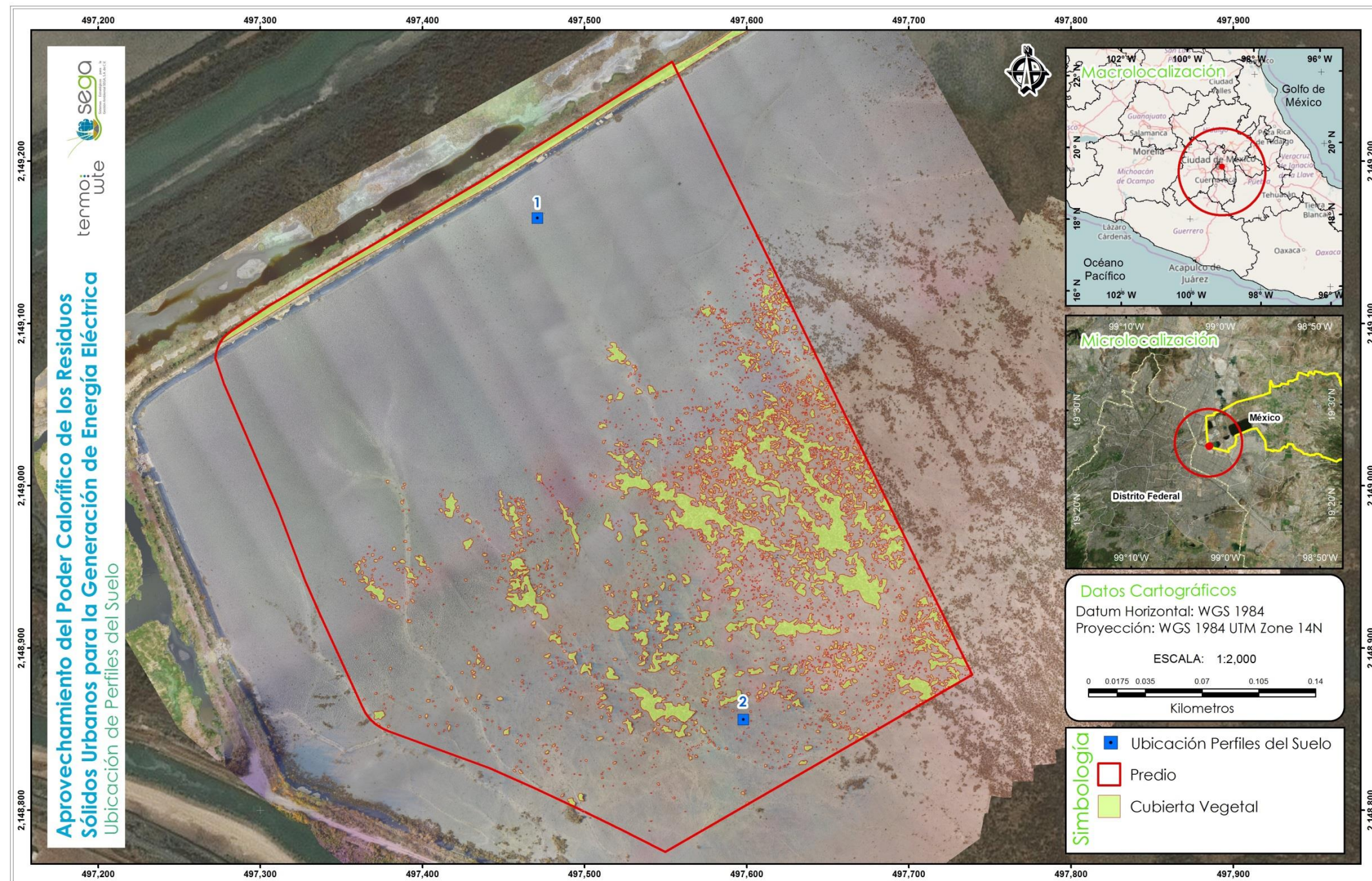



Figura IV—62. Diferenciación de las áreas del predio del proyecto para la determinación de los sitios de muestreo y ubicación de los perfiles para la caracterización del suelo en el predio del proyecto en cuestión.

b) Descripción de los estratos del suelo


Perfil 1. En área sin cobertura vegetal.

Ubicado en la parte noreste del polígono, aproximadamente a 40 m del bordo. Relieve llano; el material parental son sedimentos lacustres. Coordenadas UTM, Zona 14, X= 0497471; Y= 2149165.

Perfil	Estrato	Descripción
	L1	Profundidad de 0-10 cm; color en seco, 5Y 7/1; color en húmedo, 5 Y 2.5/1; textura arcillo - limosa; estructura columnar muy fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo muy firme, en seco extremadamente duro; consistencia en mojado, plástico y adherente. Efervescencia ligera al HCl (presencia de carbonatos), efervescencia ligera a H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Sin presencia de raíces, poros comunes finos y gruesos. Límite del horizonte claro e irregular. Permeabilidad baja. Presencia moderada de sales con espesor delgado. Agrietamiento superficial muy ancho, muy espaciado y muy profundo.
	L2	Profundidad de 10-47 cm; color en húmedo 5Y 4/2; textura, limosa; estructura, columnar muy fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo, muy firme; consistencia en mojado, muy plástico y muy adherente. Efervescencia ligera al HCl (presencia de carbonatos), efervescencia ligera a H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Sin presencia de raíces y poros comunes muy finos. Límite del horizonte claro y ondulado.
	L3	Profundidad de 47-62 cm; color en húmedo, 10Y 2/1; Textura, limosa; estructura masiva; consistencia en húmedo, muy firme; consistencia en mojado, muy plástico y muy adherente. Efervescencia ligera al HCl (presencia de carbonatos), efervescencia ligera a H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Sin presencia de raíces y poros comunes muy finos. Límite del horizonte claro y ondulado.
	W	Capa de agua en estado líquido.

Perfil 2. En área con cobertura vegetal.

Ubicado en la parte sureste del polígono, aproximadamente a 160 m del bordo. Relieve llano; el material parental son sedimentos lacustres. Coordenadas UTM, zona 14, X=0497598; Y= 2148856.

Perfil	Estrato	Descripción
	L1	Profundidad de 0-06 cm; color en seco, 2.5Y 6/2; colo en húmedo, 2.5Y 3/2; textura, franco – arcillosa; estructura, laminar media y moderadamente desarrollada; permeabilidad, moderada; consistencia en húmedo, friable; consistencia en mojado, plástica y muy adherente. Efervescencia, violenta al HCl (presencia de carbonatos) y moderada al H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Raíces muy finas comunes y poros comunes muy finos. Límite del horizonte claro y plano. Presencia moderada de sales con espesor delgado.
	L2	Profundidad de 06-15 cm; color en húmedo, 5Y 4/2; textura, franco – arcillosa; estructura, masiva; consistencia en húmedo, friable; consistencia en mojado, plástica y muy adherente. Efervescencia, fuerte al HCl (presencia de carbonatos) y ligera a H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Pocas raíces muy finas y poros comunes finos. Límite del horizonte claro y plano.
	L3	Profundidad de 15-44 cm; color en húmedo, 5Y 4/3; textura, arcillo – arenoso; estructura, granular fina y moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo, friable;

Perfil	Estrato	Descripción
		consistencia en mojado, plástica y muy adherente. Efervescencia, fuerte al HCl (presencia de carbonatos) y ligera al H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Raíces, muy pocas y muy finas. Poros, comunes finos. Límite del horizonte claro y plano.
	L4	Profundidad de 44 cm en adelante; color en húmedo, 5Y 2.1/1; textura, arcillo – limosa; estructura, masiva; consistencia en húmedo, friable; consistencia en mojado, muy plástica y muy adherente. Efervescencia, ligera al HCl (presencia de carbonatos) y muy ligera al H ₂ O ₂ (presencia de materia orgánica). Sin presencia de raíces. Poros comunes y muy finos. Límite del horizonte claro y plano. Condiciones reductoras.





Figura IV—63. Barrenación y construcción de perfil para la descripción del suelo presente en el área del proyecto de la planta termovalorizadora.

En los perfiles de suelo construidos para la caracterización de los suelos en el predio del proyecto se tomaron muestras de suelo de cada uno de los estratos identificados para sus análisis físico-químicos. Las muestras colectadas se prepararon de acuerdo a las especificaciones establecidas por Cuanalo (1981), para su posterior análisis en el laboratorio. Éstas se analizaron en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo y los resultados entregados se incluyen en el Anexo IV. A continuación se describen los resultados más sobresalientes.

Del análisis a los estratos identificados en los perfiles de suelo, considerando los valores de textura obtenidos y el triángulo de texturas de la Figura IV–56, resultó que todos tienen una textura muy uniforme, tendiendo a ser francos, predominando el franco – arenoso; solo el estrato L1 del área sin vegetación se clasificó como franco y el L4 del área con vegetación resultó ser franco – arcilloso (Tabla IV–19). Resultados similares obtuvo Segura et al. (2000) en suelos aledaños al sitio del proyecto, con variaciones de franco, franco – arenoso y franco – limoso.

En todas las muestras se obtuvieron valores del porcentaje de sodio intercambiable superior al 30%, lo que indica que se trata de suelos muy fuertemente sódicos (Pérez, 2011).

Considerando los resultados obtenidos en conductividad eléctrica, se encontró una gran variabilidad en los dos “tipos de suelos” en el área del proyecto. Los dos primeros estratos del perfil del área sin vegetación son más altos que el resto de los resultados ($L1=22.8 \text{ dS m}^{-1}$ y $L2=10.22 \text{ dS m}^{-1}$), clasificándose el primer estrato como muy fuertemente salino ($> 16.0 \text{ dS m}^{-1}$) y el segundo como fuertemente salino (entre 8.1 y 16.0 dS m^{-1}). Por otro lado, los estratos del área con vegetación se clasifican como suelos salinos (entre 4.1 y 8.0 dS m^{-1}). La interpretación de estos resultados se realizó tomando en cuenta los valores contenidos en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT 2000.

En cuanto al contenido de materia orgánica, hubo una gran diferencia en el contenido de ésta entre perfiles, donde los estratos del área sin vegetación tuvieron los más altos contenidos (Tabla IV–19). Considerando los valores para interpretar el contenido de materia orgánica de los suelos mencionados en la NOM-021-SEMARNAT-2000, se considera que su contenido en los estratos del perfil del suelo en el área sin vegetación se consideran muy altos y, en los estratos del perfil en el área con vegetación va de medio ($L2 = 3.0\%$ y $L3 = 2.6$), alto ($L1 = 3.6$) y muy alto ($L4 = 7.1\%$). Estos resultados resultaron ser más altos a los reportados por Gutiérrez y Ortiz (1992) y Segura et al. (2000) en muestreos de suelos del ex – lago de Texcoco.

El pH resultó muy uniforme en los estratos de ambos perfiles, entre 9.3 y 10.0, lo que los lleva a clasificarse como fuertemente alcalinos ($\text{pH} > 8.5$) (Tabla IV–19). En suelos aledaños, Gutiérrez y Ortiz (1992) y Segura et al. (2000) reportaron valores que van de medianamente alcalinos ($7.4 - 8.5$) a fuertemente alcalinos (> 8.5). Un comportamiento similar se encontró en los resultados obtenidos en la

variable de densidad aparente, mostrando una gran uniformidad entre estratos de ambos perfiles con valores que van de 0.92 a 1.06 t m⁻³. Estos suelos resultaron más livianos que los analizados por Gutiérrez y Ortiz (1992) y Segura et al. (2000), quienes reportan valores de 1.11 a 1.56 t m⁻³.

Con lo que respecta a los metales pesados y elementos traza analizados: Cu, Cd, Ni, B, Mo, Pb y Zn, todas las concentraciones resultantes estuvieron en rangos normales de acuerdo con lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000 y lo mencionado por Galán y Romero (2008) (Tabla IV-19). Si bien se encontraron variaciones en las concentraciones de algunos de estos elementos entre perfiles y estratos, éstos no llegaron a condiciones de peligro o anómalas.

Tabla IV-19. Composición química y textura, por perfil y estrato, de las muestras de suelo tomadas en las áreas con y sin vegetación en el predio del proyecto en cuestión.

Descripción [§]	Unidad	Perfil en área sin vegetación			Perfil en área con vegetación			
		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L4
Profundidad	cm	0 - 10		47 - 62	0 - 6		15 - 44	44
T-Arena	%	52.2	66.2	54.2	62.2	66.2	72.2	32.2
T-Limo	%	27.8	19.8	27.8	27.8	15.8	15.8	37.8
T-Arcilla	%	20.0	14.0	18.0	10.0	18.0	12.0	30.0
M.O.	%	21.5	17.2	17.8	3.6	3.0	2.6	7.1
pH	-	9.8	9.6	9.6	9.6	9.5	9.3	10.0
C.E.	dS m ⁻¹	22.8	10.22	6.8	6.41	5.59	4.87	8.77
PSI	%	58.4	53.6	50.0	48.8	46.9	45.4	47.0
Dap	t m ⁻³	0.92	0.95	0.92	1.06	0.97	1.05	0.92
N _{inorg}	mg kg ⁻¹	14.7	14.7	88.2	19.6	14.7	9.8	9.8
P	mg kg ⁻¹	155.46	79.4	91.49	26.45	11.4	81.28	31.82
K	mg kg ⁻¹	12840	12840	10800	9240	9780	10320	7080
Ca	mg kg ⁻¹	1907	2219	3039	2995	3030	2895	3145
Mg	mg kg ⁻¹	528	735	902	430	561	624	599
Fe	mg kg ⁻¹	78.8	87.09	165.92	9.96	33.88	44.98	78.06
Cu	mg kg ⁻¹	22.38	6.75	25.2	1.65	2.54	2.75	2.66

Descripción [§]	Unidad	Perfil en área sin vegetación			Perfil en área con vegetación			
		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L4
Zn	mg kg ⁻¹	10.61	5.92	15.84	1.85	1.39	1.49	1.37
Mn	mg kg ⁻¹	12.89	8.58	21.95	4.78	4.31	5.03	14.2
B	mg kg ⁻¹	4.09	5.36	35.02	15.4	31.67	16.09	36.29
Pb	mg kg ⁻¹	0.81	0.06	0.59	0.39	0.42	0.53	0.7
Cr	mg kg ⁻¹	ND	ND	ND	0.01	0.03	ND	ND
Cd	mg kg ⁻¹	0.1	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04	0.06
Ni	mg kg ⁻¹	0.35	0.06	2.41	0.19	0.39	0.3	0.58
Co	mg kg ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	mg kg ⁻¹	0.7	0.07	1.94	0.97	ND	ND	ND

[§] La T antes de arena, limo y arcilla significa "Textura"; M.O = Materia orgánica; C. E. = Conductividad eléctrica; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; Dap = Densidad aparente y, N_{inorg} = Nitrógeno inorgánico.

IV.2.1.6.6 Análisis de peligrosidad del suelo

Se realizó el muestreo del material de dragado dispuesto en el área del predio del proyecto y en su área aledaña para determinar su peligrosidad con base en la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, ésto a finales de marzo de 2017. Para ello, se tomaron dos muestras aleatorias dentro del predio, una en el área con vegetación y la otra en el área sin vegetación, y dos más fuera del predio del proyecto donde también se ha dispuesto material dragado (Figuras IV–64 y IV-65).

La toma de las muestras se efectuó por personal técnico especializado de "Laboratorios ABC Química, Investigación y Análisis, S.A. de C.V." contratado para ello, mismo que cuenta la acreditación de la Entidad Mexicana de Acreditación, A. C., para la rama de residuos No. R-0091-009/11. En cada uno de los cuatro puntos muestreados se tomó una muestra compuesta para su análisis, dicha muestra se conformó por la toma de tres muestras simples dentro un cuadrado de 1 m², ubicando los sitios de colecta de material al centro y laterales derecho e izquierdo del cuadrante, de donde se tomó el material de los primeros 30 cm del perfil (Figura IV–64). El material colectado de los tres sitios de cada cuadrante se

mezcló homogéneamente para tomar la muestra final de 1 kg de peso para ser analizada.





Figura IV—64. Procedimiento y material utilizado para el muestreo de suelo por personal técnico especializado para la realización del análisis CRIT.

La norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, establece las características, procedimientos de identificación y la clasificación de los residuos peligrosos y, en sus especificaciones de 7.2 a 7.7 se indican las características que los definen. A continuación se indican las especificaciones aplicables al tipo de muestra analizada:

7.2 Es Corrosivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

7.2.2 Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5 según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.3 Es Reactivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

7.3.1 Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.3.2 Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.3.3 Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.3.4 Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.5 Es **Tóxico Ambiental** cuando:

7.5.1 El extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en la Tabla 2 de esta Norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados, la cual deberá obtenerse según los procedimientos que se establecen en las Normas Mexicanas correspondientes.

7.6 Es **Inflamable** cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

7.6.2 *No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.*

7.7 *Es **Biológico-Infecioso** de conformidad con lo que se establece en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, referida en el punto 4 de esta Norma.*

A las muestras colectadas se les determinó su nivel de corrosividad, reactividad (incluyendo cianuros y sulfuros reactivos), inflamabilidad y toxicidad al medio ambiente, incluyendo los análisis para constituyentes inorgánicos (metales: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ag, Pb y Se), y orgánicos volátiles y semivolátiles (pesticidas).

Los resultados emitidos por el laboratorio indican que ninguna de las muestras colectadas y analizadas resultó ser corrosiva, reactiva, inflamable o tóxica al medio ambiente. En la Tabla IV-20 se incluye un resumen de los principales resultado por puntos de muestreo, mismos que se pueden corroborar con los resultados obtenidos por el laboratorio que se encuentran en el Anexo V.

Tabla IV-20. Resultado del análisis CRIT realizado a cuatro muestras de “suelo” tomadas en el predio de pretendida construcción de la planta termovalorizadora, con base a las especificaciones de la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Característica	Especificación NOM-052	Descripción de la especificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Corrosividad	7.2.2	2 < pH > 12.5	8.67	9.67	8.73	9.91
Reactividad*	7.3.1	Inflama en < 5 min	No se inflama	No se inflama	No se inflama	No se inflama
	7.3.2	Reacciona con agua generando gases > 1 L kg ⁻¹ h ⁻¹	No reacciona	No reacciona	No reacciona	No reacciona
	7.3.3	Con aire genera calor	No reacciona	No reacciona	No reacciona	No reacciona
	7.3.4	250 mg HCN kg ⁻¹	ND	0.24	ND	ND
	7.3.4	500 mg H ₂ S kg ⁻¹	ND	ND	ND	ND
Toxicidad**	7.5.1	Tabla 2 de la NOM	Menores a LMP	Menores a LMP	Menores a LMP	Menores a LMP
Inflamabilidad	7.6.2	Fuego por fricción				

* ND = Analito no detectado.

** Los resultados analíticos del extracto PECT se encuentran en el Anexo V.



Figura IV—65. Ubicación de los sitios de muestreo del suelo para la toma de muestra de suelo para la realización del análisis CRIT.

IV.2.1.7 Grado de erosión

IV.2.1.7.1 Descripción general

El suelo es considerado un recurso natural frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo o, incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado por las fuerzas abrasivas del agua y el viento o deteriorado física o químicamente. El suelo realiza un gran número de funciones clave tanto ambientales como económicas, sociales y culturales que son esenciales para la vida.

Es indispensable para la producción de alimentos y el crecimiento vegetal, almacena minerales, materia orgánica, agua y otras sustancias químicas y participa en su transformación. Además, sirve de filtro natural para las aguas subterráneas; es hábitat de una gran cantidad de organismos; proporciona materias primas para la construcción (arcilla, arenas, minerales, etc.), y es un elemento del paisaje y del patrimonio cultural.

La degradación del suelo es la pérdida de la productividad, actual o potencial, de su utilidad como resultado de factores naturales (clima, vegetación, material parental e hidrología), o antropogénicos (densidad de población, uso de la tierra, desarrollo de carreteras, cauces de agua y complejos industriales). Esta degradación se refiere a la disminución de la capacidad inherente del suelo para producir bienes económicos y realizar funciones ecológicas, así como otros problemas socioeconómicos que en conjunto contribuyen a que el nivel de vida de la población rural sea muy bajo.

Los principales procesos causales de la degradación de los suelos en México son la degradación química, la erosión hídrica y la eólica, responsables en conjunto del 87% de la superficie afectada, con 34.9, 23 y 18.5 millones de ha, respectivamente.

La erosión hídrica ocurre por el desprendimiento de las partículas del suelo bajo la acción del agua, dejándolo desprotegido y alterando su capacidad de infiltración, lo que propicia el escurrimiento superficial. Este tipo de erosión presenta dos modalidades, la primera con pérdida de la capa superficial, que ocurre cuando el agua fluye en forma más o menos homogénea por una zona, arrastrando la capa superior del suelo –que es la que contiene más nutrientes y materia orgánica-, reduciendo así su fertilidad. La segunda se presenta cuando el flujo del agua se concentra en un cauce donde la erosión es más rápida, de modo que va abriendo una zanja cada vez más profunda, conocida como “cárcava”, en cuyo caso se dice que hay deformación del terreno.

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, en México como en el mundo se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada. En el 2002, la SEMARNAT comisionó la realización de la *Evaluación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana*, con objeto de identificar los riesgos de erosión, y su magnitud en el país. Para estimar la erosión potencial se utilizaron dos ecuaciones propuestas por la FAO: la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, por sus siglas en inglés) para la erosión hídrica y la ecuación de erosión eólica WEE (Wind Erosion Equation, por sus siglas en inglés).

De acuerdo con la información publicada por la SEMARNAT en su página web http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html, las zonas afectadas por erosión hídrica alcanzan el 11.59% del territorio nacional, 11.1% de la Ciudad de México y 24.2% del territorio del Estado de México (Tabla IV–21). Por otro lado, las zonas afectadas por erosión eólica representan el 9.25% del territorio nacional, 1.4% de la Ciudad de México y 4.5% del Estado de México.

Tabla IV-21. Superficie (ha) de suelo degradada por procesos físicos, químicos, eólicos e hídricos en la Ciudad de México y el Estado de México para el año 2002[§].

Proceso de degradación	Entidad	Superficie afectada por grado de erosión (ha)				Total (ha)	Territorio afectado (%)
		Ligera	Moderada	Severa	Extrema		
Física	CDMX	1,396.6	0.0	3,985.3	4,771.3	10,153.2	6.8
	Edo. Méx.	25,198.7	3,864.6	30,325.8	27,449.3	86,838.3	3.9
	Nacional	6'720,653.3	2'334,128.1	587,169.8	1'195,862.5	10'837,813.8	5.53
Química	CDMX	11,768.6	0.0	0.0	0.0	11,768.6	7.9
	Edo. Méx.	436,752.6	108,960.5	0.0	0.0	545,713.1	24.4
	Nacional	18,714,153.3	14,717,411.3	558,352.4	52,599.7	34,042,553.8	17.37
Erosión eólica	CDMX	2,120.0	0.0	0.0	0.0	2,120.0	1.4
	Edo. Méx.	92,591.1	6,928.4	0.0	0.0	99,519.5	4.5
	Nacional	5,343,601.2	12,086,147.1	682,846.9	12,265.7	18,124,860.8	9.25
Erosión hídrica	CDMX	15,772.6	748.8	0.0	0.0	16,521.4	11.1
	Edo. Méx.	370,479.5	169,563.2	893.4	0.0	540,936.0	24.2
	Nacional	12,822,753.2	9,026,390.1	838,052.8	38,472.9	22,725,706.2	11.59

[§] Información obtenida de la página web: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html.

IV.2.1.7.2 Determinación de pérdida de suelo por erosión hídrica en el SAR

No existe información específica sobre el grado de erosión a nivel del SAR, sin embargo, la información con la que se cuenta sobre los tipos de suelo, pendiente y precipitación media anual fueron incorporadas como variables para realizar en esta manifestación de impacto ambiental, modalidad regional, un modelo con base en la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) y representadas gráficamente en un sistema de información geográfica.

De acuerdo con Renard et al. (1997), la ecuación RUSLE puede ser usada apropiadamente para:

- Predecir pérdida de suelo promedio a largo plazo de condiciones de campo específicas, usando un sistema específico de manejo.
- Para predecir erosión en sistemas agropecuarios y sitios en construcción.

- La pérdida de suelo calculado por el modelo es la cantidad de sedimento perdido en el perfil arrastrados por la escorrentía.
- El perfil del paisaje es definido por una longitud de la pendiente, la cual es la longitud del origen del flujo superficial hasta el punto donde el flujo alcanza una mayor concentración o una mayor área de deposición como en las pendientes cóncavas y cerca de los límites del terreno.

La ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) tiene la siguiente expresión matemática (Renard et al., 1997):

$$A = R * K * LS * C$$

A = Pérdida de suelo promedio anual en (t/ha/año).

R = Factor erosividad de las lluvias en (MJ/ha*mm/hr).

K = Factor erodabilidad del suelo en (t/ha.MJ*ha/mm*hr).

LS= Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente, adimensional).

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal, adimensional).

El método para determinar la pérdida de suelo en el SAR, aplicada en el presente ejercicio, requirió de la preparación de los cuatro mapas intermedios (uno por cada factor) que se mencionan a continuación, mismos que fueron multiplicados mediante un sistema de información geográfica para obtener un mapa final de las áreas potenciales de riesgo de erosión hídrica (Figura IV–66).

- Factor R: Mapa de erosividad de las lluvias.
- Factor K: Mapa de erodabilidad del suelo.
- Factor LS: Mapa topográfico.
- Factor C: Mapa de uso de suelo y vegetación.

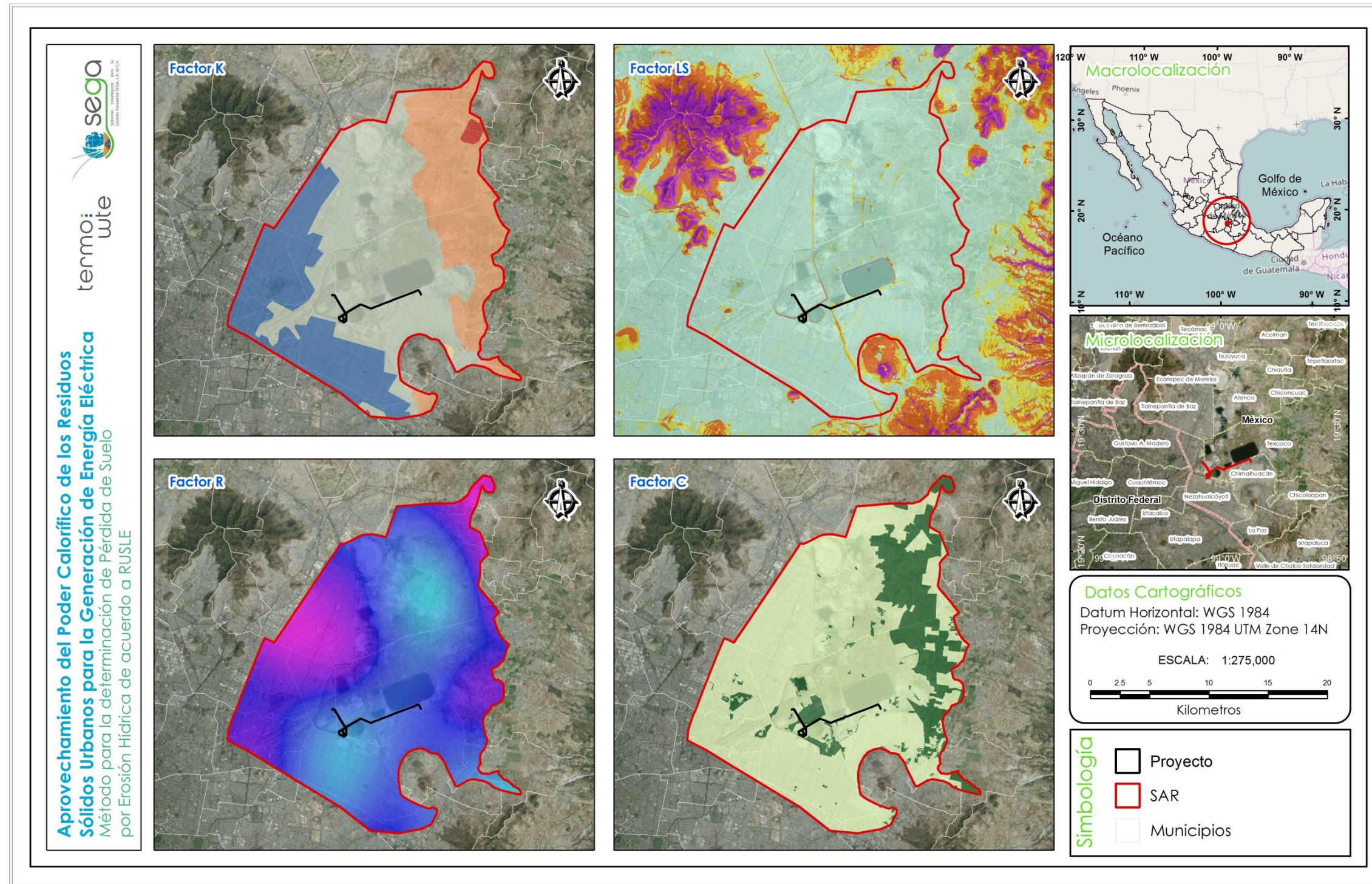


Figura IV—66. Representación gráfica de los factores de la ecuación RUSLE para estimar la erosión en el SAR del proyecto en cuestión.

Factor R

Es el potencial erosivo de la lluvia que afecta al suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa conforme a la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

El Factor R se calcula con la siguiente fórmula:

$$R= 3.4880P-0.00088P^2$$

Donde:

R= Factor R

P= Precipitación media anual.

Posteriormente se generó un mapa vectorial del factor mediante un GIS.

Factor K

Es una compleja propiedad que se refiere a la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicamiento durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración. El Factor K se calcula tomando en cuenta el tipo de suelo y su textura, como se muestra en la siguiente Tabla, a partir de los cual se genera un mapa vectorial.

Reclasificación para el cálculo del factor K.

Orden	Textura			Orden	Textura		
	Gruesa	Media	Fina		Gruesa	Media	Fina
A	0.026	0.040	0.013	lo	0.026	0.040	0.013
Af	0.013	0.020	0.007	lp	0.053	0.079	0.026
Ag	0.026	0.030	0.013	lv	0.053	0.079	0.026

Orden	Textura			Orden	Textura		
	Gruesa	Media	Fina		Gruesa	Media	Fina
Ab	0.013	0.020	0.007	M(g,a)	0.026	0.040	0.013
Ao	0.026	0.040	0.013	N(d,e,b)	0.013	0.020	0.007
Ap	0.053	0.079	0.026	O(d,e,x)	0.013	0.020	0.007
B	0.026	0.040	0.013	P	0.053	0.079	0.026
Bc	0.026	0.040	0.013	Pf	0.053	0.079	0.026
Bd	0.026	0.040	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026
Be	0.026	0.040	0.013	Ph	0.026	0.079	0.013
Bf	0.026	0.020	0.007	Pl	0.026	0.040	0.013
Bg	0.026	0.040	0.013	Po	0.053	0.040	0.026
Bh	0.013	0.020	0.007	Pp	0.053	0.079	0.026
Bk	0.023	0.040	0.013	Q(a,c,f,l)	0.013	0.079	0.007
Bv	0.053	0.079	0.026	R	0.026	0.020	0.013
Bx	0.053	0.079	0.026	Re	0.026	0.040	0.013
C(g,h,b,l)	0.013	0.020	0.007	Rc	0.013	0.040	0.013
D(d,e,g)	0.053	0.079	0.026	Rd	0.026	0.020	0.007
E	0.013	0.020	0.007	Rx	0.053	0.040	0.026
F(a,b,o,p,r)	0.013	0.020	0.007	S	0.053	0.079	0.026
G	0.026	0.040	0.013	Sg	0.053	0.079	0.026
Gc	0.013	0.020	0.007	Sm	0.026	0.079	0.013
Gd	0.026	0.040	0.013	So	0.053	0.040	0.026
Ge	0.026	0.040	0.013	I	0.026	0.079	0.013
Gh	0.013	0.020	0.007	lh	0.013	0.040	0.007
Gm	0.013	0.020	0.007	lm	0.013	0.020	0.007
Gp	0.053	0.079	0.026	lo	0.026	0.020	0.013
Gx	0.053	0.079	0.026	lv	0.026	0.040	0.013
Gv	0.053	0.079	0.026	U	0.013	0.040	0.007
H(c,g,h,l)	0.013	0.020	0.007	V(c,p)	0.053	0.020	0.026
I	0.013	0.020	0.007	W	0.053	0.079	0.026
J	0.026	0.040	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026
Jc	0.013	0.020	0.007	We	0.053	0.079	0.026

Orden	Textura			Orden	Textura		
	Gruesa	Media	Fina		Gruesa	Media	Fina
Jd	0.026	0.040	0.013	Wh	0.026	0.079	0.013
Je	0.026	0.040	0.013	Wm	0.026	0.040	0.013
Jt	0.053	0.079	0.026	W	0.053	0.040	0.026
Jp	0.053	0.079	0.026	Wx	0.053	0.079	0.026
K(h,k,l)	0.026	0.040	0.013	X(b,k,l,y)	0.053	0.079	0.026
L	0.026	0.040	0.013	Y(h,k,l,y,t)	0.053	0.079	0.026
L	0.053	0.079	0.026	Z	0.026	0.040	0.013
Lc	0.026	0.040	0.013	Zg	0.026	0.040	0.013
Lf	0.013	0.020	0.007	Zm	0.013	0.020	0.007
Lg	0.026	0.040	0.013	Zc	0.026	0.040	0.013
lk	0.026	0.040	0.013	Zt	0.053	0.079	0.026

Factor LS

El factor de inclinación de la pendiente refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión. El potencial de erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente.

Para calcular LS se empleó el modelo digital de elevación del terreno de INEGI y mediante un procesamiento en el GIS se genera un mapa de pendientes.

Factor C

El factor C es usado para reflejar el efecto del uso de suelo y prácticas de manejo en las tasas de erosión. Este factor mide como el potencial de pérdida de suelo será distribuido en el tiempo durante la construcción de actividades, rotación de cultivos, y otros esquemas de manejo.

El Factor C se calcula tomando en cuenta valores del uso de suelo, como se muestra en la siguiente Tabla, a partir de la cual se genera un mapa vectorial para este factor.

Uso de suelo y vegetación	Causo
Zonas agropecuarias	0.80
Terreno baldío, matorral rosetófilo y crassicaule, zacatonal, zona lotificada sin construcciones, zonas sin vegetación aparente.	0.15
Zona inundable, vegetación secundaria, pastizal	0.12
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) perturbado, bosque de pino perturbado, bosque de pino-oyamel (incluye oyamel-pino) perturbado, bosque de encino perturbado, bosque de oyamel perturbado, bosque mesófilo de montaña perturbado.	0.11
Bosque de encino, bosque de oyamel, bosque de pino-oyamel (incluye oyamel-pino), bosque pino-encino (incluye encino- pino), bosque de pino, bosque mesófilo de montaña	0.10
Vialidad, basurero, cuerpo de agua, infraestructura, asentamiento humano, canal o estanque.	0

Finalmente, mediante una multiplicación de los cuatro mapas resultantes y a través de un GIS se obtiene una representación gráfica que presenta las áreas de mayor presión por erosión hídrica en el sistema (Figura IV–67).

De acuerdo con el ejercicio realizado en este estudio para evaluar el grado potencial de erosión hídrica del suelo, se observa que la mayoría de las superficies del SAR presenta un potencial de erosión de menos de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Solo en algunas áreas bastante específicas ubicadas al este del SAR se presenta un potencial de erosión hídrica de entre $1 \text{ y } 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Li y Fang (2016) hicieron una revisión bibliográfica sobre los resultados obtenidos en el análisis y respuesta de la erosión hídrica a nivel mundial y sobre cómo se

liga ésta con el cambio climático. Estos autores, haciendo referencia a lo encontrado, mencionan que este tipo de erosión es la más común a nivel mundial, siendo la causante del 55% de la erosión del suelo a nivel mundial. Además, especifican que la tasa de pérdida de suelo tolerable más comúnmente citada es de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. También encontraron que se estima que una tasa promedio anual de erosión del suelo superior a $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ puede considerarse irreversible entre 50 y 100 años. A nivel mundial se estima una tasa de erosión de $10.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Aún y considerando que existen diversos factores que determinan la tasa de pérdida de suelo y que cada caso es específico; con base en esta información se puede considerar que la erosión estimada en la mayor parte del SAR delimitado para el proyecto esté dentro de una tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica tolerable.

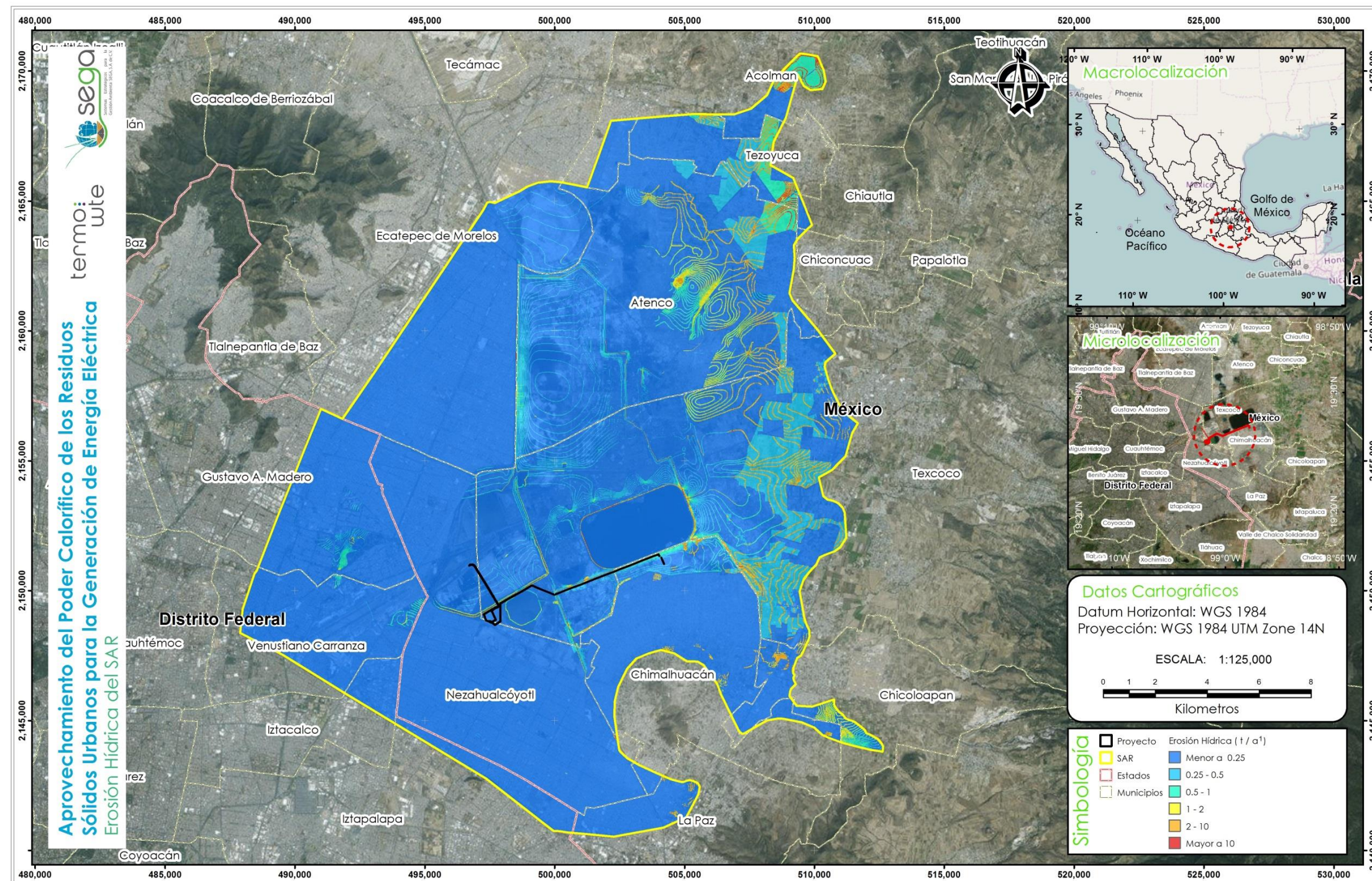


Figura IV—67. Erosión estimada aplicando la ecuación RUSLE mediante un sistema de información geográfica dentro del sistema ambiental regional definido para el proyecto en cuestión.

IV.2.1.8 Hidrografía

La hidrografía consiste en el estudio de todas las masas de agua de la Tierra (tanto marinas como continentales); en sentido más estricto, trata de la medida, recopilación y representación de los datos relativos al fondo del océano, las costas, las mareas y las corrientes, los ríos, lagos, aguas subterráneas y glaciares, de manera que se puedan plasmar sobre un mapa, o sobre una carta hidrográfica.

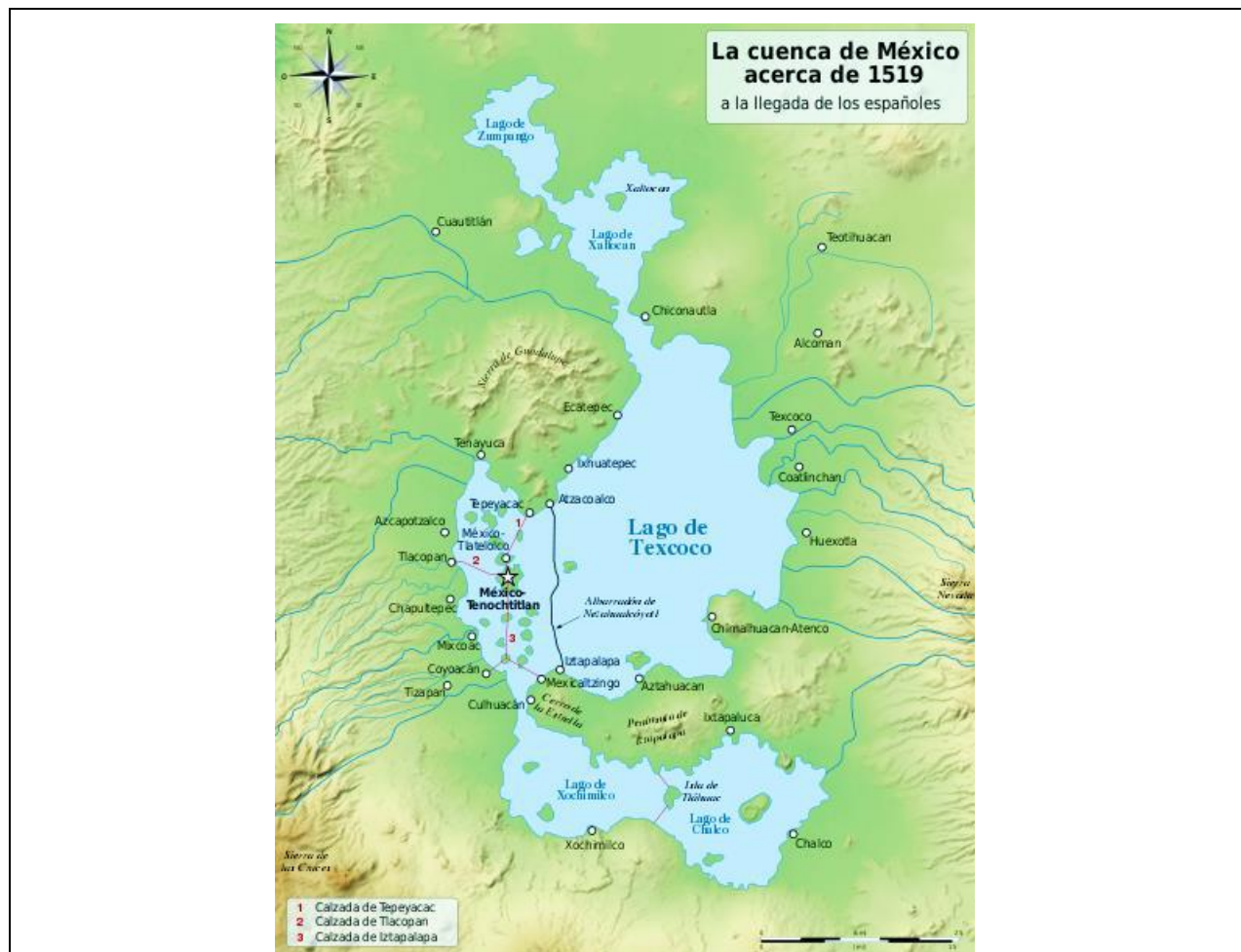
El SAR del proyecto se encuentra en la cuenca endorreica del Valle de México, la que originalmente fue conformada por cinco grandes lagos: Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco (Figura IV-68). Muciño (2001) refiere que en la época prehispánica la zona lacustre llegó a cubrir hasta 2,000 km², aproximadamente 20% de la superficie total de la cuenca.

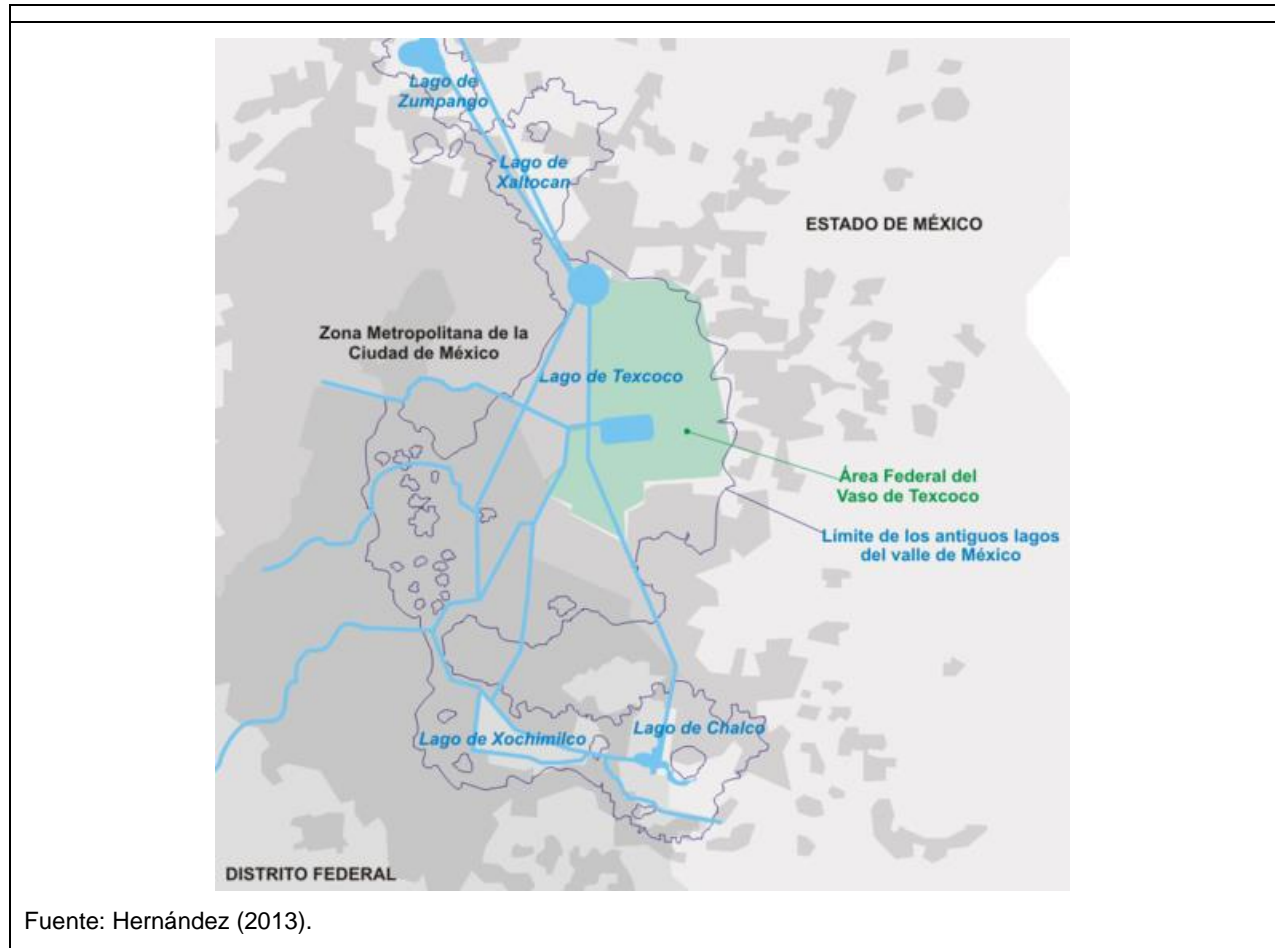
Alrededor del año 1520 comenzó la desecación del lago de Texcoco debido a las continuas inundaciones; para ello, hacia el norte se realizaron obras de drenado de aguas negras, pluviales y de manantiales, favoreciendo la expansión urbana (Hernández, 2013). Este mismo autor refiere que entre 1860 y 1902 se construyó el canal de 47 km del centro a la ciudad de Zumpango y del túnel de Tequixquiac con el propósito de disminuir el agua que se vertía al lago de Texcoco, misma que provenía de los lagos de San Cristóbal, Xaltocán y Zumpango. El objetivo de esta infraestructura fue el de drenar el agua de estos lagos a la cuenca del Pánuco, que descarga al Golfo de México.

Además, el crecimiento poblacional y su demanda por áreas habitacionales y para la producción de bienes de consumo, así como la demanda de agua, ocasionaron que la población fuera invadiendo poco a poco las zonas que quedaban expuestas por efecto de la pérdida de agua. Aunado a esta problemática de pérdida de superficie de los cuerpos de agua, posteriormente surgieron problemas de tipo ambiental originados por la disposición incorrecta de los residuos y las descargas de aguas residuales sin tratar

directas al cuerpo de agua por parte de las poblaciones asentadas en áreas aledañas al cuerpo de agua (Muciño, 2017).

Según consta en el Decreto publicado el 21 de julio de 1971 en el Diario Oficial de la Federación, el 08 de abril de 1922 las aguas y cauces de Valle de México se declararon propiedad de la nación. Posteriormente, el 30 de abril de 1931, a través de decreto presidencial se declara propiedad de la nación específicamente el vaso del Lago de Texcoco. Y, en el Decreto del 21 de julio de 1971, mismo que continúa vigente, se fijaron los límites del vaso del Lago Texcoco, el cual quedó conformado por 14,500 ha (Figura IV-68), y donde se sitúa el área del proyecto y parte del SAR se encuentra dentro de ésta área.





Fuente: Hernández (2013).

Figura IV—68. Ubicación de los lagos que conforman la cuenca del Valle de México y del área del vaso del lago de Texcoco declarada propiedad de la nación.

Como es sabido, para la gestión del agua se decretó la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través de un decreto presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación en enero de 1989. Esta dependencia federal, desde entonces, ha sido la encargada de administrar este recurso natural, para ello dividió al país en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas, las que a su vez subdividió en 37 Regiones Hidrológicas y 731 cuencas hidrológicas, donde se tiene como unidad administrativa del agua a los acuíferos (SEMARNAT-CONAGUA, 2015).

El territorio del Estado de México y de la Ciudad de México queda dentro de la Región Hidrológica-Administrativa “XIII Aguas del Valle de México”. Ésta se ubica en el centro del país y comprende la totalidad de la Ciudad de México y parte de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala (SEMARNAT-CONAGUA, 2012a). De acuerdo con el decreto del Diario Oficial de la Federación del 01 de abril de 2010, esta Región comprende una superficie territorial de 18,228 km², equivalente al 0.9% del territorio nacional.

De acuerdo con SEMARNAT-CONAGUA (2012a), la problemática de esta Región se agrupa en dos grandes temas. El primero es similar al que ha venido mostrando esta cuenca, y es la demanda de agua debido al acelerado crecimiento poblacional, solo que ahora con menor disponibilidad del recurso. Esta demanda ha llevado a revisar la capacidad de algunas subcuencas y acuíferos de la Región. Y, el segundo grupo de la problemática se relaciona con el desequilibrio del recurso en la Región, originado por factores económicos, de competitividad entre los usos de agua y por la falta de productividad del recurso.

Por otro lado, la Región Hidrológica-Administrativa XIII comprende las subregiones hidrológicas Tula y Valle de México, que a su vez forman parte de la Región Hidrológica 26 “Pánuco”, ubicada en su parte inicial. Comprende 13 cuencas hidrológicas con una superficie de 16,088 km², de las cuales siete pertenecen a la subregión hidrológica Valle de México y seis a la subregión hidrológica Río Tula.

Las cuencas hidrológicas se consideran la unidad natural para medir, planificar, organizar y administrar la gestión eficaz encaminada a un aprovechamiento sustentable del agua. Para una gestión y administración del recurso se tienen los acuíferos donde, frecuentemente, se estima su disponibilidad de agua (agua subterránea) y se tiene un control de los cuerpos de agua superficiales.

En la Región Hidrológica 26 se encuentra la cuenca Río Moctezuma, en la cual se encuentra el SAR y AI del proyecto (Figura IV–69). Según lo descrito por INEGI (2001),

esta cuenca tiene un drenaje de tipo dendrítico subparalelo y es, como ya se mencionó, de tipo endorreico. Esta cuenca tiene, además del cauce del río Moctezuma, las corrientes de los ríos Cuautitlán, El Salado, El Órgano, Ñadó, San Juan, San Bernardino, y Zarco.

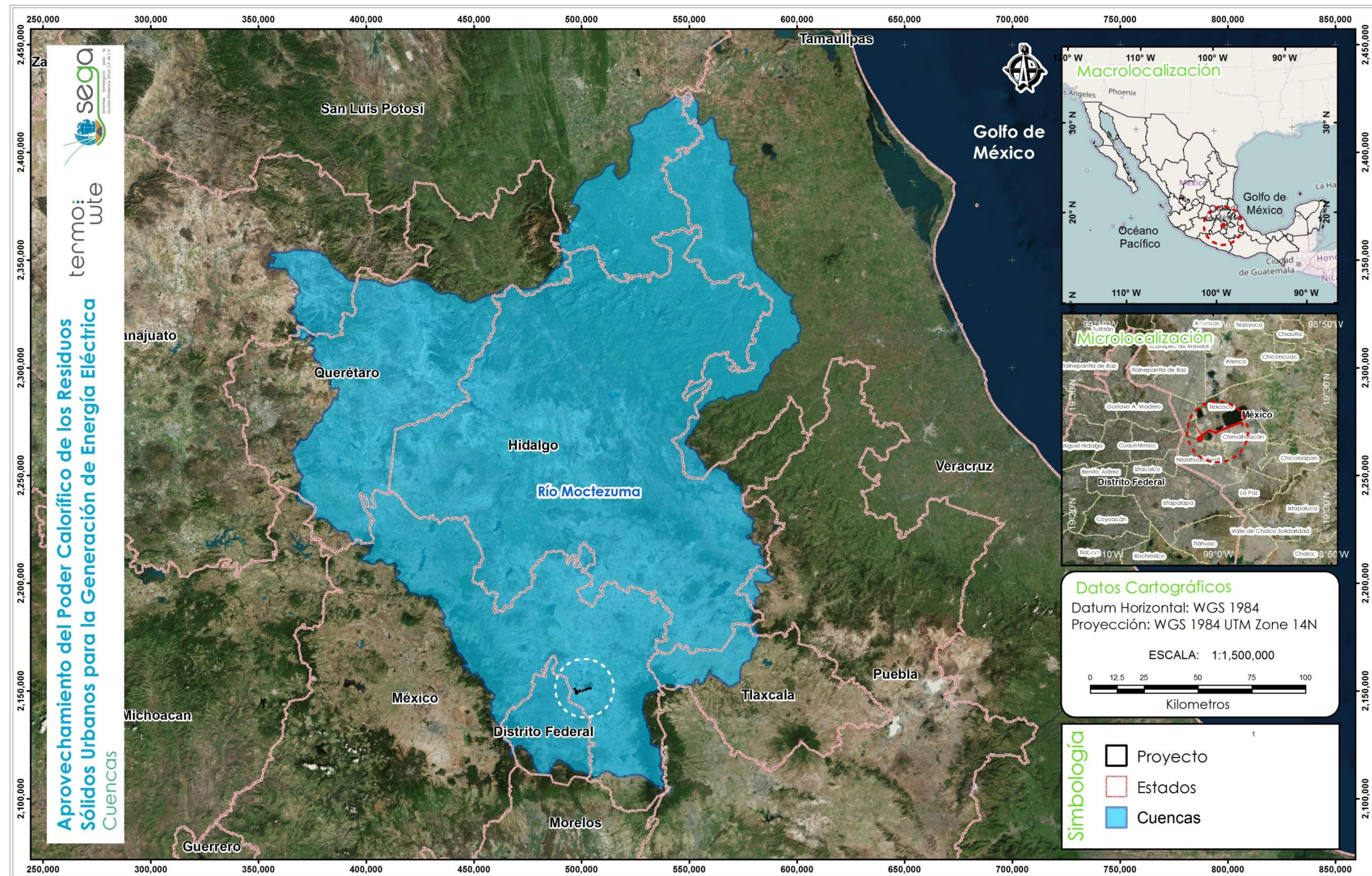


Figura IV—69. Cuenca hidrológica para la delimitación de los corrientes de aguas superficiales dentro del sistema ambiental regional del proyecto.

A nivel de la zona metropolitana, esta cuenca es importante porque es la abastecedora de agua para la industria que se encuentra en el centro del país y de la zona conurbada de la Ciudad de México (INEGI, 2001). Es debido a este aprovechamiento y por la descarga de aguas residuales, de las cuales solo el 18% son tratadas, que la condición de la cuenca se considera crítica (INEGI, 2001).

En la Región Hidrológico-Administrativa de 14,558 km² se ubican 14 acuíferos (SEMARNAT-CONAGUA, 2012a). De éstos, siete pertenecen a la subregión Tula, siete a la subregión Valle de México, uno se ubica en el norte de Veracruz y otro en el Alto Balsas. Los acuíferos Cuautitlán-Pachuca y Zona Metropolitana de la Cd. de México, con aproximadamente 2,850 km² y 2,103 km², respectivamente, pertenecen a la subregión Valle de México, son los acuíferos más grandes dentro de la subregión Valle de México.

El SAR definido para el proyecto se encuentra ubicado en los acuíferos: 0901 Zona Metropolitana de la Cd. de México, 1507 Texcoco y 1508 Cuautitlán-Pachuca (Figura IV-70).

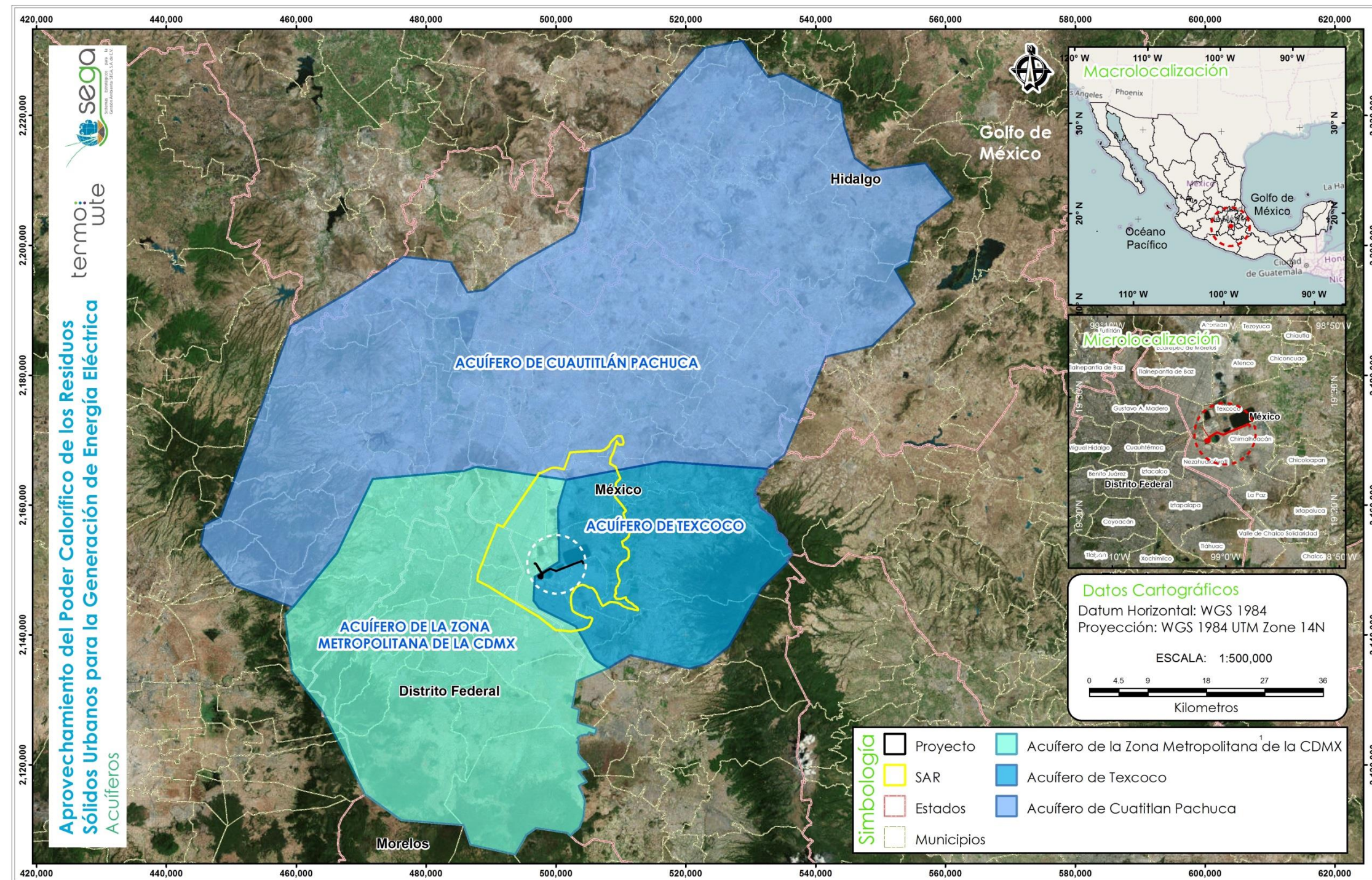


Figura IV—70. Ubicación del área y sistema ambiental regional del proyecto con respecto a los acuíferos pertenecientes a la Región Hidrológico-Administrativa XIII.

IV.2.1.8.1 Hidrología subterránea

A continuación, se describen las características más relevantes de los acuíferos en los que se inserta el SAR definido para el proyecto.

a. Acuífero 0901 Zona Metropolitana de la Cd. de México

De acuerdo con la información publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de septiembre de 2016, “Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Zona Metropolitana de la Cd. de México, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México”, todavía se encuentra vigente el decreto de veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Cuenca del Valle de México, el cual fue publicado en el mismo medio el 19 de agosto de 1954.

Por otro lado, en el decreto del 26 de enero de 2016 se da a conocer la información actualizada de la condición del Acuífero, misma que se resume a continuación.

El acuífero comprende la totalidad de las 16 delegaciones de la Ciudad de México y el municipio de Tlalnepantla de Baz y, parcialmente, los municipios de Naucalpan de Juárez, Jilotzingo, Cuautitlán, Izcalli, Nicolás Romero, Tultitlán, Ecatepec de Morelos, Atizapán de Zaragoza, Atenco, Isidro Fabela, Nezahualcóyotl, Xonacatlán, Huixquilucan, Lerma, Ixtapaluca, La Paz, Valle de Chalco, Chalco, Ocoyoacac y Xalatlaco, en el Estado de México, y Huitzilac, Jilotzingo, Tlalnepantla y Tepoztlán, en Morelos.

La recarga de agua de este acuífero tiene dos principales fuentes. La más importante son las precipitaciones que se tienen durante la época de lluvias en las zonas altas, mayoritariamente en su zona sur. Y, las segundas es la recarga por las fugas de agua que se tienen en el sistema de abastecimiento de agua en la zona urbana del acuífero. Por otro lado, la principal pérdida de agua del acuífero es el aprovechamiento del

recurso por medio de los pozos profundos que se tienen perforados en diferentes áreas del acuífero.

En el decreto del 29 de septiembre de 2016 se reporta que el volumen de extracción total estimado en el acuífero es de 623.8 Mm³. Sin embargo, en este Decreto no se desglosan los usos del agua, lo que sí hace en CONAGUA (2015), quedando como sigue: 88.53% se destinó para el uso público urbano y doméstico (448.50 y 0.66 Mm³, respectivamente), 9.79% para uso industrial y generación de energía, 1.57% fue para uso recreativo, comercial y servicios y el restante 0.12% para uso agrícola y pecuario. La extracción del volumen de agua aprovechado se repartió en áreas de la Ciudad de México y del Estado de México, correspondiendo el 87.0 y 12.0%, respectivamente.

En el decreto antes referido, se menciona que la calidad del agua es buena. Para ello, solo se menciona que los sólidos disueltos totales (SDT), que comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua, tuvieron una variación de entre 150 a 200 mg L⁻¹ en las zonas de recargas ubicadas al oeste y sur del acuífero. Sin embargo, el valor de esta variable incrementa en los límites con el acuífero Texcoco, donde se llegan a obtener valores de hasta 2,500 mg L⁻¹. De acuerdo con la OMS (2006), el contenido de SDT en el agua influye en la palatabilidad del agua potable; de tal forma que, con una concentración menor a los 600 mg/l suele considerarse con buena palatabilidad, pero a concentraciones mayores a los 1,000 mg L⁻¹ su palatabilidad disminuye significativamente. Considerando los resultados antes mencionados, el obtenido cercano al acuífero Texcoco también rebasa el valor máximo permisible para esta variable en la modificación de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 (1,000 mg L⁻¹), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de noviembre de 2000, la cual establece los límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

Por otro lado, la CONAGUA (2015) menciona que en el análisis a la calidad del agua realizado en determinados puntos de muestreo en 1995 se encontraron incrementos en las concentraciones de cloruros y dureza cuando se comparan con los resultados del análisis realizado en 1987, logrando rebasar los valores límites permisibles de la norma.

Se refiere que el valor de cloruros rebasó en un 250% el límite permisible por la norma. Este mineral en el manto acuífero puede proceder de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales, para el caso del acuífero. En el agua doméstica el principal problema puede ser la corrosión en el sistema de distribución y concentraciones superiores a 250 mg L^{-1} puede darle un ligero sabor salobre, perceptible al paladar. Por otro lado, la dureza, dada por la concentración de Ca, principalmente, y, en menor medida, de la de Mg, mostró un incremento de 200 mg L^{-1} entre 1987 y 1995, sobrepasando los 500 mg L^{-1} definido como valor límite permisible de la norma. La OMS (2006) menciona que no se cuenta con una evidencia del efecto del consumo de agua dura a la salud humana; sin embargo, se estable una concentración de 500 mg L^{-1} por efectos de cambios de sabor en el agua y formación de incrustaciones en los sistemas de distribución.

De acuerdo con el decreto del 26 de septiembre de 2016, la disponibilidad media anual del Acuífero se determinó considerando una recarga media anual de 512.8 Mm^3 anuales; una descarga natural comprometida nula y el volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio del 2014, de $1,103.98 \text{ Mm}^3$ anuales, resultando una disponibilidad media anual (DAS) de agua subterránea nula, con un déficit de 591.18 Mm^3 anuales. Esto indica que no hay disponibilidad para otorgar nuevas concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el acuífero en comento.

b. Acuífero 1507 Texcoco

En la caracterización de este acuífero, primero vale mencionar que, al igual que el anteriormente descrito, también se encuentra incluido en el decreto de veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Cuenca del Valle de México, mismo que fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 1954.

Por otro lado, en el Acuerdo del 20 de abril de 2015 se da a conocer únicamente la información actualizada de la disponibilidad de agua del Acuífero, entre otros. Sin embargo, es en la publicación de la CONAGUA (2002a) donde se presenta la caracterización del Acuífero, misma que se resume a continuación.

El acuífero Texcoco comprende 12 municipios del Estado de México: Atenco, Chiautla, Chicoloapan, Chinconcuac, Chimalhuacán, Ecatepec, Nezahualcóyotl, Papalotla, Tepetlaoxtoc y Texcoco, además de la delegación de Iztapalapa, de la Ciudad de México.

Se trata de un acuífero que ha estado sometido a una sobreexplotación del recurso debido al mayor volumen de agua extraída que la de su recarga. El nivel estático varía entre 10 m hasta 180 m (CONAGUA, 2002a). Sin embargo, éste ha tenido cambios negativos, de acuerdo con la dependencia federal antes citada tan solo entre 1987 y 1997 se han tenido descensos de 14 m en el suroeste del acuífero, 5 m al norte y entre 0.5 y 1.4 m en la zona sur.

De un muestreo realizado por la CONAGUA en 235 pozos del Acuífero, para el cual se clasificaron por su profundidad en tres grupos: menor de 50 m, entre 50 y 100 m y de entre 100 y 200 m, se encontró que, en general, la calidad del agua rebasa los límites establecidos en la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 (CONAGUA, 2002a). Para ello, se especifica que se rebasan los límites definidos como permisibles en las concentraciones de cloruros, dureza total, bicarbonatos y amonio.

El bicarbonato es parte del análisis del contenido de sólidos disueltos totales, además de la concentración de Ca, Mg, K, Na, cloruros y sulfato. Altas concentraciones de

bicarbonato pueden influir en el pH del agua, tendiendo a la alcalinización, además de que pueden influir en el deterioro en las tuberías del sistema de conducción de agua y en la alteración de las propiedades químicas del suelo cuando el agua es utilizada para riego. En este caso, la CONAGUA (2002a) no encontró un patrón consistente en la concentración de SDT en relación con la profundidad de los pozos. Al norte del acuífero se encontró una mayor concentración de SDT en los pozos más profundos que en los de menor profundidad (425 vs 342 mg L⁻¹), caso contrario al sur de Texcoco, donde se encontró una mayor concentración en los pozos más superficiales (546 mg L⁻¹) que en los de mediana profundidad (268 mg L⁻¹). La concentración máxima (1,613 mg L⁻¹) se encontró al noroeste del Acuífero, en un pozo de entre 100 y 200 m de profundidad.

De las variables analizadas por la CONAGUA (2002a), y de las que menciona que rebasa los límites de la norma, es la concentración de amonio. La presencia de este compuesto puede ser un indicador del nivel de contaminación del agua, ya que este puede derivarse de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales, así como de la desinfección con cloramina. La OMS (2006), menciona que su concentración en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0.2 mg L⁻¹, misma que se incrementa notablemente en aguas superficiales en áreas donde se desarrolla la ganadería intensiva y no hay cuidado en el manejo de las aguas residuales.

La CONAGUA reporta que el volumen de extracción total estimado en el acuífero es de 465.36 Mm³ a⁻¹. El volumen total extraído se puede agrupar en cuatro grandes grupos de uso del recurso donde el destinado para uso público urbano y doméstico es al que más se destina (81.41%), seguido agrícola y pecuario (9.64%), industrial (8.13%) y solo el 0.82% para uso recreativo, comercial y servicios. Ecatepec de Morelos es el municipio que más volumen de agua demanda con 49.53% del volumen total extraído, seguido de la delegación Iztapalapa con el 17.43% y Texcoco 10.63%.

Según lo indicado en el Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en el Diario Oficial Federación el 20 de abril de 2015, la

disponibilidad media anual del Acuífero se determinó considerando una recarga media anual de 145.1 Mm³ anuales; una descarga natural comprometida de 10.4 Mm³, un volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio del 2014 de 246.48 Mm³ anuales y un volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos de 183.1 Mm³, resultando una disponibilidad media anual (DAS) de agua subterránea nula, con un déficit de 111.76 Mm³ anuales. Esto indica que no hay disponibilidad para otorgar nuevas concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el acuífero en comento.

c. 1508 Cuautitlán-Pachuca

Como se puede observar en la Figura IV–70, el SAR delimitado para el presente proyecto comprende una pequeña área de este acuífero en su parte norte, por lo que no se prevé injerencia de las obras y actividades del desarrollo del proyecto sobre éste. Según lo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de agosto del 2016, en el Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Cuautitlán-Pachuca, este acuífero abarca completamente 16 municipios del Estado de México y 4 del estado de Hidalgo y, parcialmente 20 municipios del Estado de México y 10 de Hidalgo.

Existe información contradictoria en cuanto a la superficie que éste comprende. Por un lado, la CONAGUA (2002b) menciona que este acuífero cubre una superficie de 2,850 km²; en el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación del 18 de agosto del 2016 se reporta una superficie de 3,870 km², y Galindo et al. (2010) refieren una superficie del acuífero igual a 4,349 km².

Cabe mencionar que este acuífero, al igual que los antes descritos, se encuentran vedados para el alumbramiento de aguas del subsuelo; lo que ha sido establecido en los decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación en las siguientes fechas:

- a) 19 de agosto de 1954: Establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en el Valle de México, abarcando casi la totalidad de este acuífero.
- b) 22 de diciembre de 1949: Establece veda por tiempo indefinido para la construcción de alumbramientos de aguas subterráneas en la región inmediata a la población de Zumpango.
- c) 23 de septiembre de 1965: Establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas del Valle de Tulancingo y del Valle de Toluca.
- d) 5 de abril de 2013: Se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas de 21 acuíferos, entre los que se incluye el Acuífero en cuestión.

El nivel estático de este acuífero tiene menor rango que los anteriores mencionados, yendo de entre 30 y 130 m (CONAGUA, 2002b). El menor valor se encuentra cerca del municipio de Nicolás Romero, Estado de México, mientras que las mayores profundidades se reportan en el municipio de Tepeapulco, Hidalgo. En promedio se maneja un nivel estático superior a los 70 m, con tendencia a afectarse negativamente.

De acuerdo con lo mencionado en el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación del 18 de agosto del 2016, existen evidencias de que la calidad de agua se ha visto afectada a través del tiempo, con base a cambios en las concentraciones de cloro y la presencia de nitratos; sin embargo, no se especifica más información sobre los muestreos realizados. De la única variable que se mencionan valores es de la concentración de sólidos disueltos totales; en su mayoría se reportan valores menores a los 1,000 mg L⁻¹, límite permisible en la modificación de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de noviembre de 2000. Solo en la planicie del Valle de Cuautitlán se encontraron valores del orden de los 1,300 mg L⁻¹. Además, en el área donde existe mayor producción

ganadera se menciona una alta concentración de cromo hexavalente, misma que se limita a una superficie de 1 km².

Debido al proceso de explotación al que está sometido este acuífero, el cual también aporta agua para satisfacer la demanda de la zona metropolitana de la Ciudad de México, su nivel estático se ha visto afectado. Según reporta CONAGUA (2002b), entre el 2000 y el 2005 en la zona central se identificó un abatimiento mayor a 10 m en el acuífero, lo que representa más de 2 m por año.

El agua aprovechada de este acuífero se estima representa un volumen total de 751.3 Mm³ a⁻¹, siendo principalmente para uso público urbano, representando 91%, seguida un 6% para uso agrícola y un 2% para uso industrial, el resto es para otros usos (CONAGUA, 2002b). Cabe descartar que, un 35% del volumen aprovechado se usa para abastecer a la zona metropolitana del Valle de México.

Según lo indicado en el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación del 18 de agosto del 2016, la disponibilidad media anual del Acuífero se determinó considerando una recarga media anual de 356.7 Mm³ anuales, muy similar al valor de 381.2 Mm³ a⁻¹ reportado por Galindo et al. (2010); una nula descarga natural comprometida, un volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio del 2014 de 415.07 Mm³ anuales y un volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos de 183.1 Mm³, resultando una disponibilidad media anual (DAS) de agua subterránea nula, con un déficit de 111.76 Mm³ anuales. Esto indica que no hay disponibilidad para otorgar nuevas concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el acuífero en comento, siendo menos crítico que el de los acuíferos Zona Metropolitana y Texcoco.

IV.2.1.8.2 Hidrología superficial

Como ya fue mencionado en el apartado anterior, el SAR delimitado para el desarrollo del proyecto se encuentra inmerso en la región hidrológica-administrativa “IIIX Aguas del Valle de México”, la cual se divide para efectos de planeación en las subregiones hidrológicas Tula y Valle de México. Además, el SAR se encuentra en la parte inicial de la región hidrológica “26 Panuco”.

Para fines de estudio, la CONAGUA divide la subregión hidrológica del Valle de México, también denominada cuenca del Valle de México en este caso, en siete subcuencas (SEMARNAT-CONAGUA, 2012b); de las cuales el SAR se ubica en tres de ellas: Texcoco, Ciudad de México y Río La Compañía.

La subcuenca Texcoco comprende una superficie de 1,401 km² y tiene 10 ríos principales: San Juan Teotihuacán, Papalotla, Xalapango, Coxcacoco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec. Su balance hídrico anual es bajo, 0.37 hm³, derivado de un escurrimiento medio de 46 hm³, un volumen de extracción de 13 hm³, 21 hm³ de volumen de retornos y 55 y 54 hm³ de escurrimiento y comprometido, respectivamente, aguas abajo. Además de los ríos antes mencionados, en esta subcuenca se tienen 6 cuerpos de agua sobresalientes, compuesta por 5 lagos y una laguna. Los lagos son, según la denominación de la SEMARNAT-CONAGUA (2012b): Regulación Horaria, Recreativo, Texcoco norte, Churubusco y Dr. Nabor Carrillo, estos dos últimos dentro del SAR, y la laguna Xalapango (Figura IV–71).

Por otro lado, la subcuenca Ciudad de México abarca 1,818 km² y comprenden los ríos Magdalena, Becerra, Tacubaya, Barranca del Muerto, Mixcoac, San Javier, Hondo y de Los Remedios; además del Gran Canal de desagüe y el emisor central. La disponibilidad media anual de esta subcuenca es de 15 hm³ (SEMARNAT-CONAGUA, 2012b). Una característica común de estos ríos es que todos están entubados. Adicionalmente se tienen los lagos de Xochimilco, Bosque de Chapultepec y Bosque de

San Juan de Aragón, con 335, 16 y 12 ha, respectivamente, y una capacidad de almacenamiento de agua de 9.0, 0.18 y 1.0 hm³.

Finalmente, en la subcuenca Río de La Compañía se tienen solo los ríos San Francisco, San Rafael, Amecameca y de La Compañía, sin algún otro tipo de cuerpo de agua relevante. Su disponibilidad de agua media anual de 1 hm³, con un volumen medio anual de escurrimiento de 75 hm³.

Además, en esta subregión hidrológica se tienen los canales de Cuemanco, Nacional, Bordo, Apatlaco, Chalco y De Garat; de éstos, solo los canales de Cuemanco y Apatlaco no se encuentran entubados. Y, las presas importantes que se encuentran dentro de esta zona son: Madín, Los Cuartos, el Sordo, San Joaquín, Tecamachalco, Tacubaya y Becerra. De éstas, la presa Madín se usa para abastecer de agua a la población de Atizapán de Zaragoza, las otras tienen como primera función servir como presas reguladoras.

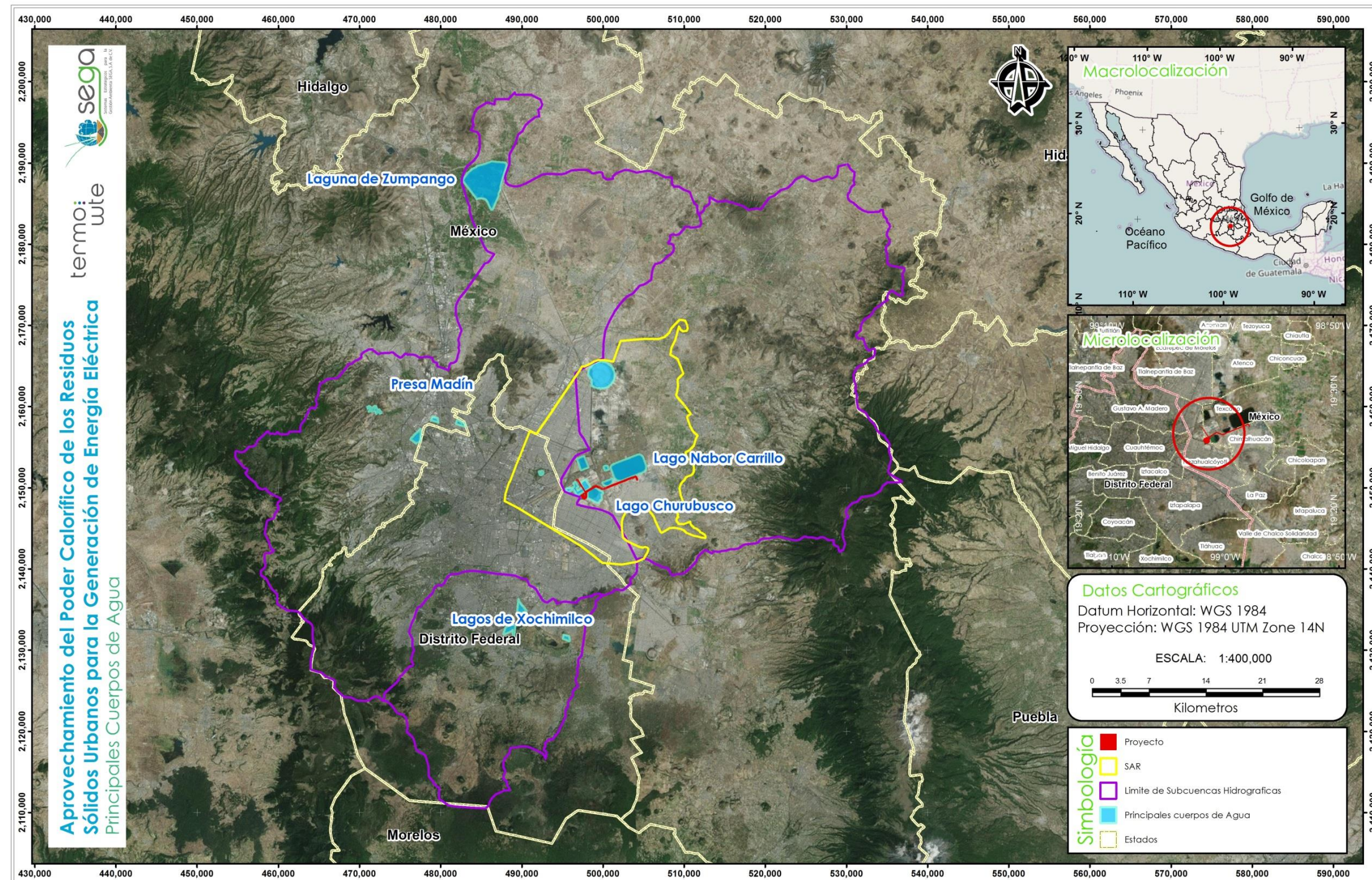


Figura IV—71. Principales cuerpos de agua superficiales en el sistema ambiental regional y áreas aledañas al predio del proyecto.

IV.2.1.8.3 Determinación de la calidad del agua superficial

Como parte de los estudios de línea base ambiental de la presente manifestación de impacto ambiental, en el mes de marzo de 2017 se realizó un muestreo de agua consistente de 5 muestras tomadas en tres diferentes sitios aledaños al predio del proyecto: una en la laguna Churubusco, dos en el río Churubusco y dos en la tarquina (Figura IV–72). Éste se efectuó con la finalidad de conocer la calidad físico-química y bacteriológica en el predio y Al del proyecto.

Las muestras de agua en la laguna y río Churubusco se tomaron en la superficie de los cuerpos de agua, y en la tarquina se tomaron a 0.7 y 0.85 m de profundidad. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Las variables y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla IV–22 y los resultados emitidos por el laboratorio se encuentran en el Anexo VI.

Los resultados obtenidos se interpretaron tomando como base la normatividad oficial mexicana aplicable al caso: NOM-127-SSA1-1994, NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997; la guía de la OMS (2006), entre otras referencias específicas citadas.

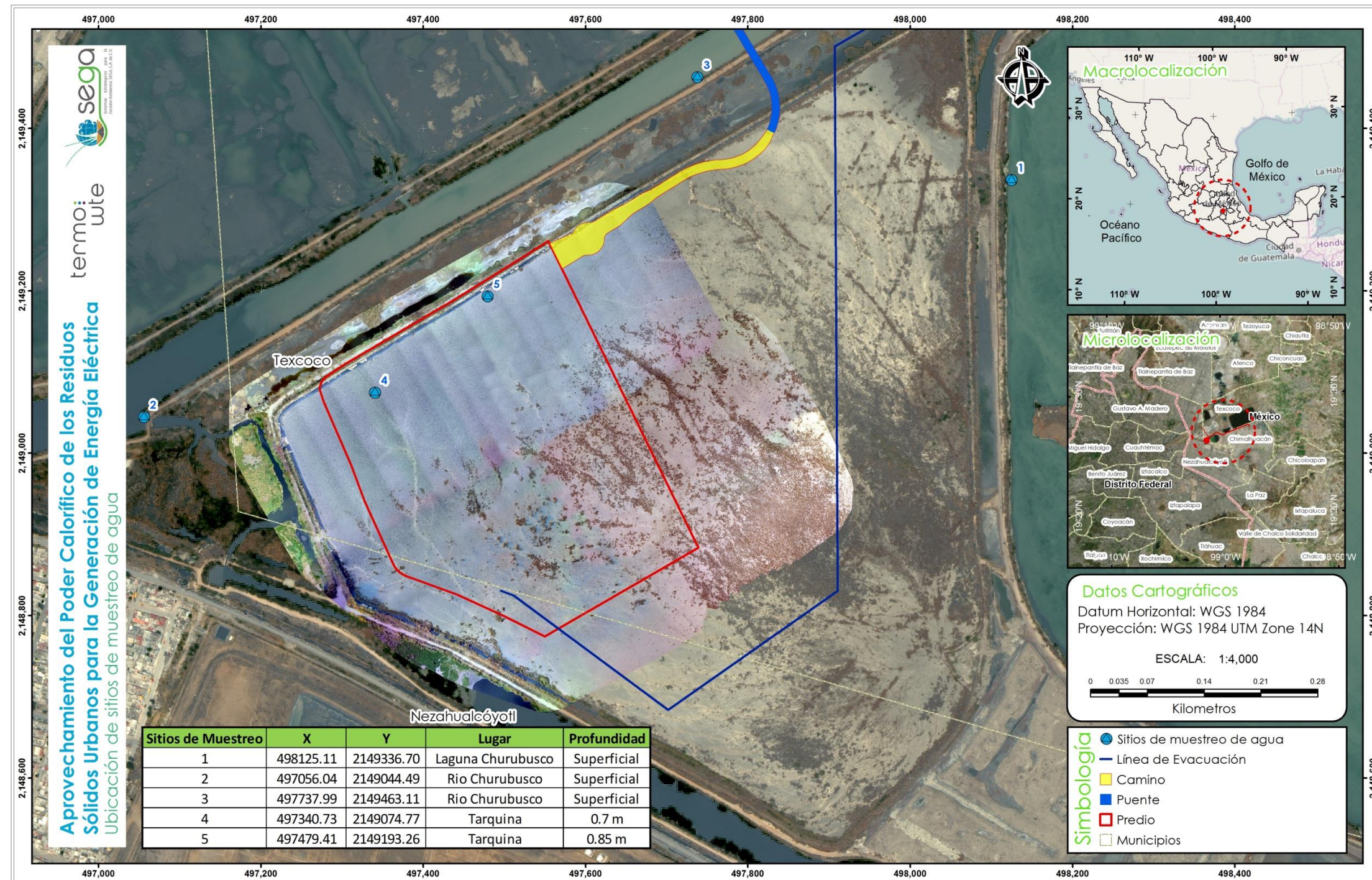


Figura IV—72. Ubicación de los puntos de muestreo de agua para su análisis en el laboratorio.

Tabla IV-22. Composición físico-química y bacteriológica de las muestras de agua de la laguna y río Churubusco y de la tarquina.

Variable	Unidad	Laguna	Río 1	Río 2	Tarquina 1	Tarquina 2	OMS	NOM-127	NOM-001	NOM-003
pH	---	8.03	7.3	7.34	8.87	8.42		6.5 - 8.5		
CE	dS m ⁻¹	2.91	2.33	2.47	19.39	16.14				
Ca	meq L ⁻¹	3.14	2.07	2.35	1.84	0.77				
Mg	meq L ⁻¹	1.03	0.78	0.88	0.68	0.16				
Na	meq L ⁻¹	10.29	8.52	9.14	65.77	63.42	8.70	8.70		
K	meq L ⁻¹	1.92	1.33	1.1	21.94	19.79				
CO3	meq L ⁻¹	0.67	ND	ND	26.62	9.68				
HCO3	meq L ⁻¹	16.92	16.17	14.45	67.82	46.68				
Cl	meq L ⁻¹	10.31	8.94	8.19	92.5	55.45	5	7.05		
SO4	meq L ⁻¹	2.53	0.69	1.91	12.25	5.25				
SE	meq L ⁻¹	12.21	9.85	10.24	87.71	83.21	0.01			
B	mg L ⁻¹	2.07	1.65	1.55	11.97	5.33	0.5			
Dureza	mg L ⁻¹	208.7	142.74	161.88	12409.6	10329.6	500	500		
STD	mg L ⁻¹	1862.4	1491.2	1580.8	126.04	46.76	1000	1000		
Pb	mg L ⁻¹	0.079	ND	ND	0.098	ND	0.01	0.01		
Cr	mg L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.05		
Cd	mg L ⁻¹	ND	ND	0.011	0.04	0.032	0.003	0.005		
Ni	mg L ⁻¹	0.013	0.006	0.027	0.078	0.061	0.07			
Co	mg L ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND				
Mo	mg L ⁻¹	ND	ND	ND	0.504	0.33	0.07			
CSR	meq L ⁻¹	13.43	13.32	11.22	91.92	55.59				
C. fecales	nmp 100 ml ⁻¹	30000	4300000	900	0	0		Ausentes	1000-2000	240 y 1000

De los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de agua tomadas en los cuerpos de agua antes referidos, se puede decir, de manera general, que se trata de agua no apta para su potabilización ya que rebasa los límites máximos permisibles y recomendados por la NOM-127-SSA1-1994 y de la OMS (2006), principalmente las concentraciones de Na, Cl, Se, Na y coliformes fecales (Tabla IV–22).

Por otro lado, la NOM-001-SEMARNAT-1996 define el contenido de coliformes fecales como indicador del nivel de contaminación del agua por patógenos. Al respecto, los límites máximos permisibles para el uso del agua para riego agrícola son de 1,000 y 2,000 nmp 100 ml⁻¹ para el promedio mensual y diario, respectivamente. Considerando los resultados obtenidos en las muestras de agua analizadas se tiene que, el agua de la laguna y río Churubusco no son aptas para ser usadas para el riego agrícola, ni como agua para potabilizar según valores de la OMS (2006), por su alto contenido de coliformes fecales (Tabla IV–22). El agua de la tarquina resultó sin coliformes fecales por lo que se asume con base en estos resultados que no tiene problemas de contaminación por patógenos.

Si por la densidad de coliformes fecales se puede considerar el agua de la tarquina apta para ser usada como agua para riego, su conductividad eléctrica (CE) y salinidad potencial (Cl + SO₄) la limitan fuertemente. Valores de CE mayores a 5.5 dS m⁻¹ y salinidad potencial a 15 meq L⁻¹ no se recomienda para su uso en riego (Pérez, 2011). Y, por otro lado, las muestras de agua de la laguna y río Churubusco resultaron con valores de CE y salinidad potencial con una calidad de agua recomendada para usarse en cultivos tolerantes a sales o en suelos con alta permeabilidad (CE entre 2.3 y 5.5 dS m⁻¹; salinidad potencial entre 3 y 15 meq L⁻¹) (Tabla IV–22). En este caso, solo una muestra del Río tuvo valor de CE característico del máximo permisible de agua potable (entre 1 y 2.5 dS m⁻¹).

Para el caso de carbonato de sodio residual (CSR), ninguna muestra resultó con una concentración de al menos condicionada para su uso como agua de riego (entre 1.25 y

2.50 meq L⁻¹) (Pérez, 2011), ya que todas resultaron con un valor mayor a 4 meq L⁻¹ (no recomendable para su uso).

IV.2.2 Medio biótico

IV.2.2.1 Fauna silvestre

IV.2.2.1.1 Trabajo de campo

Para conocer la condición de este componente ambiental, se realizó el trabajo de campo respectivo, el cual se llevó a cabo en el área del proyecto y en el SAR delimitado. El trabajo directo de campo tuvo una duración de 13 días efectivos, los cuales estuvieron distribuidos entre diciembre de 2016 y abril de 2017. El criterio principal para la selección y ubicación de los sitios de muestreo se fundamentó en el conocimiento práctico de los expertos en los diferentes grupos taxonómicos, bajo la primicia de asegurar una completa representatividad de los usos de suelo presentes en el SAR y de tener una duración estandarizada de los esfuerzos de muestreo en cada una de ellas.

Con el apoyo de binoculares, lámparas y guías de campo especializadas sobre los distintos grupos de vertebrados, se realizaron recorridos diurnos y nocturnos, a pie, para la obtención de registros directos (visuales y capturas) e indirectos (cantos, rastros de huellas, excretas, huesos, madrigueras, entre otros) de las especies de animales presentes (Figura IV-73). De manera simultánea se preparó un catálogo fotográfico para la posterior verificación, o en su caso, identificación de los registros visuales obtenidos en el campo (Anexo VII). Por otra parte, mediante el uso de GPS Etrex Garmin, se georeferenció (en UTM) la ubicación de las especies listadas en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.



Identificación de especies por excretas



Trampeo para mamíferos pequeños (Trampas Sherman)



Búsqueda de huellas, pelos, huesos u otros rastros que pudieran evidenciar la presencia de fauna silvestre

Figura IV—73. Técnicas de campo aplicadas para la identificación de fauna silvestre presente en el área y SAR del proyecto.

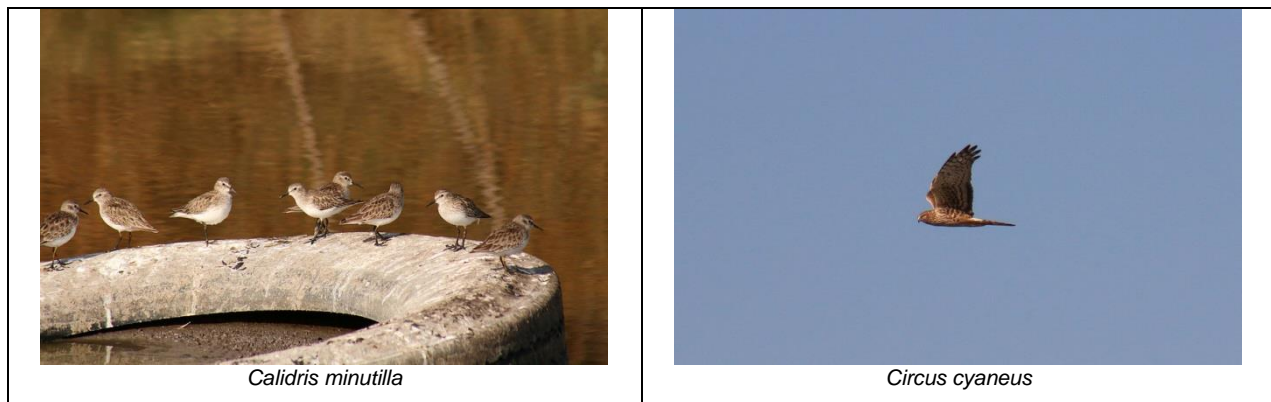
Para determinar las categorías de riesgo de las especies que se registraron durante el estudio, se consultó la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN (Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza), en su versión en línea.

IV.2.2.1.2 Resultados del muestreo de fauna silvestre

Riqueza

Con la implementación de los trabajos de campo se registró a un total de 17 órdenes, 41 familias, y 108 especies de fauna silvestre en el SAR, lo cual representa aproximadamente el 3.73% del total de vertebrados que alberga México (Challenger, 1998; Ramamoorthy et al., 1998).

Los reptiles estuvieron representados por 3 especies agrupadas en dos familias; los mamíferos por una especie y familia —sin tomar en consideración las jaurías de perros que frecuentemente hacen uso del AI y de distintas zonas del SAR—; y las aves fueron el grupo que mostró una mayor riqueza con 104 especies de 38 familias y 15 órdenes. Durante el trabajo de campo no se registró ninguna especie perteneciente a la Clase Amphibia. En la Figura IV–74 se presentan algunos de los ejemplares de las especies de avifauna observados durante el periodo de observación.



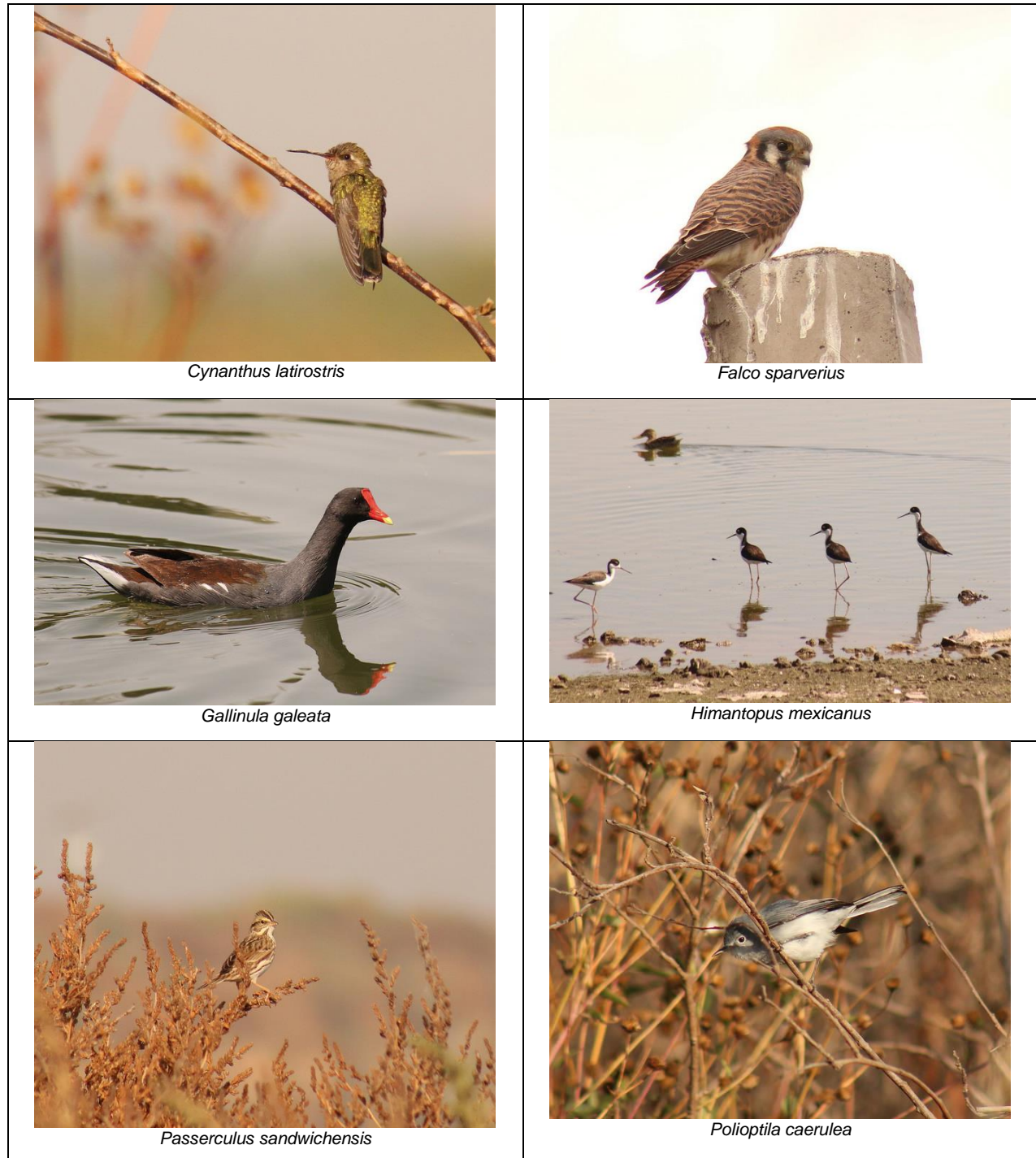


Figura IV—74. Ejemplares de avifauna observados durante el trabajo de campo para la caracterización de la fauna silvestre en el SAR del proyecto de la planta termovalorizadora.

Con el registro de las 108 especies de vertebrados para el SAR del proyecto, se estimó la proporción de especies para cada clase de vertebrados, encontrando que la mayormente representadas son las aves con el 62% de las especies registradas, seguido de los mamíferos y los reptiles con el 17.6% y 16.6%, respectivamente, y con el valor más bajo de especies (3.7%) el de los anfibios (Figura IV–75).

Los muestreos al interior del área del proyecto revelaron una riqueza de únicamente 51 especies de vertebrados silvestres, las cuales pertenecen a 8 órdenes y 24 familias. De la riqueza registrada, 50 especies corresponden al grupo de las aves y una más al de los mamíferos. Es decir, al interior del predio no se registraron especies de anfibios o reptiles.

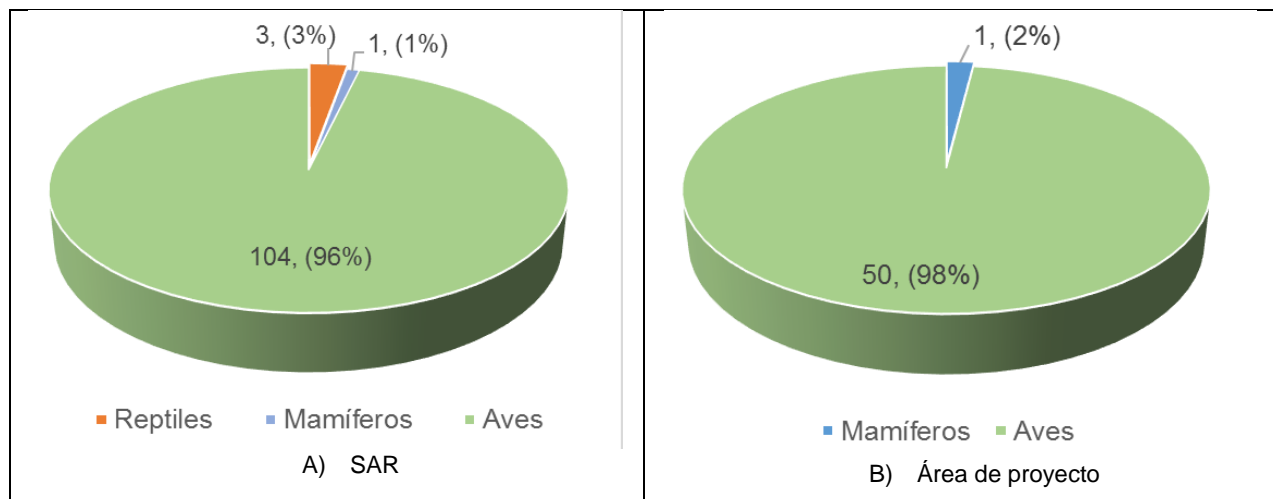


Figura IV—75. Proporción de especies de fauna silvestre identificadas por cada Clase de vertebrados en el SAR (A) y en el área del proyecto (B).

Posteriormente, para determinar la riqueza de especies esperadas en el área de estudio, se emplearon estimadores de riqueza, con base en el número de especies detectadas y en unidades de esfuerzo estandarizadas (días). Estos análisis se llevaron

a cabo mediante el programa *Species Accumulation vers. β* (Díaz-Frances y Soberón, 2005).

Al correr el modelo se encontró que, con un esfuerzo adicional de 10 días de muestreo, se esperaría contar con un total de 109 a 113 especies de vertebrados, dependiendo de los dos estimadores empleados (logarítmico, Clench). Ello implica que, el muestreo de campo realizado durante este estudio se detectó entre el 95.5 y el 99% de la totalidad de las especies que se distribuían en el SAR durante las temporadas muestreadas.

En la Figura IV–76 se puede observar que los puntos rojos representan el número de especies registradas por cada día de muestreo, y las líneas en color muestran las especies que se esperaría registrar con los diferentes estimadores en 10 días adicionales de muestreo.

Vale la pena resaltar que, el incremento repentino en la riqueza (10 especies) entre los días de muestreo 11 y 13 se debe a la llegada de especies migratorias de verano que utilizan el SAR como sitio de reproducción, así como a la presencia de especies migratorias de larga distancia, en su travesía de regreso hacia sus territorios de reproducción en Norteamérica.

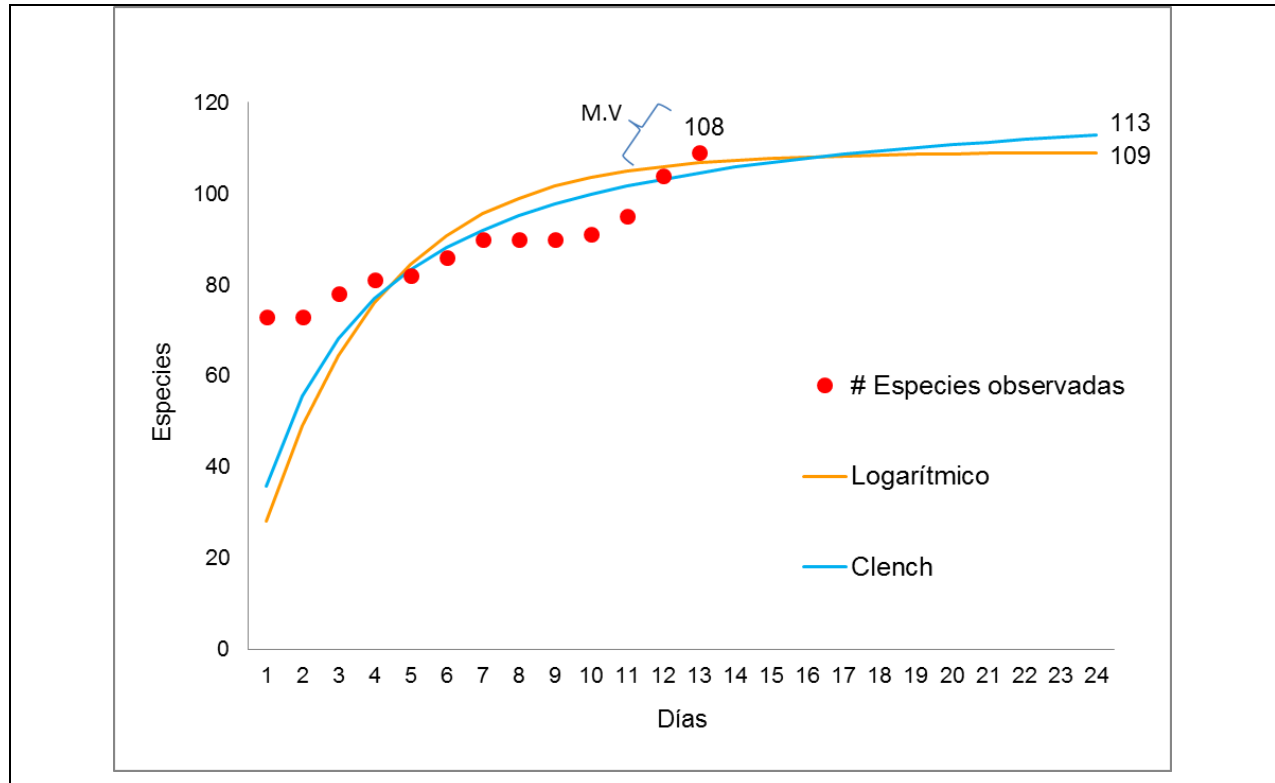


Figura IV—76. Curva de acumulación de especies de fauna silvestre para los cuatro grupos de vertebrados registrados en el trabajo de campo realizado en el SAR y área del proyecto.

En el Anexo VII se presenta el listado taxonómico de todas las especies registradas durante el trabajo de campo; se indica, además, su estatus de conservación de acuerdo a la Norma oficial vigente, su condición de endemismo y estacionalidad, así como sus valores de abundancia.

Abundancia

Además de que las aves fueron el grupo con mayor número de especies (104 de las 108 totales), también fueron el grupo que mostró una mayor abundancia en el SAR del proyecto. Se registraron 16,152 individuos, que representan el 99.8% de todos los

registros de fauna obtenidos. El pato cucharón norteco (*Anas clypeata*) contribuyó con 8,098 individuos, que equivale al 49.9% del total de fauna registrada. En cuanto a abundancia le siguen la golondrina tijereta (*Hirundo rustica*) con el 7.6%, el pato tepalcate (*Oxyura jamaicensis*) y la gallareta americana (*Fulica americana*) que contribuyeron con 792 y 689 individuos (4.8 y 4.2%), respectivamente.

El segundo grupo en cuanto a la abundancia fueron los mamíferos. De manera específica, la liebre (*Lepus sp.*), fue la única especie de mamífero registrada en los muestreos de campo, sin tomar en cuenta los perros ferales, con un total de 47 individuos, que equivalen al 0.29% del total de individuos contabilizados en el estudio.

En cuanto a la herpetofauna, el grupo de los reptiles contribuyó con 16 individuos, que corresponden al 0.09% del total registrado. Dentro de los reptiles, la lagartija escamosa de mezquite (*Sceloporus grammicus*) fue la especie más abundante con 14 individuos; en tanto que, para las dos especies de culebras registradas dentro del SAR, solamente se presentó un individuo para cada una. Es importante mencionar que no se registró la presencia de ninguna especie de anfibio durante los muestreos de campo efectuados.

En la Figura IV-77 se puede observar el número de individuos registrado en el SAR para cada una de las especies en los 13 días de muestreo que comprendió este estudio. Los números que aparecen en color rojo corresponden a la abundancia de aquellas especies que se encuentran enlistadas en alguna categoría de protección conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Este tipo de estimaciones cobra especial relevancia en el diseño de estrategias de conservación y rescate de fauna silvestre, ya que permiten hacer una planeación del esfuerzo necesario para la implementación de estas actividades, en función de la abundancia de los distintos grupos, o incluso a nivel específico.

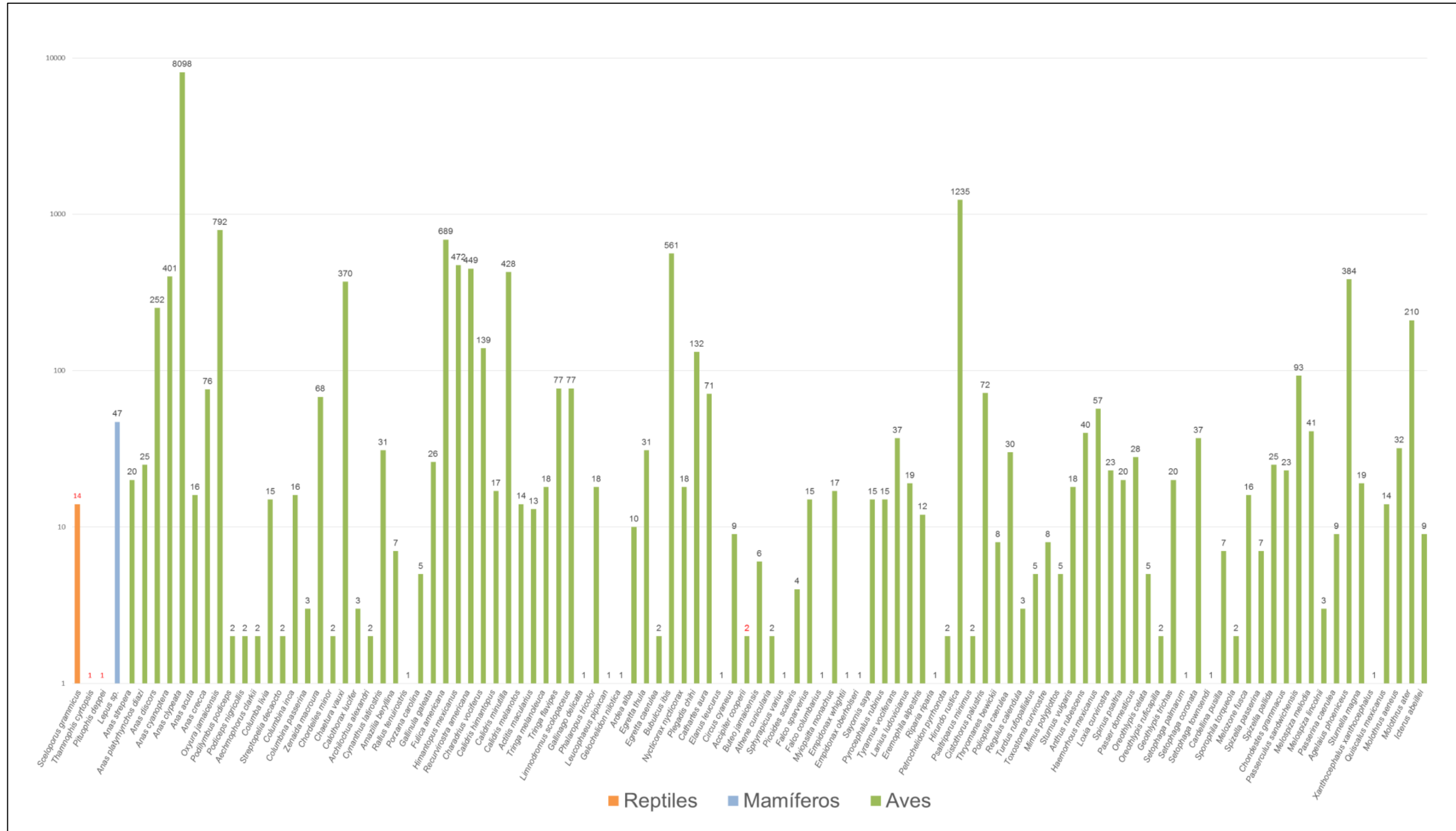


Figura IV—77. Abundancia de fauna registrada, por especie, en el SAR durante el muestreo. La gráfica se construyó en Log₁₀.

Estatus de protección

De las 108 especies registradas en el inventario realizado al interior del SAR más las 168 especies de aves migratorias obtenidas con base a la revisión bibliográfica, únicamente 15 se encuentran enlistadas en alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Estas se agrupan de la siguiente manera: cinco especies en la categoría de riesgo Amenazadas (A), y 10 bajo Protección Especial (Pr). De las 108 especies, 104 especies (96.3%) registradas en el SAR, no están dentro de ninguna categoría de protección conforme a la legislación nacional. En la siguiente figura se representa la proporción estimada de especies incluidas en cada categoría de protección, con respecto al total de especies caracterizadas en el estudio.

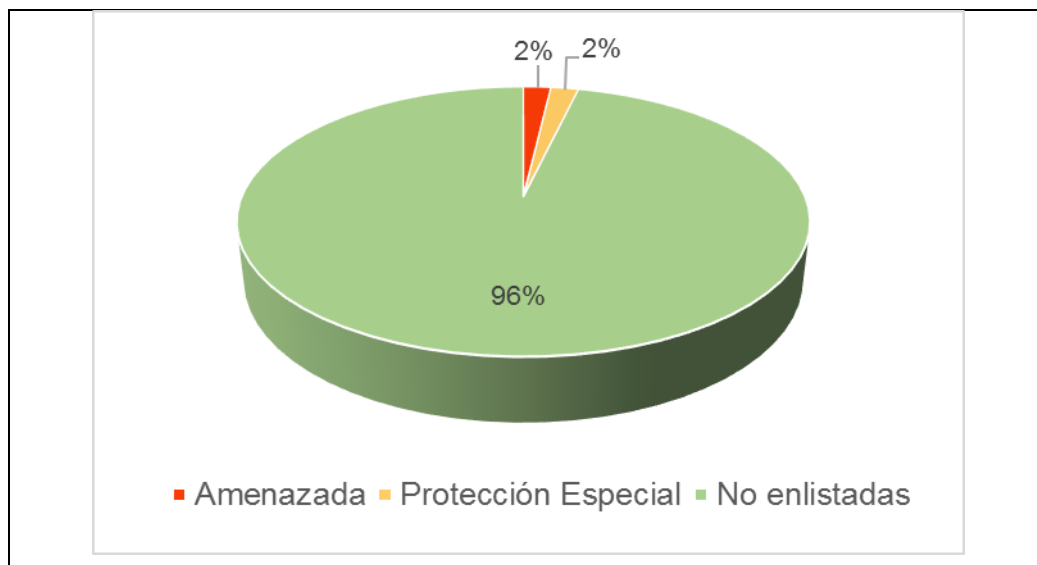


Figura IV—78. Proporción de especies de fauna silvestre registradas en el SAR del proyecto por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

De las 10 especies consideradas en la categoría de riesgo Protección Especial, una corresponde al grupo de los reptiles y las nueve restantes al de las aves; en tanto que

las cinco especies enlistadas en la categoría de riesgo Amenazada, dos son reptiles y el resto aves. Es importante mencionar que: i) ninguna de las 15 especies que se encuentran protegidas por la legislación nacional fue registrada dentro del AI del proyecto, y ii) en los inventarios de campo no se observaron especies enlistadas en la categoría de En Peligro de Extinción, tal como se observa en la Tabla IV–23.

Tabla IV-23. Especies de fauna silvestre registradas en el SAR que se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Nombre científico	Nombre común	NOM-059-SEMARNAT-2010 [§]
Reptiles		
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Pr
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	Culebra listonada cuello negro	A
<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	A
Aves		
<i>Phoenicopus ruber</i>	Flamenco Americano	A
<i>Botaurus lentiginosus</i>	Avetoro Norteño	A
<i>Ixobrychus exilis</i>	Avetoro Menor	Pr
<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán Pecho Canela	Pr
<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de Cooper	Pr
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla Rojinegra	Pr
<i>Buteo platypterus</i>	Aguililla Alas Anchas	Pr
<i>Buteo swainsoni</i>	Aguililla de Swainson	Pr
<i>Asio flammeus</i>	Búho Sabanero	Pr
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón Peregrino	Pr
<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe Lores Negros	A
<i>Passerina ciris</i>	Colorín Sietecolores	Pr

[§] Clasificación de riesgo: Pr = Protección Especial y, A = Amenazada.

Endemismo

Considerando a todas las especies de vertebrados registradas durante los muestreos de campo, se puede determinar que la endemidad observada dentro del SAR es moderada. Se registraron 4 especies endémicas a México, y 7 más consideradas semiendémicas —es decir, que son invernantes en México—, lo cual en conjunto

equivale a que el 10% del total de la riqueza registrada mantiene algún grado de endemismo. Como se puede observar en la Tabla IV–24, las aves son el grupo que contribuye con un mayor número de especies endémicas (10), seguido de los reptiles con una sola especie (*Pituophis deppei*), en tanto que la única especie de mamífero registrada en campo no resultó ser endémica para México (Tabla IV–24; Figura IV–79).

Tabla IV-24. Listado de las especies de fauna silvestre registradas en el SAR que mantienen algún estatus de endemismo.

Nombre científico	Nombre común	Endemismo
Reptiles		
<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	Endémica
Aves		
<i>Calothorax lucifer</i>	Colibrí lucifer	Semi-endémica
<i>Archilochus alexandri</i>	Colibrí barba negra	Semi-endémica
<i>Cyananthus latirostris</i>	Colibrí pico ancho	Semi-endémica
<i>Rallus tenuirostris</i>	Rascón azteca	Endémica
<i>Empidonax whightii</i>	Mosquero gris americano	Semi-endémica
<i>Empidonax oberholseri</i>	Mosquero oscuro americano	Semi-endémica
<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano gritón	Semi-endémica
<i>Turdus rufopalliatus</i>	Mirlo dorso rufo	Endémica
<i>Spizella pallida</i>	Gorrión pálido	Semi-endémica
<i>Icterus abeillei</i>	Bolsero dorso oscuro	Endémica

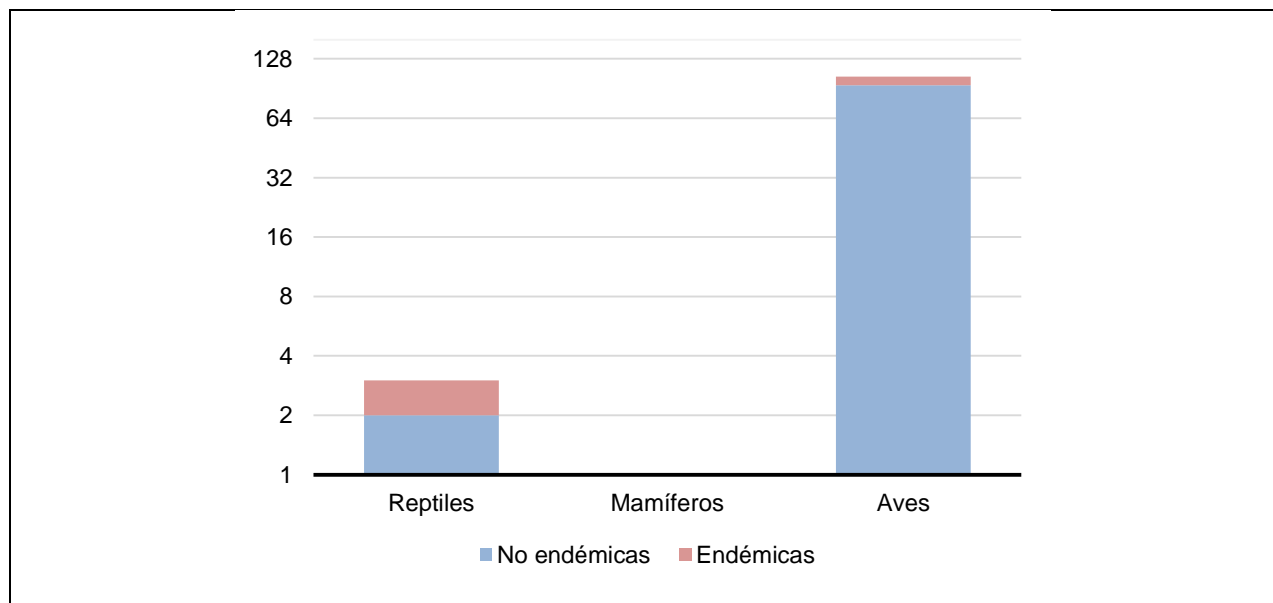


Figura IV—79. Proporción de especies endémicas para cada grupo taxonómico, con respecto del total de especies caracterizadas para el SAR. La gráfica se construyó en Log₂.

Estacionalidad

Se consideraron especies residentes a las que se mantienen todo el año y completan su ciclo biológico en el SAR. Por otra parte, se consideró como especies migratorias a aquellas especies de aves que sólo se distribuyen en el SAR del proyecto durante una determinada época del año. Dentro de éstas, se registraron que en su mayoría son migratorias de invierno, es decir, que regresan a sus áreas de reproducción en Norteamérica durante la primavera y el verano. Es importante mencionar que algunas poblaciones de aves residentes se ven aumentadas en número durante la temporada de hibernación, dado que también existen poblaciones migratorias de estas mismas especies que convergen en el invierno en el SAR.

Con relación al estatus de residencia de la riqueza total registrada, 32 de las especies fueron consideradas residentes permanentes (R), incluyendo a la liebre y a las tres especies de reptiles registradas, así como a 28 especies de aves (Figura IV–80). Adicionalmente, otras 31 especies de aves presentaron poblaciones tanto residentes como migratorias de invierno (R, MI). Las restantes 45 especies de aves ocurren solamente durante una temporada del año en el SAR, siendo 39 las que se encuentran sólo en el invierno (MI) —ya que cada año regresan a sus áreas de reproducción durante la temporada de verano— y las otras 6 ocurren en el SAR exclusivamente en el verano (MV), para llevar a cabo su actividad reproductiva.

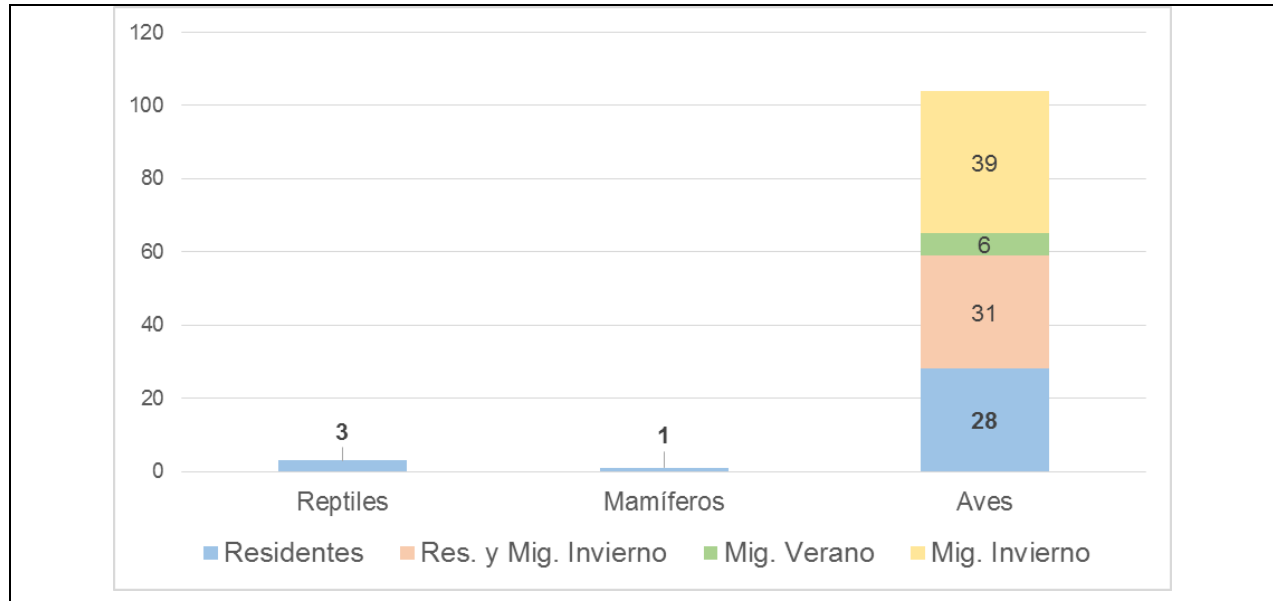


Figura IV—80. Número de especies de fauna silvestre, residentes y migratorias, por Clase de vertebrados.

La temporada en que se llevó a cabo el muestreo de campo permitió el registro de un buen número de aves migratorias, las cuales cada año se desplazan a esta zona del país durante el invierno, para posteriormente en la primavera y verano emprender su regreso hacia sus tierras de reproducción en Norteamérica.

Como se muestra en la Figura IV–80, el número de especies migratorias, o con poblaciones migratorias y residentes, fue superior al de las especies residentes permanentes, lo cual evidencia la importancia que tiene el SAR para las especies de aves migratorias de invierno particularmente.

En el Anexo VII se incluye el listado de todas las especies registradas a nivel del SAR, las cuales se encuentran ordenadas filogenéticamente. En dicho Anexo se incluyen además de las categorías taxonómicas superiores, los nombres científicos y comunes de cada especie; su estatus de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010, la condición de endemismo y estacionalidad, además de su abundancia.

IV.2.2.1.3 Diagnóstico de la importancia del SAR respecto al grupo faunístico Aves.

El SAR es sumamente importante como sitio de llegada y paso para poblaciones de 168 especies de aves migratorias dentro de la Ruta Central de Migración de Norteamérica, principalmente para aves acuáticas, como patos (19 especies) y playeros (28 especies) entre los más numerosos, no obstante también para aves canoras (Passeriformes). Además, es probable que también arriben al área poblaciones de las Rutas Migratorias Oeste (Pacífica) y en menor proporción del Este de Norteamérica (Rutas del Misisipi y Atlántica), formando un embudo para la ruta migratoria total de todo Norteamérica (Berlanga et al., 2010) (Figura IV-81).

Waterfowl Migration Flyways



Fuente: Ducks Unlimited, en: <http://www.ducks.org/>

Figura IV—81. Principales rutas migratorias para las aves acuáticas de Norteamérica.

Dentro del SAR se localiza el Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) Lago de Texcoco, un área sumamente importante para la avifauna Global, manteniendo alrededor de 100,000 aves acuáticas durante el invierno, constituyendo el área más importante de invernación de aves acuáticas del Valle de México (Arizmendi y Márquez, 2000). La Zona Federal del Ex-Lago de Texcoco representa un área de aproximadamente 1,700 ha de lagos permanentes y 2,000 ha de cuerpos de agua someros estacionales (CONABIO, 2002).

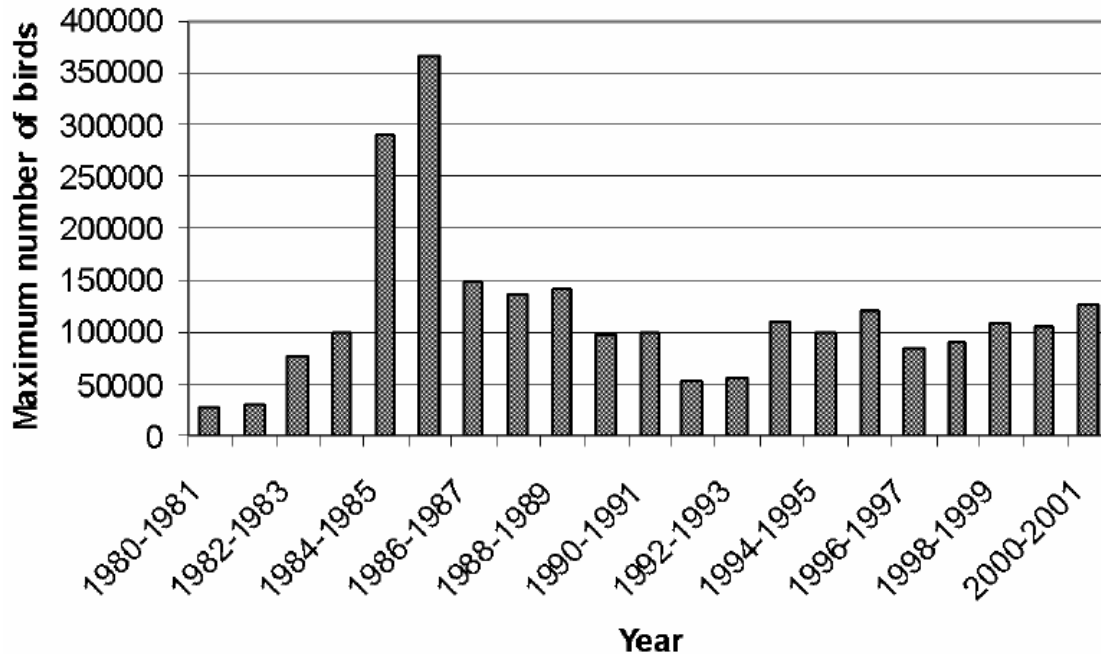
Además, constituye un ecosistema relicto para aves residentes acuáticas y terrestres con poblaciones restringidas al centro de México, donde estudios recientes apoyados en genética indican su endemismo (Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004). Las aves brindan servicios ecosistémicos invaluable, como son el control de plagas, dispersión de semillas, polinización, todos estos beneficiando nuestra economía (Berlanga et al., 2010). Las aves se distribuyen en todos los tipos de hábitat, por lo tanto son indicadores de la salud de los ecosistemas, presentando cambios poblaciones debido a la alteración en la estructura y composición del hábitat y al cambio climático (Berlanga et al., 2010).

A) Estacionalidad, endemismo y censo de las especies de la avifauna.

En este trabajo presentamos una lista de especies que se distribuyen en el SAR del proyecto Aprovechamiento del Poder Calorífico de los Residuos Sólidos Urbanos para la generación de Energía Eléctrica. La base final de especies presentes en el SAR se compilo a través de trabajo de campo, búsqueda exhaustiva de literatura especializada (Navarro-Sigüenza et al., 2006), reportes técnicos, trabajos de tesis, el Atlas de las Aves de México (Navarro-Sigüenza et al., 2003), los metadatos de distribución

potencial de las Aves de México publicados por la CONABIO (Navarro-Sigüenza y Peterson 1997, <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y la base de datos de observación de aves del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell, eBird (<http://ebird.org/content/ebird/>). La taxonomía sigue a la American Ornithologist's Union (AOU, 1998, Chesser et al., 2016), siguiendo los últimos arreglos taxonómicos propuestos. Se obtuvo una lista de 244 especies de aves que ocurren en el SAR, que incluyen 150 especies migratorias, 77 especies residentes y 17 especies con poblaciones residentes y migratorias. México posee 1,123 especies de aves (Navarro-Sigüenza et al., 2013), por lo tanto, la avifauna presente en el SAR constituye el 21.7% de las especies del país. Por otro lado, para el Estado de México se reportan 440 especies (De Sucre Medrano et al 2009), por lo que, en el SAR se tiene un 55.4% de la avifauna reportada para el estado (Anexo VII).

Censos poblacionales de las especies han sido parte fundamental del monitoreo de avifauna en el área (Alcántara y Escalante-Pliego 2005), no obstante constituyen datos no publicados y se encuentran bajo resguardo de la CONAGUA y SEMARNAT (Dumack 2005) (Figura IV-82).



Fuente: Alcántara y Patricia-Escalante (2005).

Figura IV—82. Censo de las aves acuáticas presentes en la ZFLT para el periodo 1980 - 2001.

Es importante señalar que para las especies migratorias se presentan movimientos de acuerdo a la estación del año, manteniendo distintas composiciones avifaunísticas en el SAR.

Se presentan dos eventos de migración: migración de invierno (MI) y verano (MV). La migración de invierno se presenta por lo general entre los meses de septiembre y abril, y la de verano entre marzo y septiembre (Berlanga et al., 2015) (Figura IV-83). Existen especies que solo ocupan el área del SAR de forma transitoria, en su paso desde EUA y Canadá hacia Centroamérica y/o Sudamérica y viceversa.

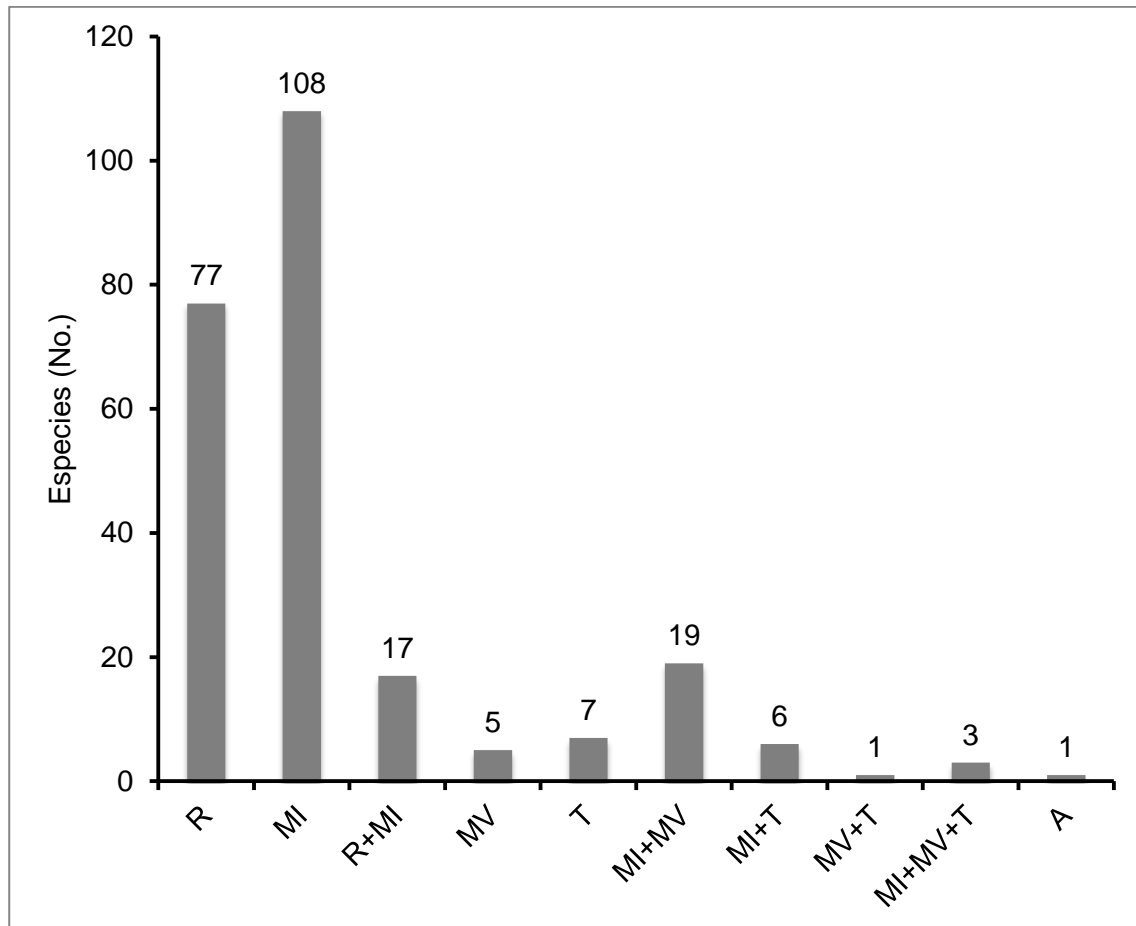


Figura IV—83. Patrón de riqueza de especies de la avifauna presente en el SAR de acuerdo a su presencia estacional. R = residentes, MI = migratorias de invierno, MV = migratorias de verano, T = transitorias, A = accidentales.

Para las categorías de endemismo se utilizó la clasificación de González-García y Gómez de Silva (2002), donde se clasifican en: Endémicas (EN), Semiendémicas (SE) y Cuasiendémicas (CE). Las especies endémicas son aquellas cuya distribución geográfica se encuentra restringida a los límites políticos del territorio de México, las especies semiendémicas incluyen a las especies cuya población completa se distribuye únicamente en México durante cierta época del año y, por último, las especies cuasiendémicas son aquellas que tienen áreas de distribución que se extienden

ligeramente fuera de México hacia algún país vecino ($\leq 35\ 000\ \text{km}^2$), debido a la continuidad de los hábitats. En el SAR se presentan 21 especies bajo alguna categoría de endemismo: cuatro especies endémicas, 16 especies semiendémicas y una especie cuasiendémica (Tabla IV-25).

Tabla IV-25. Listado de especies bajo alguna categoría de endemismo presentes en el SAR.

Nombre Común	Nombre científico	END
Colibrí Garganta Azul	<i>Lampornis clemenciae</i>	SE
Colibrí Lucifer	<i>Calothorax lucifer</i>	SE
Colibrí Barba Negra	<i>Archilochus alexandri</i>	SE
Zumbador Cola Ancha	<i>Selasphorus platycercus</i>	SE
Colibrí Pico Ancho	<i>Cyananthus latirostris</i>	SE
Colibrí Corona Violeta	<i>Amazilia violiceps</i>	SE
Rascón Azteca	<i>Rallus tenuirostris</i>	EN
Papamoscas Bajacolita	<i>Empidonax wrightii</i>	SE
Papamoscas Matorralero	<i>Empidonax oberholseri</i>	SE
Tirano Chibíú	<i>Tyrannus vociferans</i>	SE
Vireo de Cassin	<i>Vireo cassinii</i>	SE
Mirlo Dorso Canela	<i>Turdus rufopalliatus</i>	EN
Mulato Azul	<i>Melanotis caerulescens</i>	EN
Capulinerio Gris	<i>Ptiliogonys cinereus</i>	CE
Chipe de Virginia	<i>Oreothlypis virginiae</i>	SE
Chipe Negrogris	<i>Setophaga nigrescens</i>	SE
Gorrión Pálido	<i>Spizella pallida</i>	SE
Picogordo Tigrillo	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	SE
Calandria Dorso Negro Menor	<i>Icterus cucullatus</i>	SE
Calandria Cejas Naranjas	<i>Icterus bullockii</i>	SE
Calandria Flancos Negros	<i>Icterus abeillei</i>	EN

Es importante señalar que seis especies residentes en el SAR debido a varias características de su biología (distribución, coloración del plumaje, vocalizaciones, genética) deberían considerarse endémicas al centro de México (Navarro-Sigüenza y

Peterson, 2004; Barker et al., 2008; Patten y Pruett, 2009; Colón-Quesada 2012; Robbins y Nyari, *en prep.*). Estas especies están íntimamente relacionadas a los cuerpos de agua y al menos tres presentan distribuciones restringidas al centro de México: *Cistothorus platensis*, *C. palustris* y *Melospiza melodía* (Howell y Webb, 1995). Ninguna está bajo alguna categoría de riesgo. La Tabla IV-26 muestra el estatus taxonómico actual y bajo una taxonomía alternativa para estas siete especies. De ser elevadas a especies, para el SAR se tendrían un total de 27 especies bajo alguna categoría de endemismo, es decir 11% serían especies endémicas.

Tabla IV-26. Seis especies de aves que deberían ser elevadas a especies. Se muestra la taxonomía aceptada y la propuesta.

Taxonomía actual		Taxonomía propuesta	
Nombre Común	Nombre científico	Nombre Común	Nombre científico
Anas platyrhynchos	Pato de Collar	Pato Mexicano	Anas diazi
Saltapared Sabanero	Cistothorus platensis	Saltapared Sabanero Transvolcánico	Cistothorus (tinnulus?)
Saltapared Pantanero	Cistothorus palustris	Saltapared Toluqueño	Cistothorus tolucensis
Gorrión Sabanero	Passerculus sandwichensis	Gorrión Sabanero Mexicano	Passerculus (brunnescens?)
Gorrión Cantor	Melospiza melodia	Gorrión Cantor Mexicano	Melospiza mexicana
Tordo Sargento	Agelaius phoeniceus	Tordo Bicolor Mexicano	Agelaius gubernator

Especies catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Doce especies que se distribuyen el SAR se encuentran bajo alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010: nueve sujetas a protección especial (Pr) y tres como amenazadas (A) (Tabla IV-27).

Tabla IV-27. Especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y que se distribuyen en el SAR.

Nombre Común	Nombre científico	NOM-059
Flamenco Americano	Phoenicopterus ruber	A
Avetoro Norteño	Botaurus lentiginosus	A
Avetoro Menor	Ixobrychus exilis	Pr

Gavilán Pecho Canela	<i>Accipiter striatus</i>	Pr
Gavilán de Cooper	<i>Accipiter cooperii</i>	Pr
Aguililla Rojinegra	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Pr
Aguililla Alas Anchas	<i>Buteo platypterus</i>	Pr
Aguililla de Swainson	<i>Buteo swainsoni</i>	Pr
Búho Sabanero	<i>Asio flammeus</i>	Pr
Halcón Peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	Pr
Chipe Lores Negros	<i>Geothlypis tolmiei</i>	A
Colorín Sietecolores	<i>Passerina ciris</i>	Pr

Atendiendo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2017), cuatro especies presentan estatus de Casi amenazadas (NT) y una especie como Vulnerable (VU). (Tabla IV-28).

Nombre Común	Nombre científico	IUCN
Rascón Azteca	<i>Rallus tenuirostris</i>	NT
Playero Semipalmeado	<i>Calidris pusilla</i>	NT
Papamoscas Boreal	<i>Contopus cooperi</i>	NT
Bisbita Llanera	<i>Anthus spragueii</i>	VU
Colorín Sietecolores	<i>Passerina ciris</i>	NT

Tabla IV-28. Especies Especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la IUCN (2017).

Es importante señalar que el Flamenco americano (*Phoenicopterus ruber*) es una

especie exótica en el área, probablemente constituya un escape que se estableció en el Lago Nabor Carrillo aproximadamente en el 2004. Cuatro especies bajo alguna categoría de riesgo y con distribución en el SAR representan especies migratorias accidentales (*Buteo platypterus*, *B.swainsoni*, *Anthus spragueii*, *Passerina ciris*). Tres especies, entre estas dos garzas, el avetoro norteño (*Botaurus lentiginosus*) y el avetoro menor (*Ixobrychus exilis*), así como el búho sabanero (*Asio flammeus*) probablemente tengan poblaciones extintas. Merece mención especial el rascón azteca (*Rallus tenuirostris*, Figura IV-84), especie endémica a México y clasificada bajo la IUCN como Casi amenazada (NT), que debido a sus hábitos secretivos en la densa vegetación acuática es difícil de observar. Se cree que su población total está en declinación a lo largo de su distribución (humedales del centro de México), debido a la degradación y pérdida de hábitat. En la ZFLT se cuentan con pocos registros. Durante trabajo de campo en el área destinada para la construcción de la Planta termovalorizadora, en la parte oeste contigua al área del proyecto se localiza un tulares y carrizales de aproximadamente 3.7 ha, donde se pudo avistar un individuo de rascón azteca, así como la vocalización de otro individuo al interior del área.



Fuente: Hoyo et al. (2017).

Figura IV—84. Rascón azteca (*Rallus tenuirostris*).

Áreas de importancia como sitios de alimentación, percha y reproducción dentro del SAR para las aves.

Toda el área del SAR es ocupada por la avifauna para alimentación, no así para sitios de descanso y/o reproducción. Las comunidades avifaunísticas siguen reglas de ensamblaje que siguen a aspectos ecológicos funcionales de la estructura de las comunidades, obedeciendo gremios alimenticios, selección de hábitat, movimiento de los individuos y selección natural, todo esto en una dinámica macroevolutiva (Gómez de Silva, 2001).

Por lo tanto, en todo el SAR es posible localizar aves de diferentes gremios alimenticios: insectívoros, granívoros, frugívoros, nectarívoros, carroñeros y carnívoros. Los diferentes recursos alimenticios en el SAR siguen una distribución multifactorial: ambiental, temporal de acuerdo a la época del año, tipo de suelo, lluvia, cobertura vegetal, presencia de cuerpos de agua, así como a factores de perturbación como pueden ser las actividades antropogénicas.

En el pasado todo el SAR estuvo ocupado por un gran cuerpo de agua (Lago de Texcoco). Actualmente el paisaje se compone en su mayoría de zona urbana, agrupación de halófitas, agricultura de temporal, y en menor medida tulares y carrizales, nopaleras, bosque cultivado, áreas sin vegetación aparente, así como cuerpos de agua permanentes (artificiales) y temporales (debido a lluvias, descarga de aguas residuales). En el apartado IV.2.2.2 de la presente MIA-R se incluye una descripción detalla de los usos de suelo y tipos de vegetación a nivel del SAR y del área del proyecto.

Para las 244 especies identificadas que se distribuyen en el SAR los sitios de alimentación, descanso y reproducción son particulares, aunque pueden mostrar

particularidades debido a la propia biología de cada especie y asociaciones entre estas debido a restricciones ecológicas del hábitat. Valles-Rosales (1986) en un estudio sobre la ecología de las aves en la ZFLT, encontró que hasta 76% del total de las especies de aves playeras se localizan en la zona de litoral adyacente a los cuerpos de agua, utilizando esta zona, tanto para alimentación y descanso.

Del trabajo de campo del presente estudio se pudo constatar que en el Lago Churubusco patos, playeros, así como varias especies de aves canoras están íntimamente relacionadas a sus aguas abiertas y la zona de litoral adyacente a este, usándolas como sitios de alimentación, descanso y anidación, un patrón que se repite muy probablemente en los diferentes cuerpos de agua. Factores como el tipo de sustrato (por ejemplo proporción de áreas lodosas), profundidad (aguas someras vs profundas), tipos de vegetación y asociaciones entre estas, permiten la presencia y estratificación de las diferentes especies en un mismo sitio.

En cuanto a la reproducción, las especies migratorias acuáticas, en su mayoría no presentan eventos de reproducción, no obstante, es probable que las gaviotas (*Laridae*) mantengan un ciclo reproductivo en el área, como se ha constatado para el charrán de Forster, *Sterna forsteri* (Gómez del Ángel et al., 2015). Otro caso constituye el chorlo nevado, *Charadrius nivosus*, especie tanto residente y migratoria, que se especializa en anidar principalmente en zonas aledañas a lagos alcalinos continentales y por lo general sin vegetación, cuya población probablemente esté extinta en la ZFLT debido a la construcción del NAICM, a pesar de su reciente confirmación de anidamiento en el área (de Sucre Medrano et al., 2011).

Del trabajo de DUMAC de México (2005), se identifican ocho cuerpos de agua utilizados por las aves playeras, no obstante, del trabajo de campo se constata que el Lago Churubusco, así como al menos tres áreas con terrenos de inundación temporal y un cuerpo de agua cubierto de tulares y terrenos de inundación asociados, constituyen áreas importantes para todos los grupos de aves acuáticas migratorias y residentes.

De las especies endémicas, seis especies son colibríes. Estas especies se mantienen en el área obteniendo el néctar de cualquier recurso floral disponible según la temporada. El tabaquillo (*Nicotiana glauca*, Solanaceae) maleza introducida en el área, mantiene la preferencia por casi todas las especies de colibríes para su alimentación, sobre todo en la ZFLT. Catorce especies endémicas más se constituyen por el grupo de aves canoras (Orden Passeriformes), cuyos números poblacionales no son tan altos debido a que necesitan de cobertura vegetal para su alimentación a base de insectos, frutos y semillas. De hecho, varias de estas especies se benefician del recurso ofrecido por los árboles introducidos en el área, sobre todo *Eucalyptus* spp y otras especies arbóreas. La vegetación asociada a los márgenes de los diferentes ríos que desembocan sus aguas residuales en el área mantiene una gran proporción de especies de aves. A través del análisis de la vegetación y uso del suelo delimitado para el SAR del proyecto, se identificaron ocho tipos de cobertura vegetal y/o uso del suelo.

Uso de Suelo y Vegetación	Superficie (Ha)
Agricultura de temporal	6,255.49
Bosque cultivado	297.44
Cuerpo de agua	1,136.57
Nopaleras	5.22
Pastizal halófilo	11,763.99
Sin vegetación aparente	1,032.04
Vegetación halófila hidrófila	44.17
Zona urbana	21,281.22
Total	41,816.13

Tabla IV-29. Tipo de Vegetación y Uso del Suelo, y su superficie, presentes en el SAR.

A través del mapeo de la distribución de las especies de acuerdo a sus hábitos, se identificó el número de especies presentes por tipos de vegetación en el SAR (Figura

IV-X). La distribución de la avifauna de acuerdo a los tipos de vegetación que se presentan en el SAR señala cuales son los que presentan mayor riqueza de especies.

Resulta interesante que los remanentes de Vegetación halófila hidrófila ocupan tan solo 44.17 ha y poseen 98 especies. Es contrastante la proporción de especies entre los Cuerpos de agua (89 especies) y el Bosque cultivado (88 especies), ocupando el primer hábitat 1,136.57 ha y el segundo 297.44 ha y solo presentando una diferencia de una especie. El terrero sin vegetación aparente, es importante como se había mencionado, para poblaciones de Chorlo Nevado.

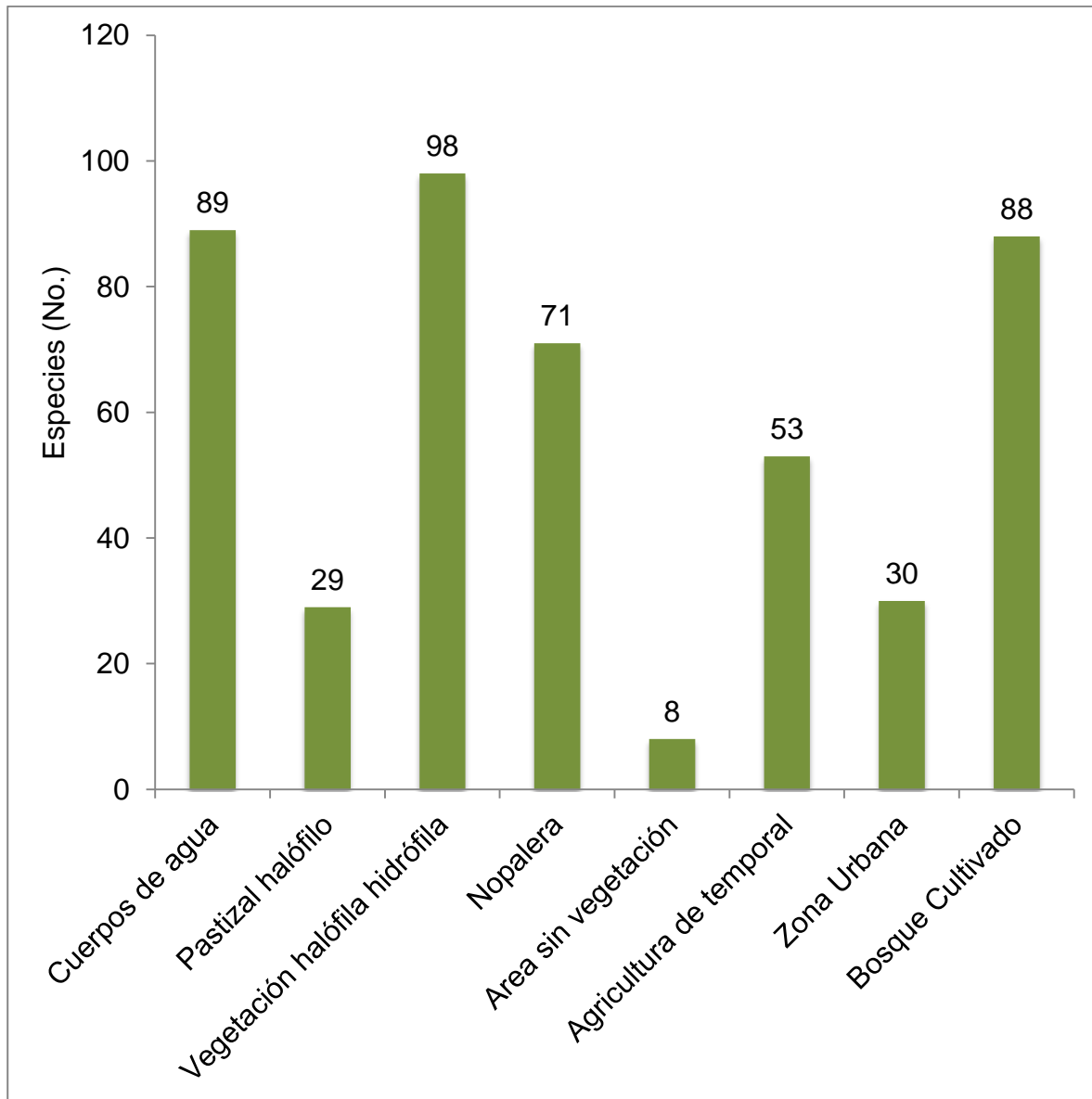


Figura IV—85. Riqueza de especies por Tipo de Vegetación y Uso del Suelo presentes en el SAR.

Amenazas que enfrentan actualmente.

El área que involucra al SAR enfrenta varias amenazas para la avifauna, todas estrechamente relacionadas.

- Contaminación del agua. Los diferentes cuerpos de agua tanto permanentes y temporales reciben aguas residuales. Muchos de los lagos artificiales son llenados de aguas tratadas (aguas de tratamientos primarios y secundarios). Algunos cuerpos de agua aún tienen aguas residuales sin ser tratadas y se desconoce el impacto que tenga sobre la salud de las aves que habitan y se alimentan en estos sitios.
- Deseccación de al menos un cuerpo de agua situado en el borde perimetral norte del NAICM.
- Expansión Urbana. El crecimiento de la mancha urbana es una constante y el establecimiento de asentamientos irregulares esta en expansión. La falta de planeación urbana terminara por desaparecer los sitios de invernación de la avifauna.
- Rellenos sanitarios. Un gran relleno sanitario existe en la parte SO de la ZFLT, que recibe miles de toneladas de basura procedentes de la Ciudad de México y el Área Metropolitana. (actualmente en etapa de clausura)
- Cacería. A pesar de que la cacería no está permitida en el Valle de México, la cacería furtiva todavía es una práctica común en toda la ZFLT. La captura de aves también parece ser una práctica regular. Se desconoce la magnitud y efecto de estas actividades sobre la conservación de las aves.
- Depredación de la avifauna (y fauna en general) por perros ferales. El número de perros ferales está proliferando en el área. No existe control o un estudio del impacto de estos sobre la avifauna. Pero es evidente que los perros afectan a las poblaciones de aves, tanto acuáticas y terrestres.
- Otras actividades como la agricultura, ganadería, forman un impacto muy bajo, no obstante, cambios en el uso de estas tierras a provocado erosión del suelo.
- Construcción de un sistema de carreteras aledañas al NAICM.

- Construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM). Varios argumentos se sostienen para indicar que el efecto negativo sobre las poblaciones de aves sería mínimo, entre estas: 1) el área representa un ecosistema degradado, 2) el área no tiene el estatus de Área Natural Protegida, 3) el área no está reconocida como un sitio RAMSAR, 4) No existen especies endémicas que pudieran ser afectadas, además una especie es considerada rara (y no se encontró durante los censos de aves).
- Se alega que el Lago de Texcoco alberga únicamente el 11 por ciento del número total de aves que arriban al Valle de México.

Importancia del área específica del proyecto (Tarquina – camino y línea de evacuación) como hábitat para las aves.

La actividad debido a la construcción del proyecto evidentemente tiene efecto inmediato sobre las aves que habitan estos sitios. Las aves poseen territorios bien definidos, a pesar de su alta capacidad de movimiento, tienden a permanecer en un área específica, ya sea durante la temporada reproductiva, migración, o como residentes del sitio anualmente. Es claro que la construcción implicara cambios en el paisaje pero que no constituyen motivo para causar un deceso poblacional de la avifauna de estas áreas. Más bien, los individuos de forma natural tendrán que moverse a áreas contiguas. Es claro que si el ave se encontrara anidando, sus crías perecerán, pero en aves, si una nidada no se logra, comienzan un nuevo ciclo reproductivo, este sería el caso para las residentes. Para aves migratorias es altamente probable que se muevan a sitios cercanos para continuar forrajeando y/o descansando.

Efectos que podrían generarse sobre las poblaciones de aves por el desarrollo del proyecto: *Aprovechamiento del poder calorífico de los residuos sólidos urbanos para la generación de energía eléctrica.*

La contaminación ambiental, puede afectar de forma indirecta a las aves a través de cambios en el hábitat (Morrison 1986). Puede incrementar la cantidad de parásitos (Eeva et al., 1994), reducir la cantidad de alimento disponible (Graveland, 1990; Hornfield y Nyholm, 1996). Los xenobióticos, aquellos compuestos químicos formados por el hombre, afectan de forma severa los estadios tempranos del ciclo de vida en las aves (Scheuhammer, 1987), por lo tanto llevando a una probable tasa de mortalidad a temprana edad. La contaminación del aire, también tiene efectos sobre la cantidad de alimento disponible (presas), afectando la cantidad de carotenoides que las aves obtienen de sus alimentos, influyendo en la cantidad de carotenoides acumulados en el plumaje y por lo tanto en el color del plumaje llevando a probables presiones de baja selección sexual (Eeva et al 1998). La deficiencia en la cantidad de carotenoides afecta a la salud de las aves, por ejemplo, la deficiencia de vitamina A (retinoides), está asociada con anormalidades como incapacidad de procrear, mortalidad de los embriones, crecimiento retardado y deformaciones óseas (Peakall, 1992), dado que los animales son incapaces de sintetizar retinoides necesitan obtenerlos vía la ingesta de carotenoides. Las aves pueden constituir buenos biomonitores de la contaminación, debido a que cualquier contaminante en el sedimento donde estas forrajean terminara llegando a los huevos y las crías, además algunas especies forrajean a menos de 500 m de distancia de sus nidos, por lo tanto presentan contaminantes bastante localizados (Spears et al., 2008). Estudios piloto en China (Beijing) han encontrado pulmones negros y testículos muy grandes (hasta de un quinto del peso total del ave), conteniendo hasta cuatro veces más hidrocarburos aromáticos policíclicos que áreas con mejor calidad del aire, esto sugiere efectos adversos debido a contaminantes en el ambiente (Lovett, 2012).

Medidas ambientales a implementar.

Para proteger, restaurar y asegurar la existencia de las poblaciones de aves se requieren de tres acciones prioritarias, igual de importantes e interrelacionadas:

1. *Conservar el hábitat y la función del ecosistema.*
 - a) Identificar hábitats y áreas geográficas cruciales para la sobrevivencia de las poblaciones de aves, en este caso las migratorias.
 - b) La conservación de los hábitat debe ocurrir en todos los niveles, desde la protección de sitios específicos para las especies más amenazadas hasta el manejo de grandes extensiones de hábitat clave para especies migratorias.
 - c) Se necesitan medidas de crecimiento inteligentes que limiten el crecimiento urbano y suburbano desordenado y puedan incorporar infraestructura verde como hábitats amplios, funcionales e interconectados. Debido a que las aves con frecuencia se congregan en gran número durante la migración, es crucial identificar, administrar y conservar sitios de parada y embudos migratorios en hábitats vitales. Los gobiernos locales pueden trabajar con jurisdicciones vecinas para alcanzar objetivos comunes en áreas verdes y para monitorear cambios en los ecosistemas urbanos.

2. *Proteger y recuperar a las especies.*
 - a) Diseñar y poner en marcha programas de recuperación.
 - b) Es importante asegurar la protección suficiente de hábitat crítico para cubrir el ciclo vital de las especies (en especial las que se encuentran en peligro).
 - c) Es necesaria la conservación proactiva (preventiva), los programas de recuperación constituyen la última oportunidad para aves que se encuentran en peligro de extinción.

- d) Es importante establecer una red de área protegida, junto con la correcta aplicación de las leyes sobre especies en peligro, ayudaría a prevenir su pérdida inmediata. El compromiso de los propietarios de tierras, inversionistas, instituciones científicas, asociaciones civiles y el gobierno es esencial para alcanzar dicho fin.
3. *Aumentar conocimiento para la conservación.* Para ser eficaz la conservación de las aves debe basarse en la investigación científica y en el monitoreo estratégico, que proporcionen información oportuna y útil para tomadores de decisiones, manejadores y políticos, disponible en formatos especiales para tomar medidas informadas. Aun es poco lo que se sabe sobre el estatus y las tendencias de las poblaciones a pesar de décadas de investigación. Por lo tanto, es necesario:
- a) Estudio de requerimientos de hábitat para especies prioritarias. Se necesita de información básica de los requerimientos ecológicos y de hábitat (alimento, vegetación, área mínima requerida) que es crítica para las especies (en especial especies prioritarias) en todos los hábitats. Herramientas de percepción remota e información geográfica pueden proporcionar estos datos, así como el modelaje de interacciones y asociaciones complejas ayudarían a diseñar paisajes para la conservación a escalas apropiada.
- b) Conectividad a lo largo del ciclo de vida y factores limitantes. La investigación debe enfocarse en: 1) patrones de distribución de las especies migratorias durante todo el ciclo anual, 2) conexión temporal entre localidades específicas de reproducción y de no reproducción, 3) factores importantes que limitan la sobrevivencia y productividad durante el ciclo de vida. Estos tres factores ayudarán a predecir las consecuencias de la pérdida de hábitat

- y del cambio ambiental, así como para enfocar acciones de conservación en beneficio de las especies de aves residentes y migratorias.
- c) Estados de población, tendencias, distribución y abundancia. Mejorar programas de monitoreo, ampliar nuestro entendimiento de factores que impactan la productividad y la sobrevivencia ayudarán a identificar factores limitantes clave. Dejar de utilizar formatos tradicionales para estos monitoreos.
 - d) Respuesta de medidas de manejo, desarrollo y cambio ambiental Entender la respuesta de las aves ante las actividades humanas (aprovechamiento forestal, agricultura, ganadería), de infraestructura (energía, centros vacacionales, urbanismo, el aeropuerto) y efectos ambientales directos (fragmentación del hábitat, cambio climático, contaminantes) será un componente clave para el diseño y evaluación de programas de conservación. Estudiar y monitorear las respuestas ecológicas de las poblaciones a estas acciones y cambios relacionados con los humanos, documentar cómo funcionan como parte de estos ecosistemas alterados y identificar mecanismos clave que regulan los sistemas será crucial para entender los factores limitantes y causas de disminución de las poblaciones.
 - e) Fuentes de mortalidad causadas por los humanos. Entender efectos poblacionales de mortalidad causadas por contaminantes, colisiones con aviones, depredación por fauna feral. Desarrollar lineamientos basados en los riesgos que enfrentan las especies. La investigación también debe enfocarse sobre los efectos acumulativos de múltiples factores de mortalidad.
 - f) Dimensiones humanas de la conservación de las aves. Poco se sabe el cómo y porqué la gente se relaciona con las aves y su conservación. Comprender las actitudes, los conocimientos, destreza, motivación, y comportamientos del público real o potencial (por ejemplo de los observadores de aves, de propietarios de las tierras y de quienes diseñan y

operan las políticas públicas), permitirán orientar mejor las soluciones de conservación, de manera tal que sean aceptables para la sociedad. Se necesita entender mejor: 1) resultados de conservación asociados al turismo de aves; 2) valoración social de servicios ambientales; 3) costos y beneficios de las prácticas de manejo orientadas a la conservación; 4) resultados de los programas de educación para la conservación

IV.2.2.2 Flora silvestre

IV.2.2.2.1 Metodología implementada para la caracterización en el SAR

Para determinar los diferentes usos de suelo y/o vegetación que se desarrollan en el SAR definido para el proyecto, se consideraron los siguientes pasos:

1. Revisión de información en el SAR definido para el Proyecto: utilizando el SAR que se determinó para el proyecto, se realizó una primera clasificación de usos de suelo y/o vegetación con base en la clasificación del Conjunto de datos vectoriales de recursos forestales escala 1:50,000, del Estado de México (2015). Esta clasificación fue ajustada, en el caso de la vegetación, de acuerdo al sistema nomenclatural de la vegetación de México propuesto por Miranda y Hernández (2014).
2. Recorridos: Apoyados de GPS Garmin etrex, se realizaron recorridos por el SAR para confirmar y determinar la existencia o no de diferentes asociaciones vegetales y usos de suelo.
3. Clasificación final: Cruzando los usos de suelo y/o vegetación, con los recorridos de campo y apoyados en una imagen de satélite de alta resolución se realizó una clasificación final de las asociaciones vegetales y los usos de suelo existentes en el SAR.

IV.2.2.2.2 Resultados del trabajo de campo para la caracterización del SAR

A nivel SAR se identificaron 8 diferentes usos de suelo y/o vegetación, de los cuales la zona urbana representa el 50.89% de las 41,816.12 ha que constituyen el SAR, seguido de los usos de suelo denominados “Agrupación de halófitos y agricultura de temporal con el 28.13 y 14.96%, respectivamente (Tabla IV–30). De este análisis resalta que el 2.72% de la superficie total del SAR se encuentra cubierta por agua y el 2.47% se encuentra sin algún tipo de cobertura aparente (Tabla IV–30). La distribución y arreglo en el SAR se presenta en la Figura IV–86.

Tabla IV-30. Uso de suelo y tipos de vegetación identificados en el SAR definido para el proyecto.

No.	Uso de Suelo y/o vegetación	Clave	Superficie (ha)	Proporción (%)
1	Zona urbana	ZU	21,281.20	50.89
2	Agrupación de halófitos	AH	11,763.99	28.13
3	Agricultura de temporal	T	6,255.49	14.96
4	Cuerpo de agua	H ₂ O	1,136.57	2.72
5	Sin vegetación aparente	DV	1,032.04	2.47
6	Bosque cultivado	BC	297.44	0.71
7	Tulares y carrizales	TC	44.17	0.11
8	Nopaleras	NO	5.22	0.01
Totales			41,816.12	100

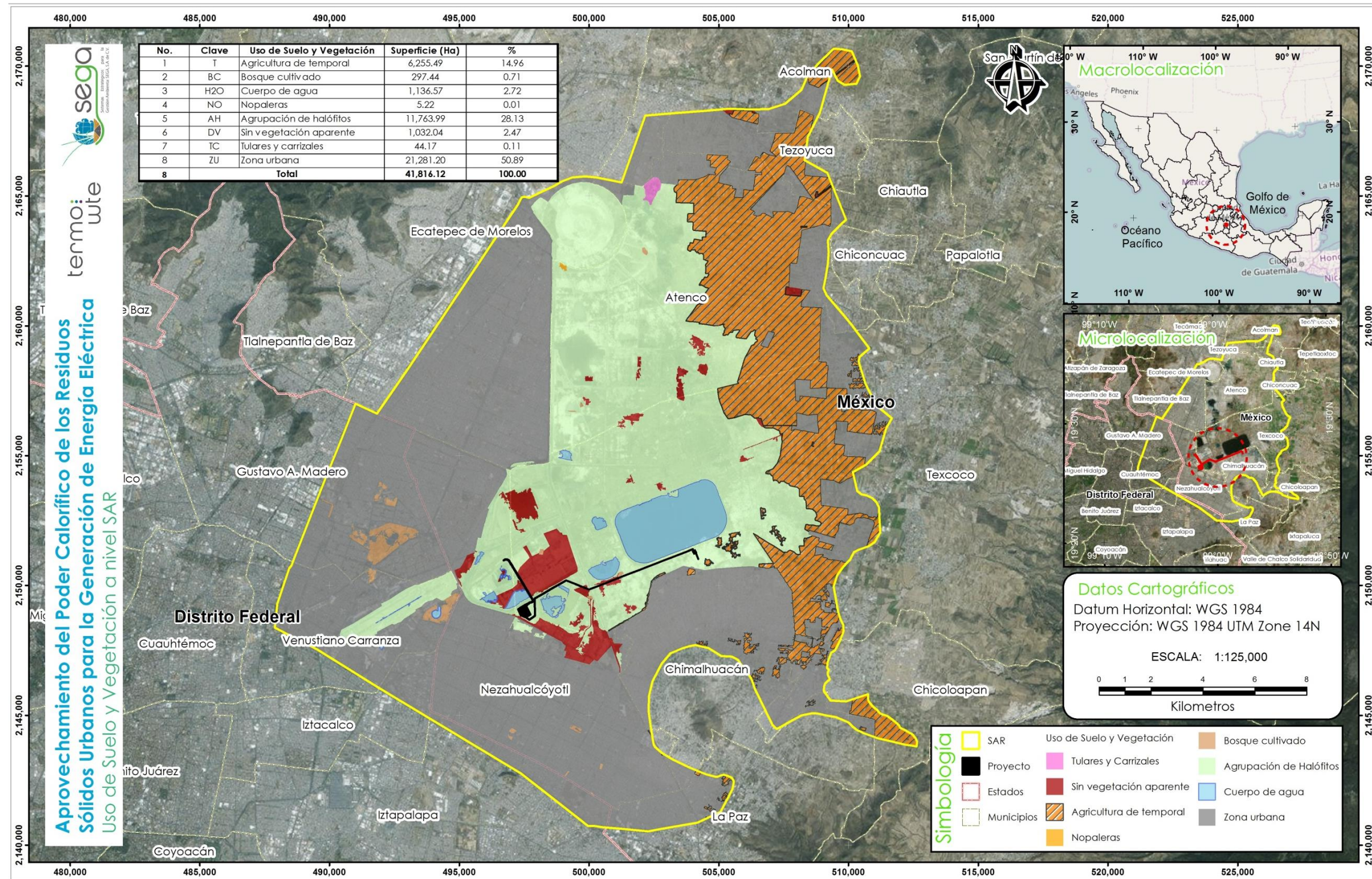


Figura IV—86. Clasificación y distribución de los usos de suelo y/o tipo de vegetación al interior del sistema ambiental definido para el proyecto en cuestión.

A continuación se presenta la descripción del uso de suelo y/o vegetación identificado al interior del SAR definido para el proyecto considerando la clasificación de usos de suelo y/o vegetación que utiliza INEGI (2005).

Zona urbana. Es aquella zona que se encuentra habitada por una cantidad mayor a los 2000 habitantes, esta se caracteriza por su amplio desarrollo en los sectores de industrias y sectores de servicios, en consideración a estos dos aspectos las zonas urbanas son autosuficientes y dan una mayor capacidad de sostenimiento a una sociedad. Este uso de suelo es el de mayor superficie a nivel SAR ocupando una superficie de 21,281.20 ha que representa el 50.89% de la superficie total del mismo.

Agrupación de halófitos. Comunidad de herbáceas, entre ellas dos gramíneas (*Distichlis spicata* y *Hordeum jubatum*), que se desarrolla sobre suelos salino-sódicos, por lo que su presencia es independiente del clima; es frecuente en el fondo de las cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas; aunque también son frecuentes en algunas áreas próximas a las costas afectadas por el mar o por lagunas costeras. Entre las formas biológicas de las comunidades halófitas predominan las gramíneas rizomatosas, amarantáceas, chenopodiáceas y algunas plantas herbáceas suculentas (INEGI, 2005). Las especies representativas de esta comunidad vegetal son: chamizo (*Atriplex linifolia*), romerito (*Suaeda torreyana*), ruedamundo (*Salsola tragus*), hediondilla (*Heliotropium curassavicum*) y verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*) (INEGI, 2005). Este uso de suelo se distribuye en una superficie de 11,763.99 ha que representa el 28.13% de la superficie total del SAR.

Agricultura de temporal. Se clasifica como tal al tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, sea independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, un año o más de diez como los frutales. O bien son por periodos dentro de un año como los cultivos de verano. Incluye los que reciben agua invernal como el garbanzo. Estas áreas pueden dejarse de sembrar algún tiempo, pero deberán estar dedicadas a esta

actividad por lo menos en el 80% de los años de un periodo dado. Algunas superficies son sembradas de manera homogénea por un cultivo o más de dos, o pueden estar combinados con pastizales o agricultura de riego, en un mosaico complejo difícil de separar, pero siempre con la dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia (INEGI, 2005). Este uso de suelo se distribuye en una superficie de 6,255.49 ha que representa el 14.96% de la superficie total del SAR definido para el proyecto.

Cuerpo de agua. Un cuerpo de agua es una masa o extensión de agua, tal como un lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra. Se distribuye en una superficie de 1,136.57 ha que representa el 2.72% de la superficie total del SAR.

Sin vegetación aparente. Áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales: clima muy árido, salinas, o bien porque la vegetación fue eliminada totalmente por actividades humanas; minas a cielo abierto, jales, sobrepastoreo, etcétera (INEGI, 2005). Al interior del SAR este uso de suelo se desarrolla en una superficie de 1,032.04 ha que representa el 2.47% de la superficie total del mismo.

Bosque cultivado. Es aquel que se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas realizadas por el hombre, sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas. Estas poblaciones se pueden considerar como bosques artificiales, ya que son consecuencia de una reforestación con árboles de distintos géneros, por lo general, con especies exóticas. Los fines de estas plantaciones conservar medio ambiente, así como evitar la erosión del suelo. Según la adaptabilidad, éstas son algunas de las especies que más se cultivan: eucalipto (*Eucalyptus* spp.), cedro (*Cupressus* spp.), casuarina (*Casuarina equisetifolia*), pirul (*Schinus mollis*) y pino salado (*Tamarix chinensis* y *Tamarix aphylla*), entre otros (INEGI, 2005). Se distribuye en pequeños manchones al interior del SAR

ocupando en su conjunto una superficie de 297.44 ha que representa el 0.71% de la superficie total del mismo.

Tulares y carrizales. La constituyen comunidades vegetales de herbáceas flotantes que se caracterizan por desarrollarse sobre suelos con alto contenido de sales, en partes bajas de cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas, cerca de lagunas costeras, área de marismas, etcétera. Las principales especies que la confirman son: tule (*Typha domingensis*) y dos ciperáceas (*Bolboschoenus maritimus* subsp. *paludosus* y *Schoenoplectus californicus*) Se distribuye en una superficie de 44.17 ha que representa el 0.11% de la superficie total del SAR.

Nopaleras. Tipo de vegetación dominada fisonómicamente por cactáceas de tallos aplanados o cilíndricos que se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país. Todas las especies que conforman esta comunidad pertenecen al género *Opuntia* spp. Esta comunidad se desarrolla preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica, aunque también desciende a suelos aluviales contiguos. La precipitación media anual varía entre 300 y 600 mm y la temperatura es de 16 a 22 °C en promedio anual. La altura de esta comunidad alcanza generalmente de 2 a 4 m, su densidad es variable, pudiendo alcanzar casi 100% de cobertura. Generalmente existe ganadería a base de caprinos y bovinos; es igualmente importante la recolección de frutos comestibles, y en el caso de los nopales, de los tallos (INEGI, 2005). Se desarrolla en las laderas de la sierra de Guadalupe, ocupando una superficie de 5.22 ha que representa el 0.01% de la superficie total del SAR.

IV.2.2.2.3 Metodología implementada para la caracterización en el AI

Para determinar los diferentes usos de suelo que se desarrollan en la superficie requerida para el desarrollo del proyecto, se consideraron los siguientes pasos:

1. Revisión de información: Una vez obtenido el uso de suelo y/o vegetación a nivel SAR que se determinó para el proyecto, se realizó una sobreposición de este uso de suelo con la superficie total del proyecto, para así obtener el uso de suelo y/o vegetación al interior del área del proyecto.
2. Recorridos: Una vez obtenidos los usos de suelo y/o vegetación al interior del área del proyecto, apoyados de equipo GPS Garmin etrex, se realizaron recorridos por el proyecto para confirmar y/o adecuar los usos de suelo identificados.
3. Levantamiento de sitios de muestreo: Finalmente se realizó la fase de campo (levantamiento de información ecológica), dirigidos sobre las superficies con cobertura vegetal.

Este trabajo se realizó considerando la superficie de cada uno de los componentes del proyecto: camino de acceso, el derecho de vía de la línea de evacuación, subestación y el predio para la planta, lo que en total arroja una superficie total de 43.98 ha.

A) Elección de los sitios de muestreo

En los estudios ecológicos, el diseño de muestreo es la parte que requiere mayor cuidado, ya que éste determina el éxito potencial de un experimento, y de éste depende el tipo de análisis e interpretación a realizarse. Para que un muestreo sea lo suficientemente representativo y confiable debe estar bien diseñado. Esto quiere decir que la muestra a tomarse debe considerar la mayor variabilidad existente en toda una población estadística. La representatividad está dada por el número de réplicas a tomarse en cuenta y por el conocimiento de los factores que pueden influir en una determinada variable (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Los muestreos con diseños solo se utilizan en investigaciones experimentales, y no en estudios descriptivos, donde el objetivo final es probar una hipótesis. Un experimento no se puede salvar si el muestreo no tiene un buen diseño; esto quiere decir que los

diseños de muestreo deben ser anteriores y no posteriores. Además, el tipo de muestreo y diseño determina el tipo de análisis estadístico (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Sin embargo, antes de pensar en el diseño y forma de muestreo, es importante hacer una diferenciación entre muestras y poblaciones. Una población es la unidad de la que se quiere obtener información. En cambio, una muestra es una parte elegida que representa un determinado porcentaje de la población y que es la que se utiliza para inferir sobre la población en general (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Existen algunos tipos de muestreo que son muy simples de utilizar, dentro de los que se pueden señalar los siguientes: muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado y muestreo sistemático (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

1. Muestreo aleatorio simple: Es el esquema de muestreo más sencillo de todos y de aplicación más general. Este tipo de muestreo se emplea en aquellos casos en que se dispone de poca información previa acerca de las características de la población a medirse.

2. Muestreo aleatorio estratificado: En este tipo de muestreo la población en estudio se separa en subgrupos o estratos que tienen cierta homogeneidad. Después de la separación, dentro de cada subgrupo se debe hacer un muestreo aleatorio simple. El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de la información que permite subdividir a la población.

3. Muestreo sistemático: Consiste en ubicar las muestras o unidades muestrales en un patrón regular en toda la zona de estudio. Este tipo de muestreo permite detectar variaciones espaciales en la comunidad. Sin embargo, no se puede tener una estimación exacta de la precisión de la media de la variable considerada. El muestreo sistemático puede realizarse a partir de un punto determinado al azar, del cual se establece una cierta medida para medir los subsiguientes puntos. Este tipo de

muestreo, a diferencia del muestreo aleatorio, se puede planificar en el mismo lugar donde se realizará el estudio y la aplicación del diseño es más rápida.

Atendiendo a los sistemas de muestreo arriba planteados, se decidió utilizar el diseño de muestreo denominado aleatorio estratificado; dirigido sobre aquellas superficies del proyecto cubiertas por vegetación, ya que es perfectamente aplicable por las siguientes razones:

1. Durante los recorridos que se hicieron por el área del proyecto, previo a la elección del diseño de muestreo, se pudo tener conocimiento de la información de los usos de suelo que se distribuyen en el mismo.
2. El utilizar una subclasificación de la población (asociaciones vegetales) permite obtener una mayor confiabilidad de los resultados.
3. Con la clasificación de usos de suelo y/o vegetación, el diseño también permite obtener información de aquellas superficies cubiertas por asociaciones vegetales, y permite descartar o no aplicar un esfuerzo de muestreo donde de antemano sabemos que no existe información que recopilar.
4. El hecho de ser aleatorio y considerar puntos de muestreo garantiza un menor error de muestreo, puesto que los sitios de muestreo están determinados previo al inicio de los trabajos de levantamiento de información en campo.

B) Ubicación de los sitios de muestreo

Para caracterizar las áreas de desarrollo del proyecto con respecto al componente de vegetación, se realizó un muestreo fue aleatorio dentro del predio del proyecto y dirigido en la línea de evacuación, el cual estuvo constituido por 39 sitios de muestreo. De estos 39 sitios, 11 se ubicaron dentro del predio del proyecto (13.2 ha), en el área donde se encontró presencia de algunas especies de flora silvestre. En el derecho de vía de la línea de evacuación se ubicaron 26 puntos de muestreo, coincidiendo con los

sitios donde se construirán las torres, que en promedio se ubican a 340 m entre punto y punto. Y, los dos restantes se ubicaron en el camino de entrada al predio para la construcción de la planta. En la Tabla IV–31 se presentan las coordenadas UTM, Datum WGS84 Zona 14Q, de los sitios de muestreo donde se colectó la información de campo, y en la Figura IV–87 su distribución espacial.

Tabla IV-31. Coordenadas UTM, Datum WGS 84 zona 14 Q, de los sitios de muestreo para la caracterización de la flora silvestre.

Sitio	Coordenadas UTM, WGS84, Zona 14Q	
	X	Y
1	497,511.26	2'148,824.85
2	497,701.66	2'148,683.92
3	497,910.81	2'148,830.43
4	497,909.01	2'149,131.01
5	497,907.05	2'149,501.17
6	498,236.87	2'149,691.00
7	498,537.85	2'149,864.25
8	498,800.31	2'150,015.32
9	499,118.19	2'150,198.29
10	499,442.67	2'150,067.55
11	499,702.95	2'149,962.57
12	499,995.00	2'149,845.00
13	500,338.27	2'149,978.32
14	500,661.41	2'150,103.83
15	500,982.79	2'150,228.65
16	501,301.48	2'150,352.42
17	501,622.67	2'150,477.17
18	501,944.69	2'150,602.24
19	502,264.56	2'150,726.48
20	502,570.63	2'150,845.35

Sitio	Coordenadas UTM, WGS84, Zona 14Q	
	X	Y
21	502,888.40	2'150,968.77
22	503,228.91	2'151,101.02
23	503,497.69	2'151,205.42
24	503,825.28	2'151,332.65
25	503,997.79	2'151,399.65
26	504,133.11	2'151,216.50
27	504,212.60	2'151,026.27
28	497,582.00	2'149,101.00
29	497,523.00	2'149,063.00
30	497,619.00	2'149,058.00
31	497,430.00	2'148,963.00
32	497,526.00	2'148,964.00
33	497,618.00	2'148,967.00
34	497,380.00	2'148,869.00
35	497,478.00	2'148,870.00
36	497,573.00	2'148,871.00
37	497,675.00	2'148,872.00
38	497,613.47	2'149,815.50
39	496,819.63	2'151,003.41

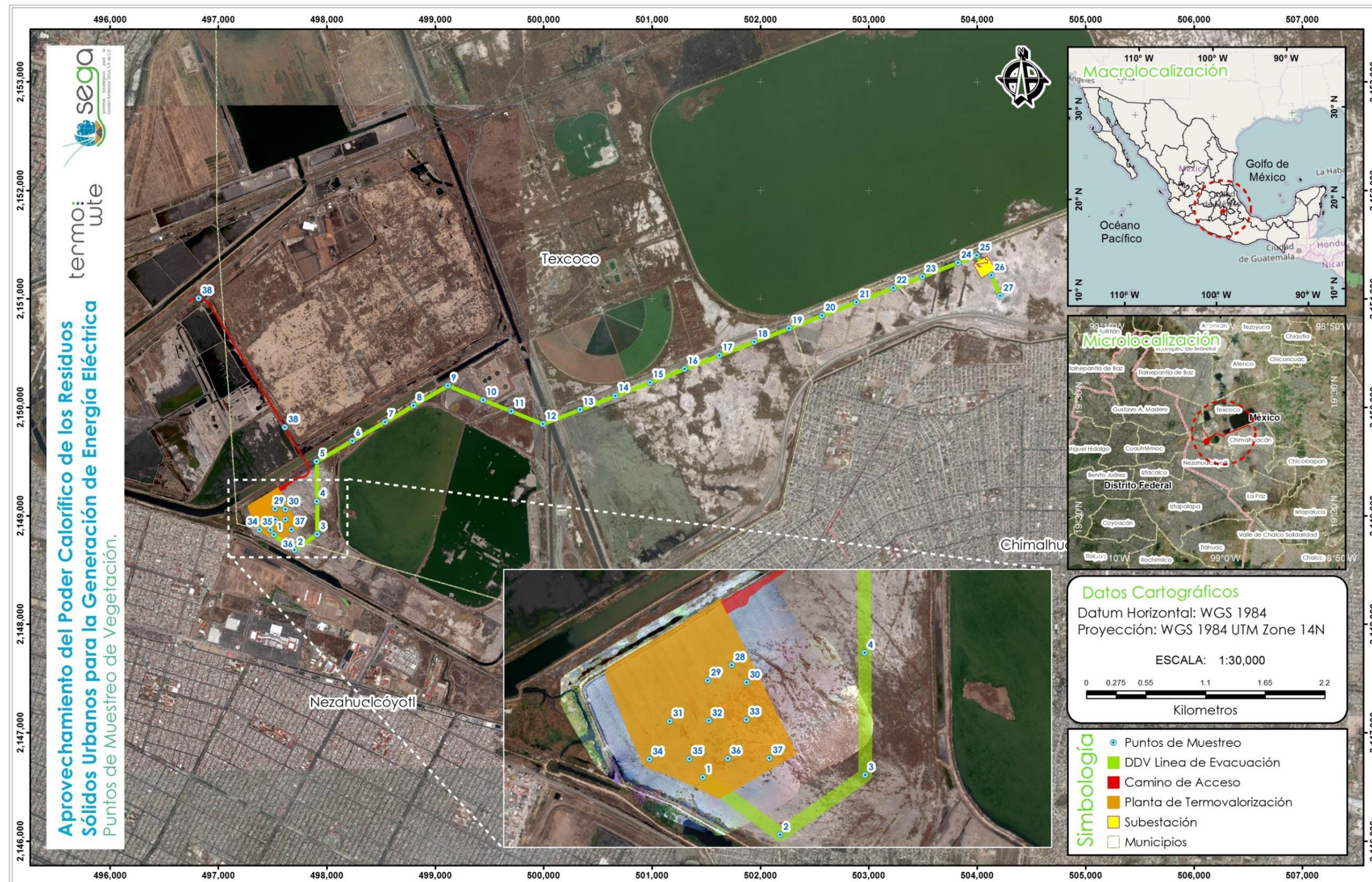


Figura IV—87. Ubicación de los sitios de muestreo de vegetación en las áreas de desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.

C) Tamaño y forma de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo pueden tener la forma que más convenga a las posibilidades y tiempo disponibles, de tal manera que se pueden tener sitios: cuadrados, rectangulares, circulares, triangulares, romboidales, irregulares, etc.. Dentro de las diferentes opciones, las tres formas que más se han utilizado en inventarios forestales son: cuadrados, circulares y rectangulares, pues resultaría muy laborioso la delimitación en el terreno de cualquier otra forma diferente a las antes citadas, además de implicar más tiempo y recursos.

Los tamaños más adecuados para un sitio de muestreo estarán en función de lo que se requiera evaluar. El tamaño y forma de sitio a muestrear se adaptó considerando que en el área del proyecto solamente se desarrolla un solo estrato, para conferir un mayor tamaño de muestra y una mayor fiabilidad estadística, quedando como sigue:

- 1) Sitios circulares de 1,000 m² (17.84 m de radio), donde se muestrearon todos los individuos presentes en el sitio.
- 2) Los atributos que se consideraron fueron: nombre común y científico, especies presentes y número de individuos por especie.

D) Levantamiento de información

Para el levantamiento de la información vegetal, se utilizaron formatos previamente elaborados donde se incluyó la información relacionada con los atributos anteriormente mencionados.

E) Especies enlistadas en alguna categoría de riesgo

La revisión del estatus de especies bajo categorías de protección se realizó conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

IV.2.2.2.4 Resultados del trabajo de campo para la caracterización del AI

Los tipos de uso de suelo y/o vegetación identificados durante el trabajo de campo realizado en las superficies requeridas para la ejecución del proyecto son 6: Agrupación de halófitas (AH), sin vegetación aparente (SVA), vegetación secundaria (VS), cuerpos de agua (CA), reforestación con *Tamarix* (RT) e infraestructura (IN).

En lo que corresponde a superficies, el proyecto pretende afectar una superficie total de 43.98 ha, correspondiente al predio donde se instalará la planta de termovalorización, el camino de acceso, el derecho de vía de la línea de evacuación y la subestación. El uso de suelo predominante es el SVA, el cual cubre 18.77 ha (42.69 %) de las 43.98 ha totales, seguido por el uso de suelo denominado AH y vegetación secundaria las cuales comprenden 14.59 y 8.37 ha, respectivamente (Tabla IV-32). Cabe destacar que ningún uso de suelo y/o vegetación identificado corresponde a vegetación forestal, como se describirá a detalle en la descripción de cada uno de ellos.

Tabla IV-32. Clasificación del uso del suelo, y su cobertura, identificado en las áreas para el desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.

No.	Uso de Suelo y/o Vegetación	Clave	Superficie		Proporción (%)
			m ²	ha	
1	Sin vegetación aparente	SVA	187,736.23	18.77	42.69
2	Asociación de halófitas	AH	145,940.85	14.59	33.19
3	Vegetación secundaria	VS	83,653.60	8.37	19.02
4	Cuerpo de agua	CA	17,593.84	1.76	4.00
5	Reforestación con <i>Tamarix</i>	RT	3,707.32	0.37	0.84
6	Infraestructura	IN	1,141.87	0.11	0.26
Total			439,773.71	43.98	100

De las obras que constituye el desarrollo del proyecto, la línea de evacuación (con su derecho de vía) es la que implica mayor superficie con el 58.3% de las 43.98 ha (Tabla IV-33). En esta superficie se encontró que el uso de suelo predominante es la AH con 11.53 ha, seguido de vegetación secundaria (7.74 ha) y sin vegetación aparente (4.61 ha). En el predio del proyecto donde se plantea construir la planta está conformado por tres tipos de uso de suelo, en el que predomina el denominado como sin vegetación aparente con 11.85 de las 13.2 ha, y las restantes 1.36 ha corresponden a los usos AH y reforestada con *Tamarix*. El camino de acceso solo implica el 6.6% de las 43.98 ha, sin embargo, es el que tiene la mayor diversidad de usos de suelo predominando el clasificado como sin vegetación aparente con el 80% de la superficie que implica el desarrollo de este componente del proyecto. Por último, en el área de la subestación se encontraron solo dos usos de suelo, en el que la asociación de halófitas cubre 1.85 ha y la vegetación secundaria las restantes 0.40 ha.

Tabla IV-33. Usos de suelo y vegetación identificados por obra que constituye el desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.

Uso de suelo y vegetación	Camino (ha)	Predio (ha)	DDV línea de evacuación (ha)	Subestación (ha)	Total (ha)
Asociación de halófitas	0.02	1.20	11.53	1.85	14.59
Cuerpo de agua	0.11	---	1.65	---	1.76
Infraestructura	---	---	0.11	---	0.11
Reforestación con <i>Tamarix</i>	0.21	0.16	---	---	0.37
Sin vegetación aparente	2.31	11.85	4.61	---	18.77
Vegetación secundaria	0.22	---	7.74	0.40	8.37
Total (ha)	2.89	13.20	25.64	2.25	43.98

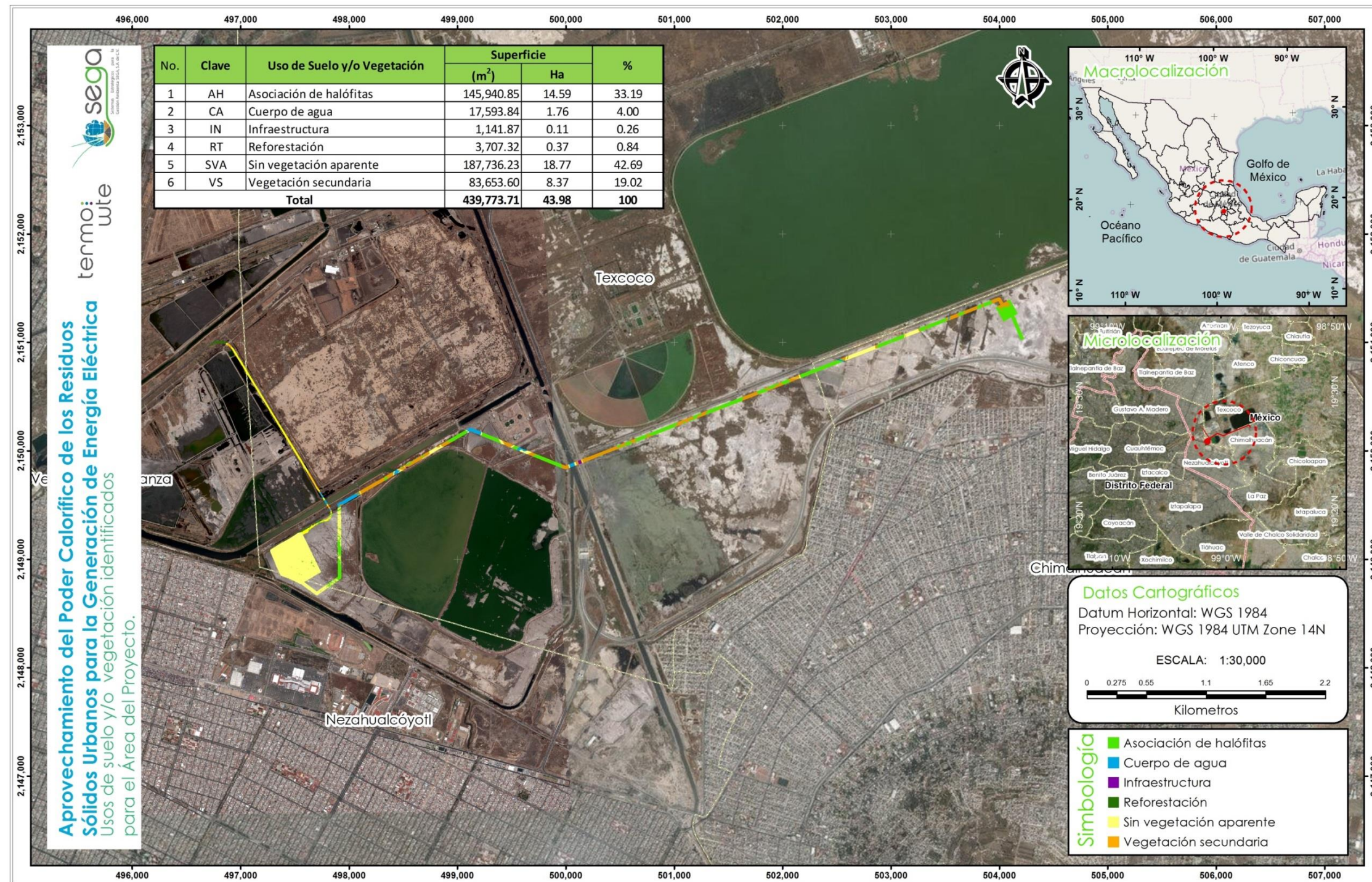


Figura IV—88. Clasificación y distribución de los usos de suelo y/o tipo de vegetación en el área de influencia del proyecto en cuestión.

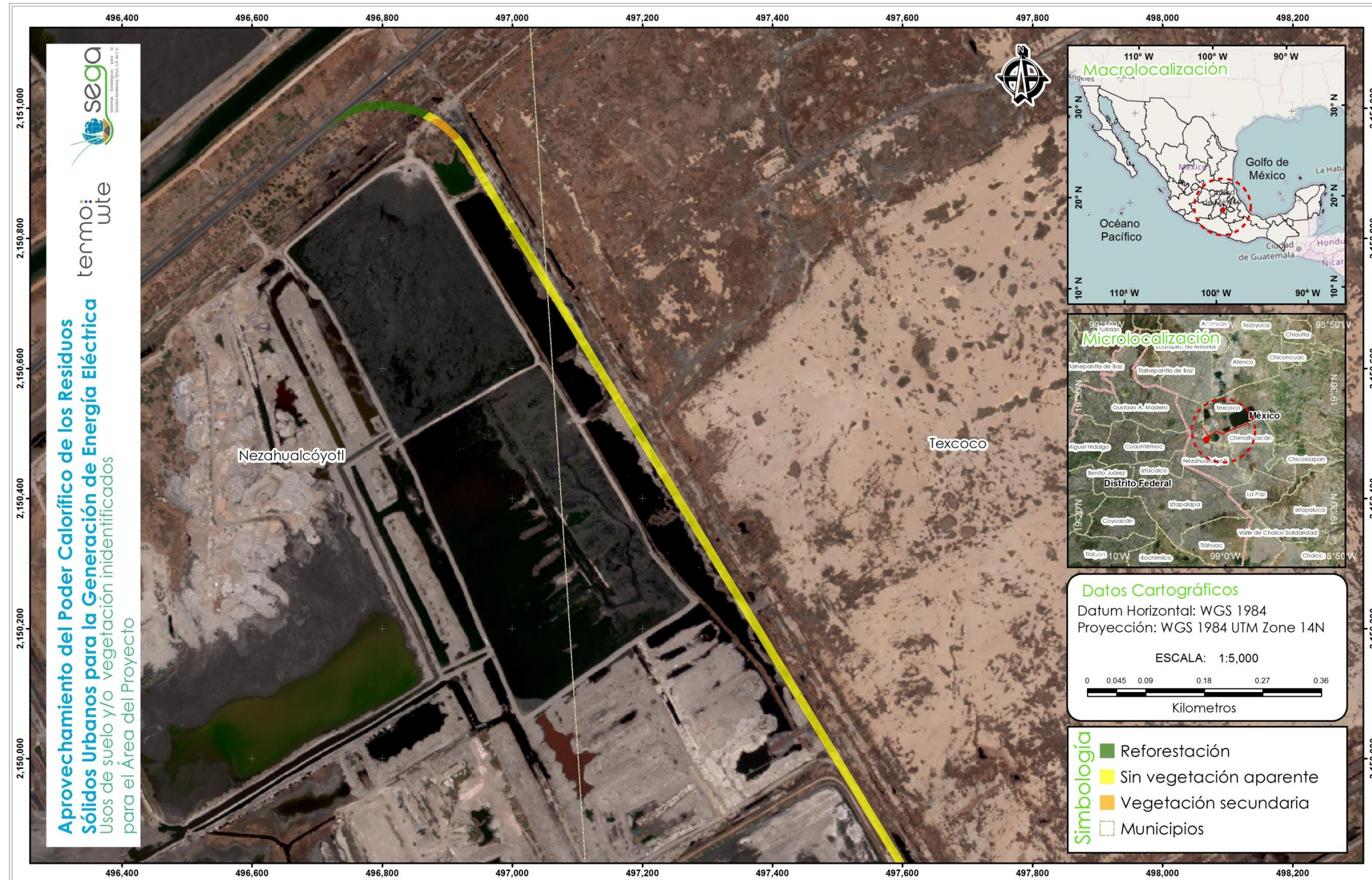


Figura IV—89. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el área del camino de acceso a la planta termovalorizadora (1).

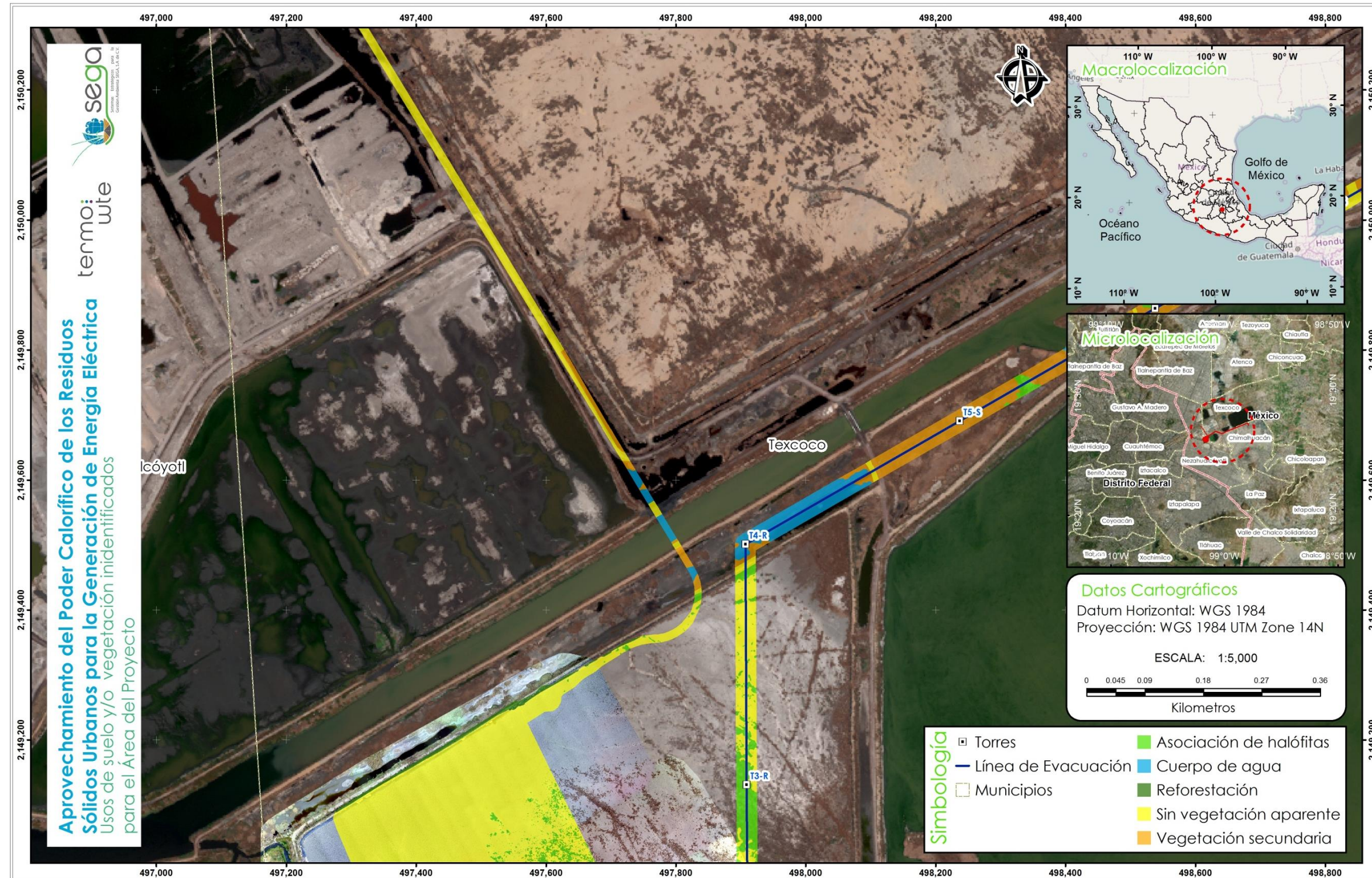


Figura IV—90. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el área del camino de acceso a la planta termovalorizadora (2).

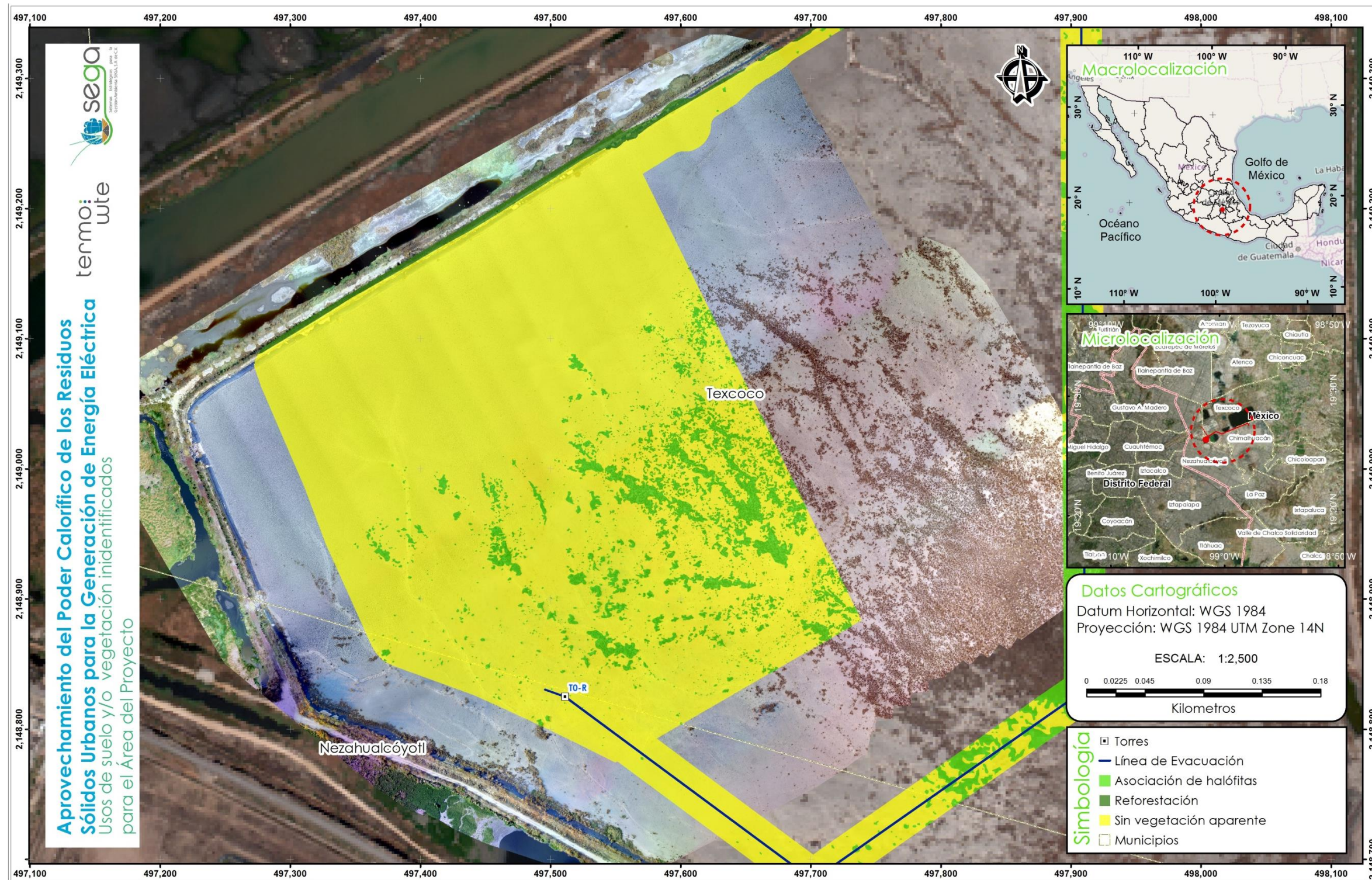


Figura IV—91. Usos de suelo y/o vegetación identificados en el predio de la planta de termovalorización.

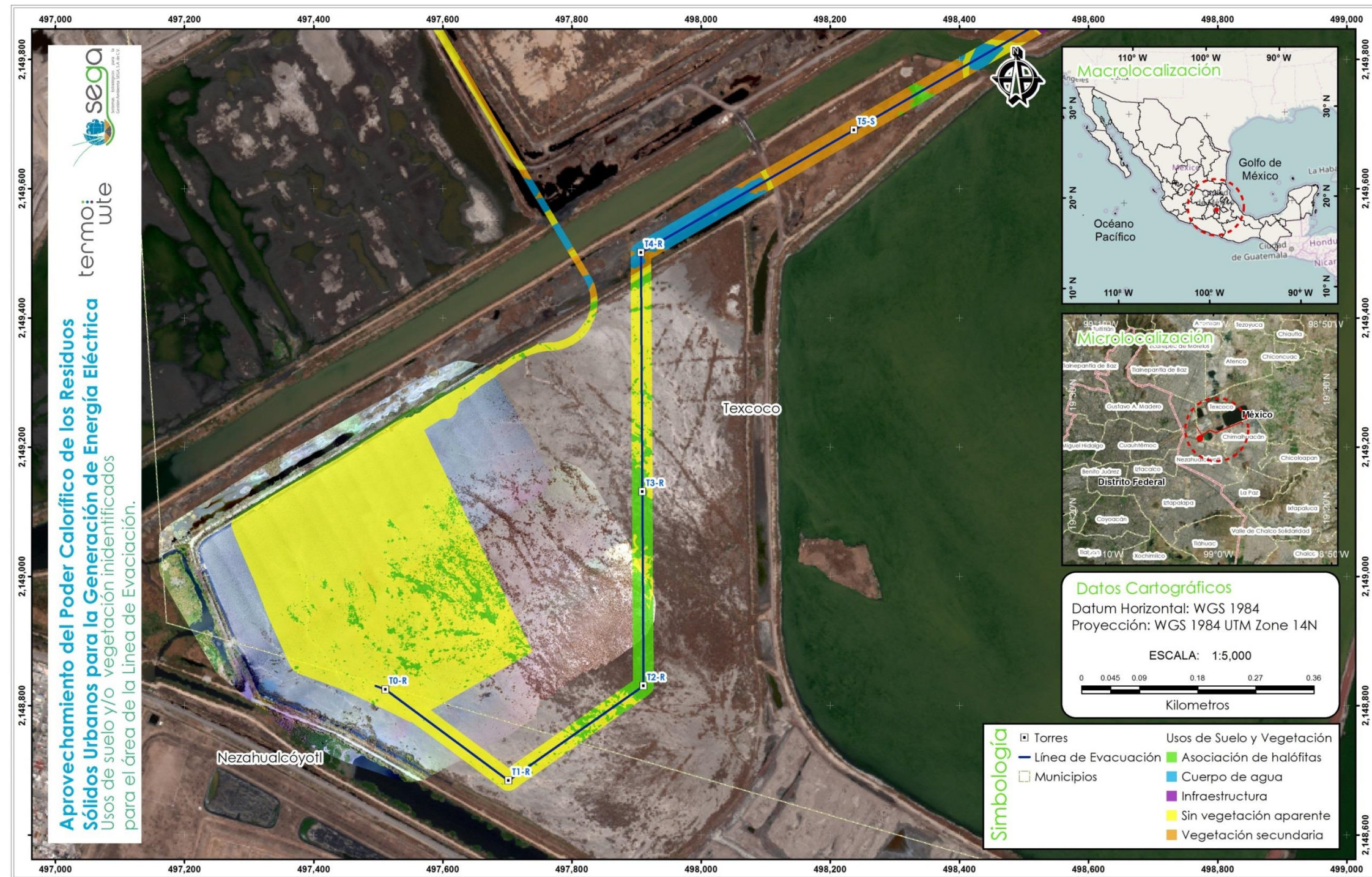


Figura IV—92. Usos de suelo y/o vegetación identificados de la Torre 0 a la Torre 5 de la línea de evacuación.



Figura IV—93. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 5 a la Torre 10 de la línea de evacuación.



Figura IV—94. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 10 a la Torre 15 de la línea de evacuación.

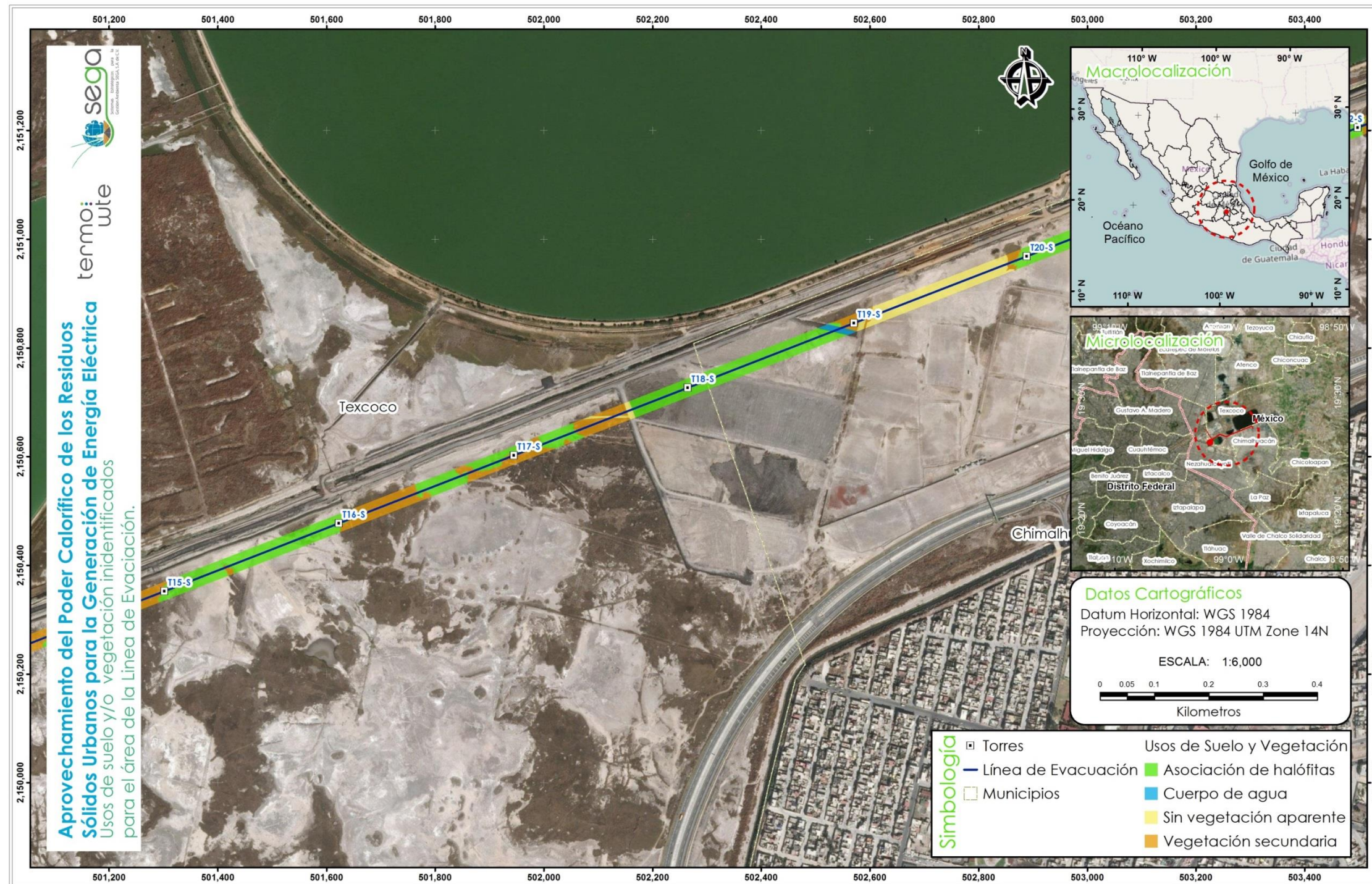


Figura IV—95. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 15 a la Torre 20 de la línea de evacuación.

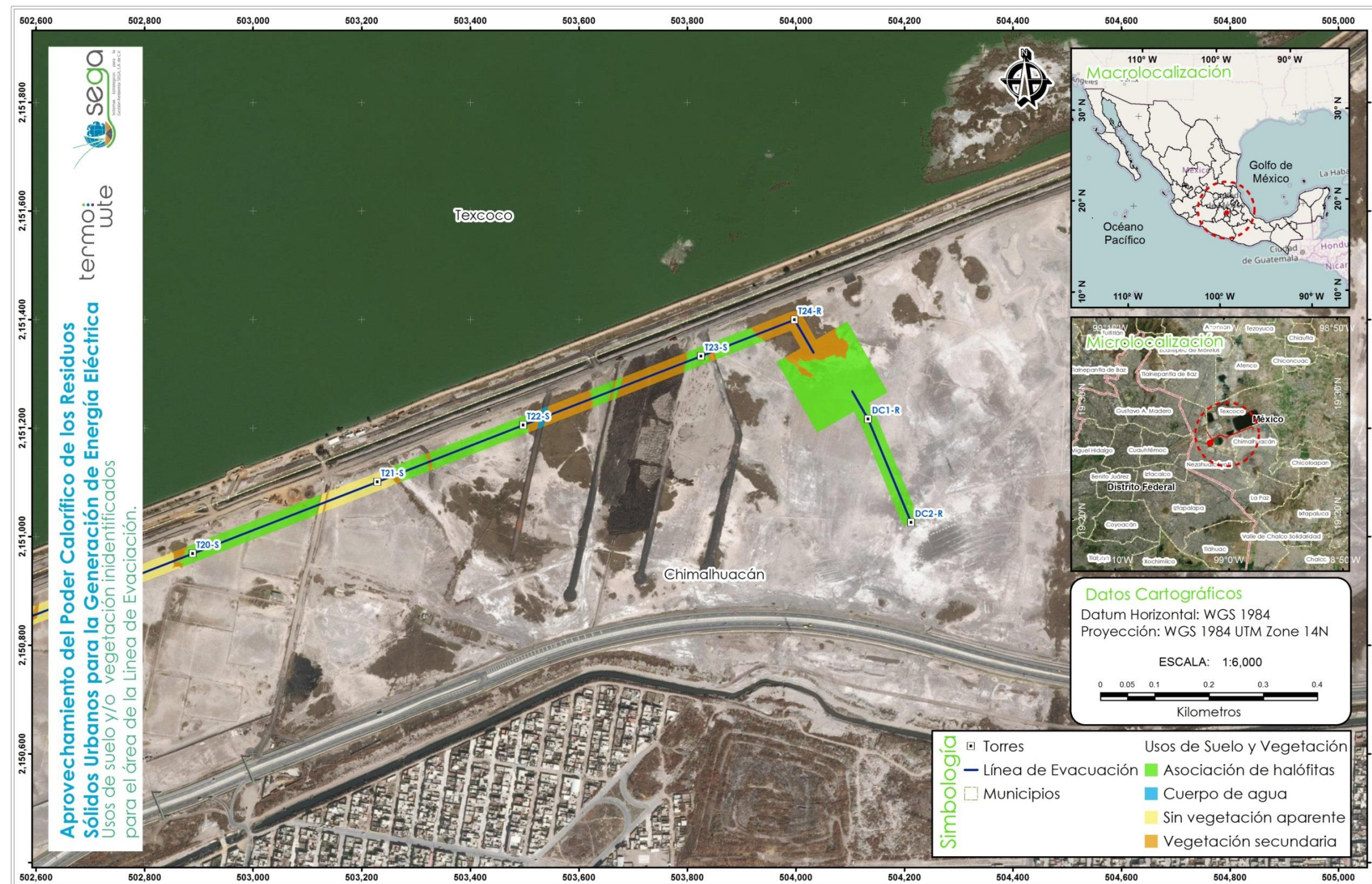


Figura IV—96. Usos de suelo y/o vegetación inidentificados de la Torre 20 a la Torre 26 de la línea de evacuación y subestación de maniobras.

Descripción de los usos de suelo dentro del predio del proyecto

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los usos de suelo y/o vegetación identificados en las áreas necesarias para la construcción del proyecto.

Sin vegetación aparente. Son áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. La ausencia de vegetación se debe a que la vegetación primaria fue eliminada totalmente por actividades humanas para el establecimiento de caminos actuales o área de maniobras por el paso de maquinaria utilizada en el movimiento y depósito de tierras productos de dragado.

Agrupación de halófitas. Es una comunidad vegetal estructuralmente simple, que de acuerdo con la clasificación de la vegetación de Miranda y Hernández-X (2014) está representada exclusivamente por especies que crecen en condiciones de alta salinidad y alcalinidad, entre las que destacan: *Suaeda torreyana* S. Watson, *Atriplex linifolia* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Salsola tragus* L. y *Chenopodium macrospermum* Hook. f.; las dos últimas consideradas especies introducidas con amplia capacidad de colonización (Espinosa y Sarukhán, 1997).

Las condiciones edáficas que prevalecen en el área determinan que el ensamble de especies que ahí prospera esté adaptado a ambientes restrictivos por la salinidad y alcalinidad, y por ende, sólo un reducido número de especies puedan desarrollarse; generalmente de las familias Amaranthaceae y Chenopodiaceae (Miranda y Hernández-X, 2014). Por lo tanto, si bien la constitución edáfica del predio actualmente es una tarquina donde se depositaron lodos provenientes del dragado de la laguna de Churubusco, y por lo tanto no es un suelo con capacidad para permitir el desarrollo de vegetación forestal; previo a dicho dragado estos suelos fueron denominados coloquialmente “cacahuatudas”, y se caracterizaron por suelos modificados en su estructura física y química con una consistencia dura y agrietada. Por lo que, se considera un ambiente modificado antropógenamente por los depósitos de suelo de

dragado que ahí se han depositado, y por lo tanto, dadas la modificaciones al sustrato natural, no puede soportar el desarrollo de masas forestales naturales (Gutiérrez y Ortiz-Solorio, 1999).

Vegetación secundaria. La vegetación secundaria se define como un tipo de vegetación que es eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales, y el resultado es una comunidad vegetal significativamente diferente a la original y con estructura y composición florística heterogénea, dominada por herbáceas oportunistas de rápido crecimiento. Esta vegetación también se ha asentado sobre los depósitos de suelo de dragado que ahí se depositan; sin embargo, se han podido establecer un mayor número de especies, dado que éstos sitios tienen menores niveles de salinidad (por debajo de los sitios donde se establecen las agrupación de halófitas), lo que propicia el establecimiento de pioneras y otros grupos característicos de vegetación secundaria como las asteráceas.

Cuerpos de agua. Se les clasificó en este uso de suelo a las áreas que ocupan los canales artificiales que se encuentran a lo largo y ancho de la zona del proyecto, y que son utilizados para el transporte de agua, ya sea dentro o fuera del lago artificial “Nabor Carrillo”.

Reforestación con *Tamarix spp.*: Este uso de suelo está conformado por dos especies introducidas (*Tamarix aphylla* (L.) H. Karst. y *Tamarix chinensis* Lour.) con alta tolerancia a ambientes estresantes por salinidad o alta luminosidad. Su introducción al área se debió a las acciones de reforestación del lago de Texcoco, y dada su elevada capacidad de colonización, actualmente son especies dominante en sitios perturbados, en donde se encuentran mezcladas con vegetación secundaria y algunas otras especies utilizadas en reforestaciones: cedro (*Cupressus spp.*) y pirúl (*Schinus spp.*). Estructuralmente es un sistema conformado por individuos de ambas especies que se encuentran agrupados, generalmente en forma intercalada. En el área

de estudio se le encuentra asociada a caminos, sitios abiertos y en los límites de los cuerpos de agua.

Infraestructura. Este uso de suelo se refiere a los diferentes elementos como carreteras y edificaciones que se encontraran dentro del derecho de vía de la línea de evacuación. Cabe destacar que en ningún momento se tendrá afectación a ninguno de estos elementos ya que la línea de evacuación pasará sobre ellos.

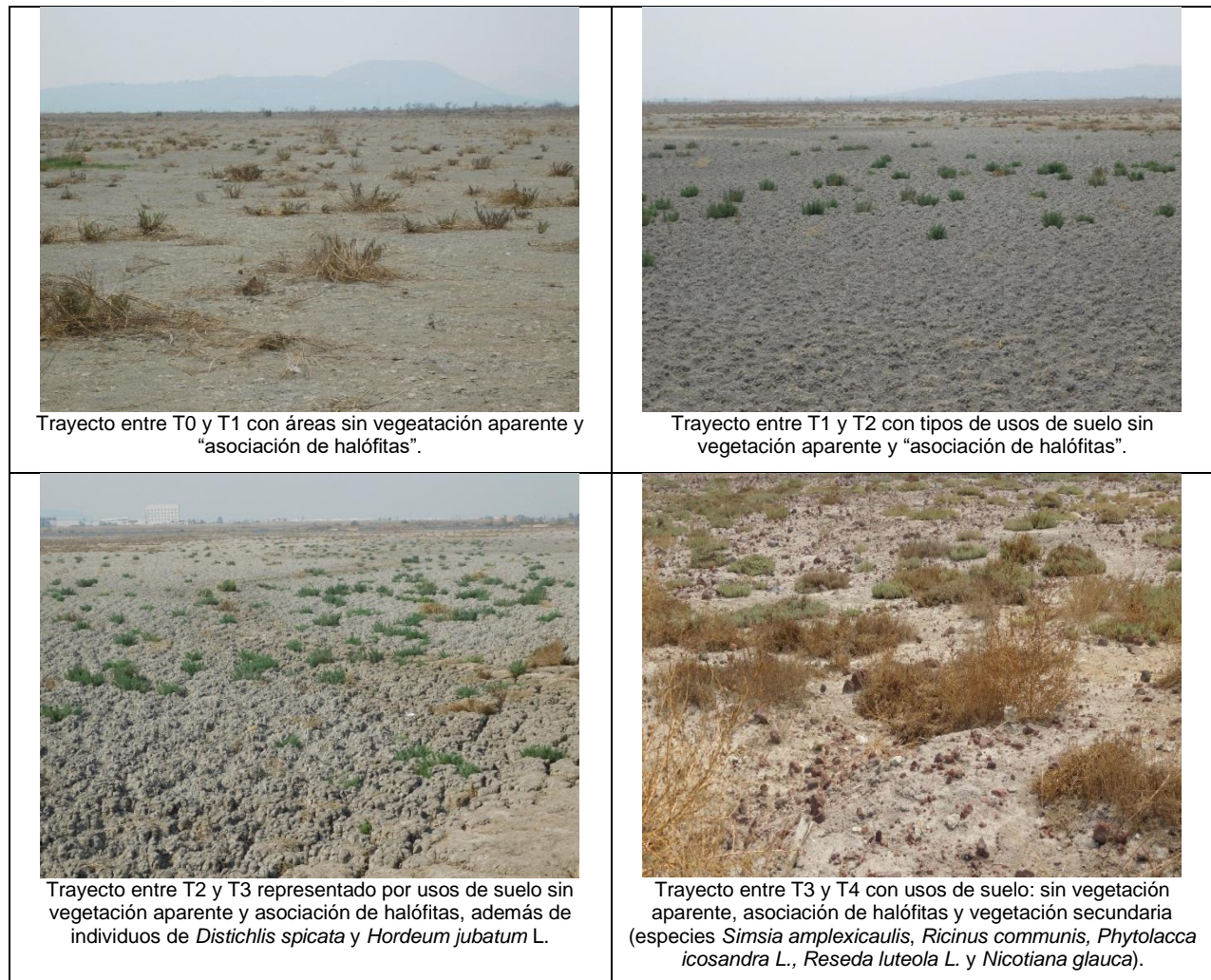




Figura IV—97. Fotografías que evidencian la cobertura vegetal en las diferentes áreas de desarrollo de obras del proyecto de construcción de la planta termovalorizadora.

A) Descripción de los resultados obtenidos

La flora vascular circundante al predio está conformada por 29 especies: ocho árboles, cinco arbustos y 16 hierbas; 55.1% de éstas son introducidas y se consideran plantas exóticas invasoras de amplia distribución en México. Destaca que ninguna especie se encuentra enlistada en alguna de las cuatro categorías de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla IV-34).

Tabla IV-34. Listado de especies de flora silvestre identificadas en el área de influencia del proyecto de la planta termovalorizadora.

No.	Nombre científico	Familia	Nombre común	Crecimiento	Origen	Estatus
Gymnospermae						
1	<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Taxodiaceae	Ahuehuete	Árbol	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
Angiospermae Clase Magnoliópsida						
2	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	Aizoaceae	Verdolaga de playa	Hierba perenne	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
3	<i>Atriplex linifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Amaranthaceae		Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
4	<i>Senecio salignus</i> DC.	Asteraceae	Jarilla	Arbusto	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
5	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Asteraceae	Acahualillo	Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
6	<i>Picris echioides</i> L.	Asteraceae	Lengua de gato	Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
7	<i>Taraxacum officinale</i> G. H. Weber ex Wigg.	Asteraceae	Diente de León	Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
8	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	Boraginaceae	Cola de mico, hediondilla	Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
9	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarinaceae	Falso pino	Árbol	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
10	<i>Chenopodium macrospermum</i> Hook. f.	Chenopodiaceae		Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
11	<i>Salsola tragus</i> L.	Chenopodiaceae	Cardo ruso	Arbusto	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
12	<i>Suaeda torreyana</i> S. Watson	Chenopodiaceae	Romerito	Arbusto	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
13	<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Higuerilla	Arbusto	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
14	<i>Melilotus alba</i> Med.	Fabaceae	Trébol dulce	Arbusto	Introducida	No enlistada en NOM-059-

No.	Nombre científico	Familia	Nombre común	Crecimiento	Origen	Estatus
						SEMARNAT-2010
15	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Phytolaccaceae	Jaboncillo	Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
16	<i>Polygonum mexicanum</i> Small	Polygonaceae	Chilillo	Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
17	<i>Rumex crispus</i> var. <i>mexicanus</i> M. Martens & Galeotti	Polygonaceae	Lengua de vaca	Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
18	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Pontericaceae		Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
19	<i>Reseda luteola</i> L.	Resedaceae		Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
20	<i>Salix bonplandiana</i> Kunth	Salicaceae	Sauce	Árbol	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
21	<i>Buddleja cordata</i> Kunth	Scrophulariaceae	Tepozán	Árbol	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
22	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Solanaceae	Tabaquillo	Árbol	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
23	<i>Tamarix aphylla</i> (L.) H. Karst.	Tamaricaceae	Pino salado	Árbol	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
24	<i>Tamarix chinensis</i> Lour.	Tamaricaceae	Pino salado	Árbol	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
25	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Thyphaceae	Tule	Árbol	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
Clase Liliopsida						
26	<i>Bolboschoenus maritimus</i> subsp. <i>paludosus</i> (A. Nelson) T. Koyama	Cyperaceae		Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
27	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Cyperaceae		Hierba	Introducida	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
28	<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Pasto salado	Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010
29	<i>Hordeum jubatum</i> L.	Poaceae		Hierba	Nativa	No enlistada en NOM-059-SEMARNAT-2010

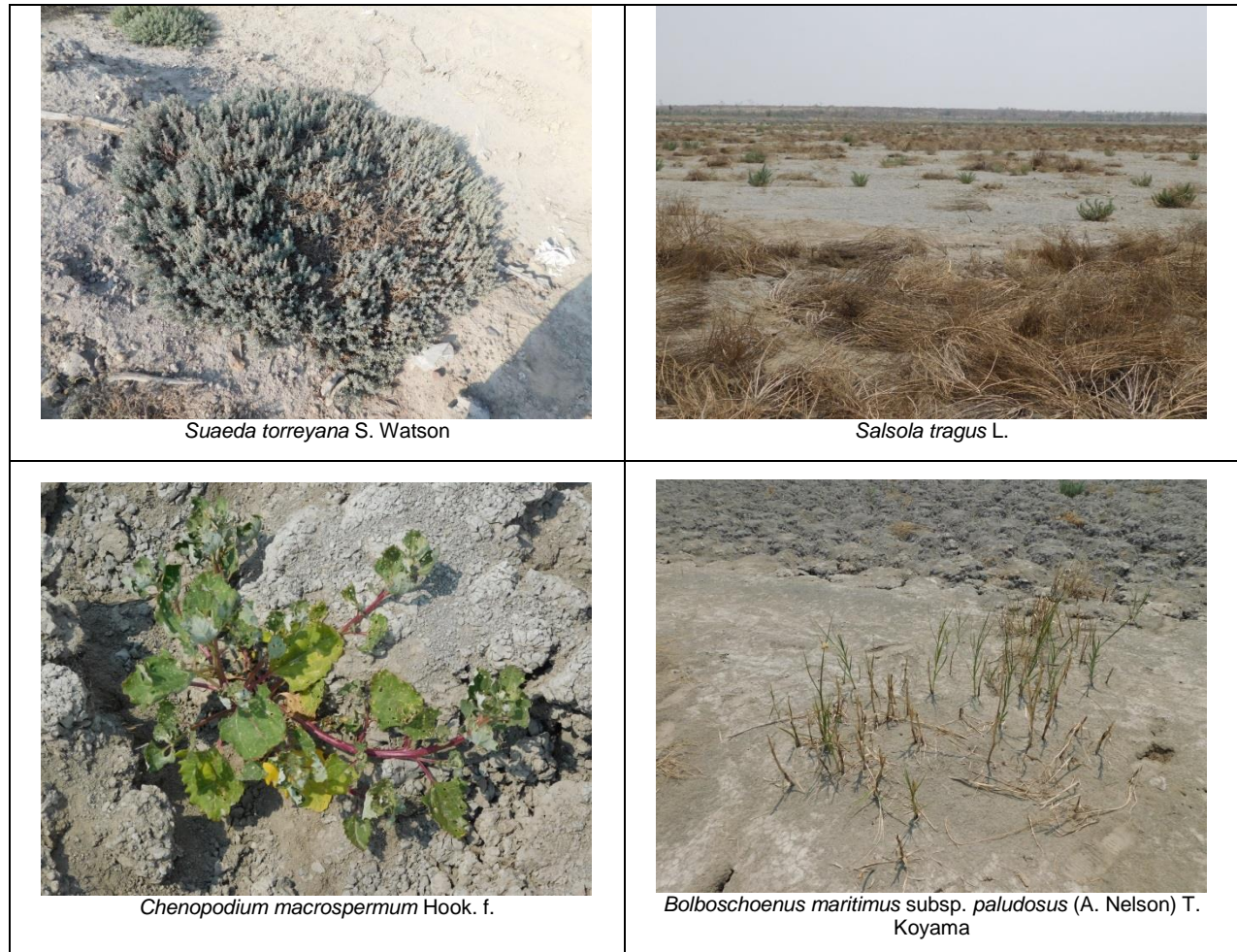


Figura IV—98. Ejemplares de flora silvestre identificados en el área de desarrollo del proyecto de la planta termovalorizadora.

El predio del proyecto está constituido por una comunidad vegetal estructuralmente simple, que de acuerdo con la clasificación de la vegetación de Miranda y Hernández-X (2014) se define como “asociación de halófitas”. Las únicas especies que crecen en el predio debido a su alta tolerancia a la salinidad y alcalinidad son: *Suaeda torreyana* S. Watson, *Atriplex linifolia* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Salsola tragus* L. y *Chenopodium macrospermum* Hook. f., las dos últimas consideradas especies introducidas con amplia capacidad de colonización (Espinosa y Sarukhán, 1997). También existen

elementos florísticos relictuales propios de Tulares y carrizales (Miranda y Hernández-X, 2014), tales como *Bolboschoenus maritimus* subsp. *paludosus* (A. Nelson) T. Koyama; una hierba introducida considerada maleza agresiva (Rzedowski, y Rzedowski, 2001).

De manera que la riqueza del predio se resume a cinco especies (tres de ellas introducidas), con una alta dominancia de *Salsola tragus* y *Atriplex linifolia*. El estrato herbáceo lo conforman *A. linifolia*, *Chenopodium macrospermum* y *B. maritimus*, con alturas máximas de 50 cm, distribuidas a manera de manchones de cada especie separadas entre sí.

La comunidad vegetal del predio muestra dominancia y alternancia en el ciclo de vida de las especies que la componen. Así, *S. tragus* es un arbusto anual que permanece con follaje alrededor de cinco meses en la época invernal, eventualmente en la primavera y el verano la planta entera se seca y se desprende de su raíz, y por efecto del viento rueda, llegando a desplazarse a gran distancia y dispersando los frutos en el camino (una planta puede tener de 20,000 a 50,000 semillas; Espinosa y Sarukhán, 1997); lo que le permite colonizar otros espacios y ser una especie pionera en sitios abiertos y degradados. A su vez, *Suaeda torreyana* y *A. linifolia* son especies que comienzan a reverdecer con las primeras lluvias una vez que *S. tragus* se encuentra completamente seca (Villaseñor y Espinosa, 1998); lo que genera una fisonomía de reemplazo que da la apariencia de una comunidad vegetal diversa y colorida.

No obstante, las condiciones edáficas que prevalecen en el predio, las cuales están ampliamente descritas en el apartado IV.2.1.6 de este capítulo, determinan que el ensamble de especies que ahí prospera esté adaptado a ambientes restrictivos por la salinidad y alcalinidad y, por ende, sólo un reducido número de especies puedan desarrollarse; generalmente de las familias Amaranthaceae y Chenopodiaceae (Miranda y Hernández-X, 2014). Por lo tanto, si bien la constitución edáfica del predio actualmente en una tarquina donde se depositaron lodos provenientes del dragado de

la laguna de Churubusco, y por lo tanto no es un suelo con capacidad para permitir el desarrollo de vegetación forestal; previo a dicho dragado estos suelos fueron denominados coloquialmente “cacahuatudas”, y se caracterizaron por presentar una consistencia dura y agrietada, que no permitía la retención de humedad y por lo tanto el desarrollo de masas forestales (Gutiérrez y Ortiz-Solorio, 1999).

De acuerdo con Gutiérrez y Ortiz-Solorio (1999), las cacahuatudas se distinguen por la presencia de agregados fuertemente desarrollados, alta resistencia a la destrucción, además de la formación de costras gruesas que evitan la emergencia de las plántulas; por lo tanto se consideran suelos con una limitada capacidad de germinación debido a la baja productividad del sistema. Esta baja productividad está relacionada con drenaje deficiente, pH alcalino, sodio en los sitios de intercambio, poca materia orgánica, presencia o ausencia de costras, lo que concuerda con los resultados obtenidos en las muestras de suelo de los perfiles construidos en el predio del proyecto (ver apartado IV.2.1.6).

La salinidad es un problema que afecta principalmente a los suelos de las zonas áridas y semiáridas donde una evaporación mayor que la precipitación conduce a la acumulación de sales en la superficie del suelo. Debido a las altas presiones osmóticas que originan, estas concentraciones de sales solubles afectan el desarrollo de las plantas, limitando la absorción de agua por las raíces. Las concentraciones elevadas de sodio (alcalinidad) también afectan las condiciones físicas del suelo, ya que provocan una dispersión de las partículas de arcilla, que deteriora gravemente la estructura del suelo (Gutiérrez y Ortiz-Solorio, 1999).

B) Especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Se revisó el estatus de las especies de las especies identificadas al interior del predio, no identificando ninguna enlistada en alguna categoría de riesgo al listado de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla IV-X).

Por otro lado, el área pretendida para el desarrollo del proyecto sin cobertura vegetal ocupa una superficie de 18.77 ha y representa el 42.68% de las 43.98 ha totales. En este uso se clasificó prácticamente a aquellas áreas que se encuentran desprovistas de vegetación, como se puede observar en la Figura IV–99.



Figura IV—99. Fotografías que evidencian la condición del área del proyecto sin cobertura vegetal durante la época de secas.

IV.2.3 Medio socioeconómico

IV.2.3.1 Descripción territorial

Este proyecto tiene la peculiaridad que la delimitación de su SAR comprende parte de dos entidades, el Estado de México y la Ciudad de México, aunque en sí el predio del proyecto se ubica en un área perteneciente al Estado de México. Por esta razón, a continuación se procede a caracterizar socioeconómicamente ambas entidades, de manera general, y más específicamente a los municipios y delegaciones que quedan parcialmente inmersas dentro del SAR.

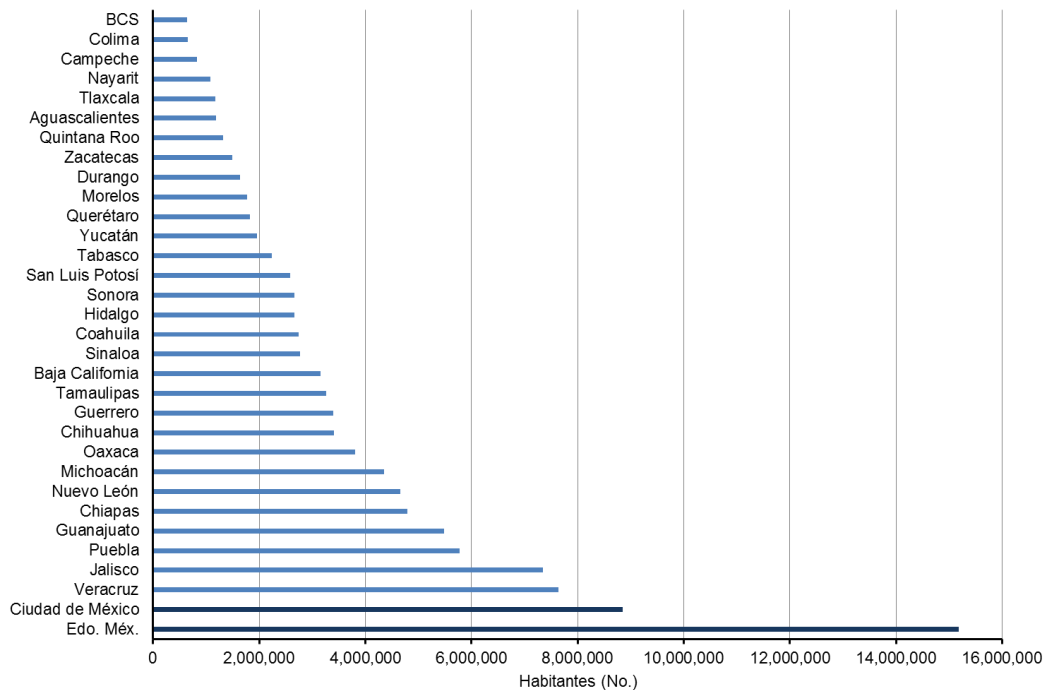
De los 31 estados y la Ciudad de México que constituyen el territorio nacional, el Estado de México ocupa el lugar número 25 en cuanto a tamaño territorial, con 21,461 km², lo que representa el 1.1% de la superficie nacional. Éste se encuentra en la parte central del país, colindando con los estados de Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Guerrero, Morelos, Puebla, Tlaxcala y la Ciudad de México. Está integrado por 125 municipios, de los cuales 10 se encuentran parcialmente inmersos dentro del SAR delimitado para el proyecto: Acolman, Atenco, Chiautla, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec, La Paz, Nezahualcóyotl, Texcoco y Tezoyuca.

En este respecto, la Ciudad de México está conformada por 16 delegaciones y es la entidad federal más pequeña con solo 1,499 km², representado el 0.08% del territorio nacional. Solamente colinda con dos estados, el Estado de México, que casi lo cubre en su totalidad, y al sur colinda con Morelos. De sus 16 delegaciones, solo cuatro quedan inmersas parcialmente dentro del polígono del SAR: Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza.

IV.2.3.2 Población

De acuerdo con el último censo de población y vivienda directo realizado por el INEGI a nivel nacional en el 2010 (en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>),

estas dos entidades federales son las que resultaron con mayor número de habitantes a nivel nacional (Figura IV–100). De los 112'336, 538 habitantes a nivel nacional que resultaron del censo antes mencionado, en el Estado de México y la Ciudad de México habitaban 13.50 y 7.88% de la población total; mientras que, los estados de Baja California Sur y Colima fueron los que tuvieron menor número de habitantes, representado el 0.57 y 0.58% del total nacional.

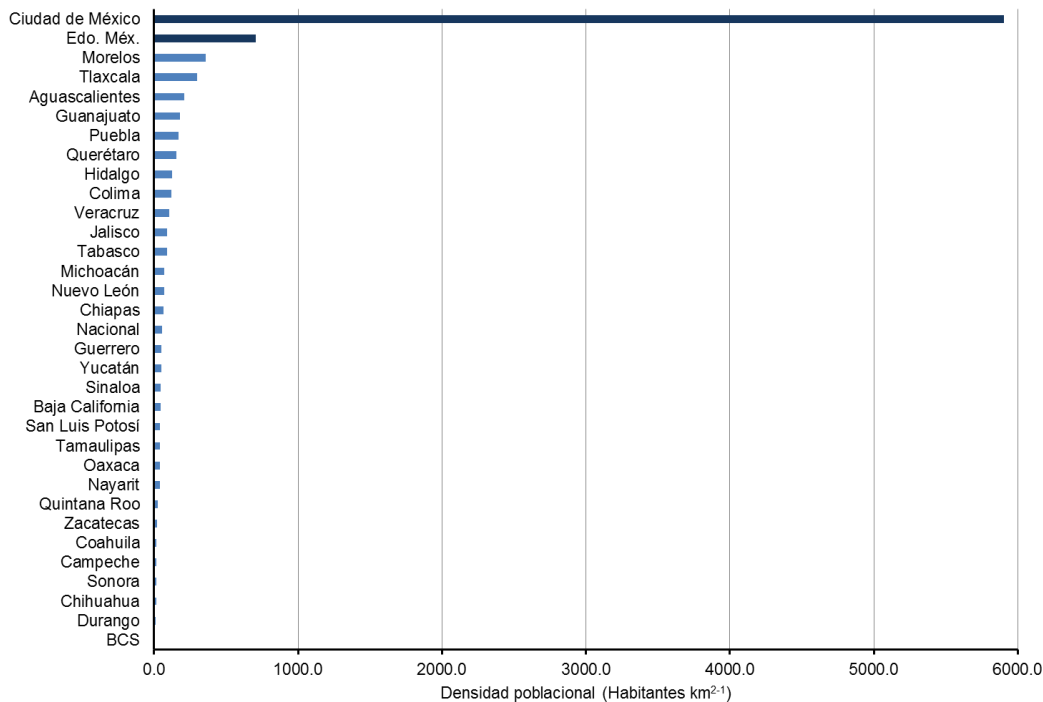


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

Figura IV—100. Habitantes por entidad federativa de acuerdo con el censo poblacional directo realizado por el INEGI en el año 2010.

Si bien, la Ciudad de México resultó con menor número de habitantes que el Estado de México, por su tamaño territorial resultó tener, por mucho, la mayor densidad poblacional por kilómetro cuadrado, con 5,095 habitantes km², y, en segundo lugar apareció el Estado de México con 707 habitantes km² (Figura IV–101). Solo con el fin

de comparar, el estado de Morelos ocupó el tercer lugar con 360 habitantes km^{-2} y, los que tuvieron la menor densidad fueron Baja California Sur y Durango con 7 y 14 habitantes km^{-2} , respectivamente.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

Figura IV—101. Densidad poblacional por entidad federativa de acuerdo con el último censo poblacional directo realizado por el INEGI en el año 2010.

IV.2.3.2.1 Dinámica poblacional a nivel del SAR

Entre los 10 municipios del Estado de México que se encuentran inmersos dentro del SAR definido para el proyecto alcanzaron una población total de 4'299,365 habitantes, lo que representó el 28.3% de la población total estatal. De estos municipios, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán resultaron tener la mayor población, implicando el 10.9, 7.3 y 4.1%, respectivamente, de la población total estatal (Tabla IV–35). Por otro lado, la suma de los habitantes de las cuatro delegaciones de la Ciudad de México

implicadas en el SAR representó ser el 43.1% de los 8'851,080 habitantes de la Ciudad de México; de éstas, las delegaciones de Iztapalapa y Gustavo A. Madero tuvieron el 20.5 y el 13.4%, respectivamente, de la población antes mencionada.

Tabla IV-35. Población nacional de las entidades inmersas en el sistema ambiental regional definido para el proyecto de acuerdo con los censos directos realizados por el INEGI de 1970 al 2010 y la tasa de crecimiento poblacional promedio estima para este periodo[§].

Entidad	1970	1980	1990	2000	2010	Tasa de crecimiento (%)
Estado de México	3'833,185	7'564,335	9'815,795	13'096,686	15'175,862	4.4
Acolman	20,964	32,316	43,276	61,250	136,558	6.3
Atenco	10,616	16,418	21,219	34,435	56,243	5.2
Chiautla	7,266	10,618	14,764	19,620	26,191	3.8
Chicoloapan	8,750	27,354	57,306	77,579	175,053	12.1
Chimalhuacán	19,946	61,816	242,317	490,772	614,453	15.7
Ecatepec	216,408	784,507	1'218,135	1'622,697	1'656,107	8.8
La Paz	32,258	99,436	134,782	212,694	253,845	8.0
Nezahualcóyotl	580,436	1'341,230	1'256,115	1'225,972	1'110,565	2.8
Texcoco	65,628	105,851	140,368	204,102	235,151	3.9
Tezoyuca	4,770	7,567	12,416	18,852	35,199	6.5
Ciudad de México	6'874,165	8'831,079	8'235,744	8'605,239	8'851,080	0.7
Gustavo A. Madero	1'186,107	1'513,360	1'268,068	1'235,542	1'185,772	0.1
Iztacalco	477,331	570,377	448,322	411,321	384,326	-0.4
Iztapalapa	522,095	1'262,354	1'490,499	1'773,343	1'815,786	4.5
Venustiano Carranza	---	692,896	519,628	462,806	430,978	-1.4
Nacional	48'225,238	66'846,833	81'249,645	97'483,412	112'336,538	2.4

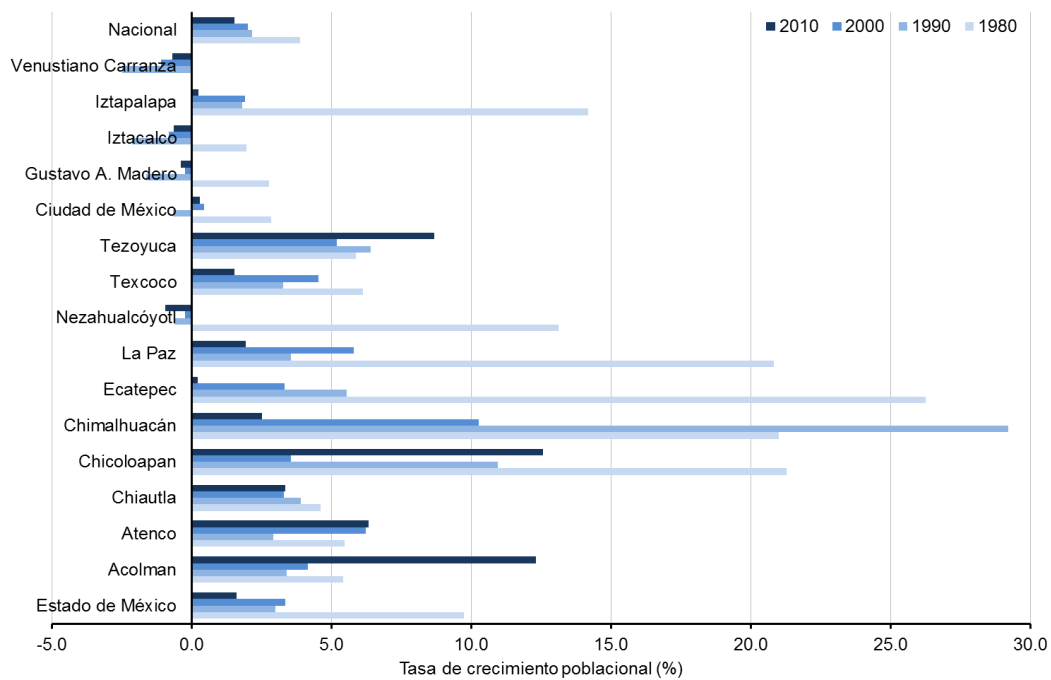
[§] Elaboración propia con información del INEGI obtenida de la página web: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>.

Tomando en cuenta la información poblacional de los censos directos realizados por el INEGI en 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010, resultó que en este periodo la Ciudad de México ha mantenido su población muy estable, con una tasa de crecimiento demográfica anual promedio del 0.7%, menor a la del Estado de México (4.4%), mismo

que mostró una tasa de crecimiento mayor a la nacional (2.4%) (Tabla IV–35; Figura IV–102).

A nivel de la Ciudad de México, el comportamiento del crecimiento poblacional resultó con una variabilidad significativa entre Delegaciones. Por un lado, la delegación de Iztapalapa creció a una tasa promedio anual del 4.5% en el periodo arriba mencionado, cuando las delegaciones de Venustiano Carranza e Iztacalco mostraron un decrecimiento demográfico, con una tasa de -1.4 y -0.4%, respectivamente; incluso, en el 2010 su población resultó ser menor a la que se tenía en 1970, para el caso de Iztacalco, y en 1980, para la Venustiano Carranza.

En el Estado de México se ha tenido un cambio poblacional más dinámico, a nivel estatal y a nivel de los municipios involucrados en el SAR del proyecto. De los 10 municipios, solo tres resultaron con una tasa de crecimiento promedio anual menor a la estatal, siendo éstos Nezahualcóyotl (2.8%), Chiautla (3.8%) y Texcoco (3.9%) (Tabla IV–35). Por otro lado, los municipios de Chimalhuacán, Chicoloapan y Ecatepec de Morelos han mostrado una tasa de crecimiento poblacional de 15.7, 12.1 y 8.8%, respectivamente, todas muy por arriba de la estatal y la nacional (Figura IV–102). De éstos, Ecatepec en 1990 aún tuvo una tasa de crecimiento al alza, pero a partir del 2000 ésta ha venido decreciendo; en Chimalhuacán se tuvo una tasa de crecimiento hasta el 2000, ya en el 2010 ésta decreció (Figura IV–102). Caso diferente es el municipio de Chicoloapan, en el 2010 aún mostró una tasa de crecimiento superior a las dos décadas anteriores. En este municipio su población pasó de 77,579 en el 2000 a 175,053 habitantes en el 2010.



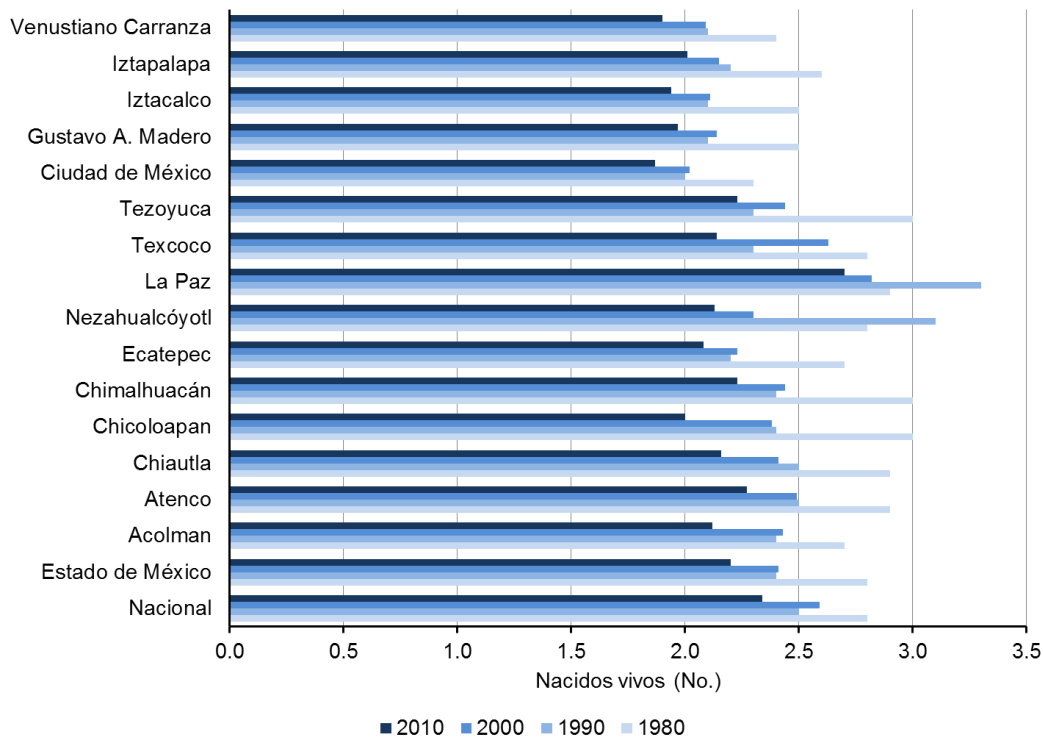
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

Figura IV—102. Tasa de crecimiento demográfica promedio anual, por década, considerando los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010.

IV.2.3.2.2 Variables de la dinámica poblacional

La dinámica poblacional considera los nacimientos, defunciones y la migración. Con base en la información de los últimos cuatro censos poblacionales directos realizados por el INEGI, el número de niños nacidos vivos en mujeres mayores de 12 años de edad ha sido mayor el promedio nacional (2.6 niños) que el del Estado de México (2.5 niños) y la Ciudad de México (2.0) (Figura IV–103). Y, a nivel municipal y delegacional, las delegaciones de la Ciudad de México tuvieron menor promedio de nacimientos vivos (2.2 niños) que en los municipios del Estado de México (2.5 niños). De éstos municipios, La Paz es el que tiene el mayor promedio de niños nacidos vivos (2.9) y Ecatepec de Morelos el menor (2.3). Cabe resaltar la disminución que han tenido los

municipios de Chicoloapan, Chimalhuacán y Tezoyuca que pasaron de tener 3.0 niños nacidos vivos por mujer mayor de 12 años a 2.0 en Chicoloapan y 2.2 en los otros dos municipios en el 2010.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

Figura IV—103. Número de niños nacidos vivos promedio anual considerando mujeres mayores de 12 años, por década, con base en los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1980, 1990, 2000 y 2010.

Por otro lado, como es sabido, el centro del país es una zona que atrae a habitantes de otros estados y, en menor grado, a gente de otros países para venir a buscar otras opciones para mejorar su calidad de vida. Normalmente se considera a la zona conurbada de la Ciudad de México, junto con las ciudades de Guadalajara y Monterrey, como los lugares donde se tienen más y mejores opciones de trabajo y con más y mejores servicios, por lo que funcionan como puntos de atracción. Esto ha repercutido

en el incremento poblacional de la zona metropolitana, llegando a tener mayor impacto este fenómeno que la natalidad en su crecimiento demográfico.

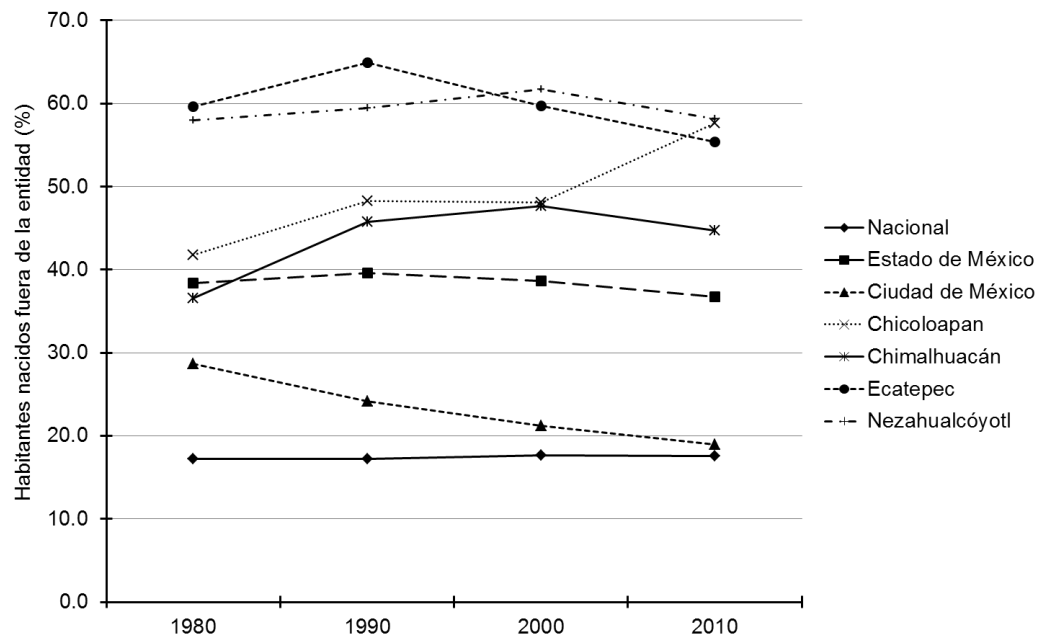
En los últimos cuatro censos poblacionales directos realizados por el INEGI resultó que la proporción de nacidos fuera de la entidad ha sido muy estable a nivel nacional (entre 17.2 y 17.7%); igual comportamiento ha mostrado la población en el Estado de México, pero siendo mayor a la nacional (36.7 – 39.6%) (Tabla IV–36). En la Ciudad de México esta variable ha mostrado mayor variabilidad, resultando que en 1980 el 28.7% de la población era no nacida en la entidad (2'533,256 habitantes), bajando al 19.0% en el censo del 2010 (1'679,045 habitantes).

En las delegaciones de la Ciudad de México esta variable muestra la misma tendencia que en la Ciudad de México, siendo mayor en 1980 y disminuyendo en las subsecuentes con un promedio general del 23.1% de su población (Tabla IV–36). Por otro lado, resaltan los municipios de Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y La Paz que tienen un porcentaje mayor del 50% perteneciente a habitantes no nacidos en la entidad, siendo Chicoloapan el que mostró mayor incremento en las dos últimas décadas, pasando del 48.1% (37,321 habitantes) al 57.7% (100,938 habitantes).

Tabla IV-36. Población no nacida en la entidad (%) con respecto al total de habitantes resultado de los censos directos realizado por el INEGI.

Entidad	1980	1990	2000	2010	Promedio
Nacional	17.2	17.2	17.7	17.6	17.4
Estado de México	38.4	39.6	38.6	36.7	38.3
Acolman	22.1	23.2	27.1	39.4	27.9
Atenco	7.8	10.4	21.6	26.3	16.5
Chiautla	11.1	13.9	17.5	17.2	14.9
Chicoloapan	41.7	48.3	48.1	57.7	49.0
Chimalhuacán	36.5	45.7	47.7	44.7	43.7
Ecatepec	59.6	64.9	59.7	55.4	59.9
Nezahualcóyotl	58.0	59.5	61.7	58.2	59.3
La Paz	52.5	46.6	50.5	50.5	50.0

Entidad	1980	1990	2000	2010	Promedio
Texcoco	20.7	24.4	28.6	27.7	25.3
Tezoyuca	18.6	25.4	31.9	36.7	28.1
Ciudad de México	28.7	24.2	21.2	19.0	23.3
Gustavo A. Madero	30.4	24.4	21.5	19.8	24.0
Iztacalco	29.0	22.4	19.1	16.4	21.7
Iztapalapa	30.6	25.7	23.1	21.2	25.2
Venustiano Carranza	28.8	22.1	18.5	16.0	21.4

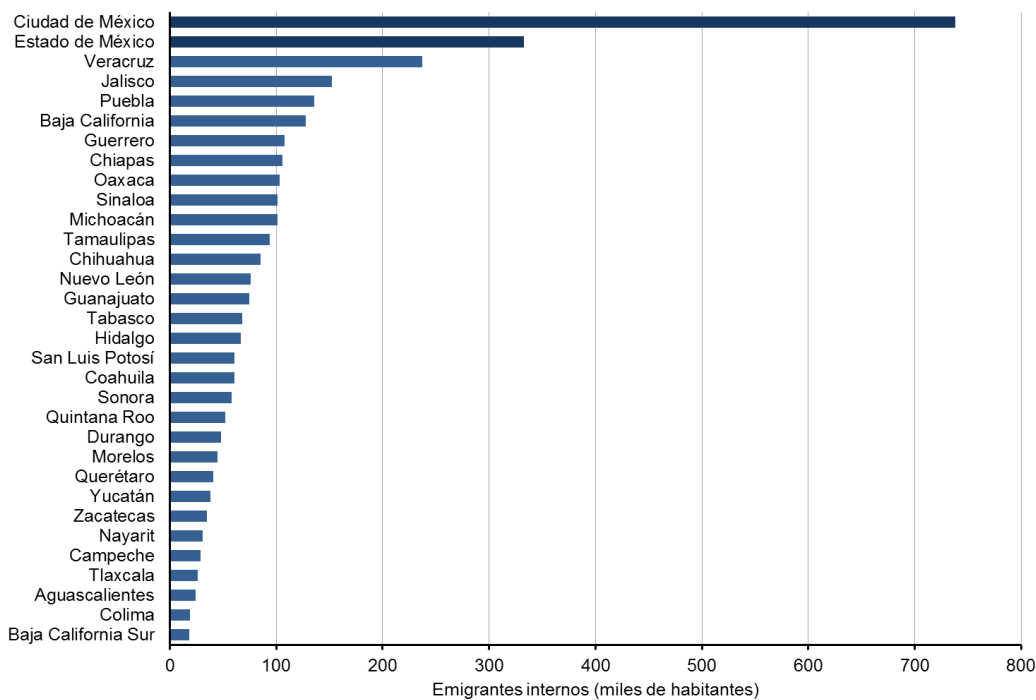


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>

Figura IV—104. Proporción de habitantes nacidos fuera de la entidad con respecto al total de habitantes, por década, considerando los censos poblacionales directos realizados por el INEGI en 1980, 1990, 2000 y 2010.

No obstante que ambas entidades federales se consideran por la población nacional como opciones importantes para buscar otras alternativas para mejorar su calidad de vida, su población también emigra a otros estados y fuera del país en búsqueda de otras alternativas. Debido a la magnitud de estos movimientos poblacionales tienen una

gran significancia en la dinámica poblacional. En relación con la emigración interna, la Ciudad de México y el Estado de México son las entidades que tuvieron una mayor emigración interna en el periodo 2005 – 2010, periodo en el que se registró un movimiento interno de 3.29 millones de migrantes (Consejo Nacional de Población et al., 2012) (Figura IV–105). De este total, el 22.4% fueron pobladores de la Ciudad de México y el 10.1% del Estado de México.



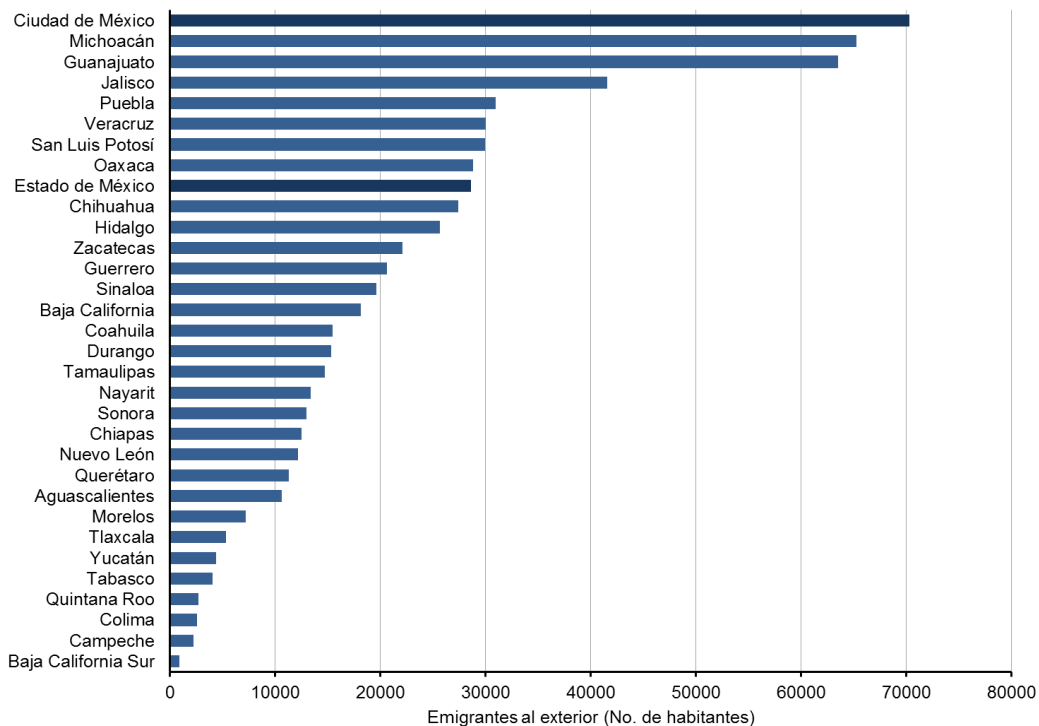
Fuente: Consejo Nacional de Población et al. (2012).

Figura IV—105. Emigración interna por entidad federativa en el periodo 2005 – 2010.

Como es ampliamente conocido y documentado, México es un país expulsor de su población, ocupando el 2° lugar mundial con población viviendo fuera del país, solo por debajo de la India (Consejo Nacional de Población et al., 2012, 2015; Tépatch, 2015) (Figura IV–106). En el periodo del 2000 al 2013, México tuvo una tasa migratoria anual promedio del 2.1% (Tépatch, 2015); siendo los Estados Unidos el país preferido por los

mexicanos para emigrar. En el año 2015, el 97.66% de la población nacional que emigró lo hizo hacia ese país, muy por debajo estuvieron Canadá y España, en el 2° y 3^{er}. puesto de preferencia con el 0.76 y 0.38%, respectivamente (Consejo Nacional de Población et al., 2015).

Entre el 2009 y el 2014, la Ciudad de México ocupó el primer lugar en cuanto flujo de emigrantes al extranjero con el 10.48% de los 670,810 emigrantes nacionales, seguidos por los estados de Michoacán y Guanajuato con el 9.73 y 9.47% de emigrantes (Consejo Nacional de Población et al., 2015) (Figura IV–106). El Estado de México ocupó el 9° lugar nacional con población que emigró fuera del país (28,622 emigrantes; 4.27% de la población total).



Fuente: Consejo Nacional de Población et al. (2015).

Figura IV—106. Emigrantes mexicanos, por entidad federativa, hacia el exterior entre el 2009 y el 2014.

Con base en la información de las matrículas consulares de mexicanos en Estados Unidos, de los emigrantes mexicanos originarios de la Ciudad de México en el 2014, las delegaciones con mayor representación numérica de total de emigrantes de esta entidad eran: Gustavo A. Madero (15.3%), Cuauhtémoc (12.5%), Iztapalapa (11.9%), Álvaro Obregón (10.4%) y Azcapotzalco (9.1%) (Consejo Nacional de Población et al., 2015). En este mismo análisis, los emigrantes del Estado de México viviendo en los Estados Unidos resultaron mayoritariamente de Nezahualcóyotl (9.8%), Tejupilco (9.2%) y Ecatepec de Morelos (5.9%).

Para evaluar la intensidad migratoria de mexicanos en Estados Unidos y su impacto a nivel regional a través de un valor que involucrara aspectos demográficos y económicos, usando a la vivienda como unidad de análisis, el CONAPO construyó el “índice de intensidad migratoria”, el cual se calcula considerando la información específica de:

- Hogares con emigrantes durante el quinquenio a evaluar que permanecían en Estados Unidos en la fecha del levantamiento censal;
- Hogares con emigrantes en el quinquenio a evaluar que regresaron al país durante el mismo periodo;
- Hogares con integrantes que residían en Estados Unidos al inicio del periodo a evaluar y regresaron a vivir a México antes del levantamiento censal.
- Hogares que reciben remesas.

De la estimación del “índice de intensidad migratoria” realizado por el CONAPO (2012), usando los resultados del censo poblacional directo del 2010, todas las delegaciones, y la Ciudad de México misma, se clasificaron con una “muy baja” intensidad migratoria, con menos del 1% de viviendas con emigrantes (Tabla IV–37). Y, a pesar de que el Estado de México ocupó el 4° lugar nacional con migrantes en Estados Unidos en el periodo 2005 – 2010 (Tépach, 2015), solo el 1.04% de las viviendas totales resultaron

tener emigrantes, ocupando el 24° lugar nacional en este rubro, clasificándose con un grado de intensidad migratoria “bajo” (CONAPO, 2012).

De los municipios inmersos en el SAR delimitado para el proyecto, cuatro de ellos resultaron con un grado de intensidad migratorio “bajo”, siendo los de mayor tasa promedio de crecimiento anual: Acolman, Chicoloapan, Chimalhuacán y La Paz (Tabla IV–37). Los seis municipios restantes resultaron con un grado de intensidad migratoria “muy bajo”.

Tabla IV-37. Total de viviendas y grado de intensidad migratoria en las entidades involucradas en el sistema ambiental regional del proyecto.

Entidad	Viviendas totales (No.)	Viviendas con emigrantes (%)	Viviendas que reciben remesas (%)	Grado de intensidad migratoria	Lugar estatal	Lugar nacional
Estado de México	3,723,607	1.04	1.55	Bajo		24
Acolman	33,032	1.51	2.44	Bajo	47	1,677
Atenco	12,478	0.73	0.39	Muy bajo	77	1,967
Chiautla	5,715	0.17	0.67	Muy bajo	124	2308
Chicoloapan	44,359	0.66	2.58	Bajo	50	1,712
Chimalhuacán	142,060	1.12	1.41	Bajo	41	1624
Ecatepec	411,686	0.85	1.57	Muy bajo	73	1953
Nezahualcóyotl	292,576	0.75	1.29	Muy bajo	91	2,060
La Paz	61,536	1.22	1.81	Bajo	52	1731
Texcoco	56,496	0.73	1.42	Muy bajo	69	1933
Tezoyuca	8,518	0.54	1.04	Muy bajo	111	2,154
Ciudad de México	2,450,563	0.62	1.17	Muy bajo		29
Gustavo A. Madero	320,668	1.11	1.07	Muy bajo	11	2099
Iztacalco	101,529	0.7	1.08	Muy bajo	5	2,064
Iztapalapa	460,324	0.7	1.26	Muy bajo	6	2,078
Venustiano Carranza	123,638	0.6	1.34	Muy bajo	12	2,113

De la dinámica poblacional analizada, se puede considerar que la baja tasa de crecimiento promedio anual que ha resultado en los últimos años en la Ciudad de

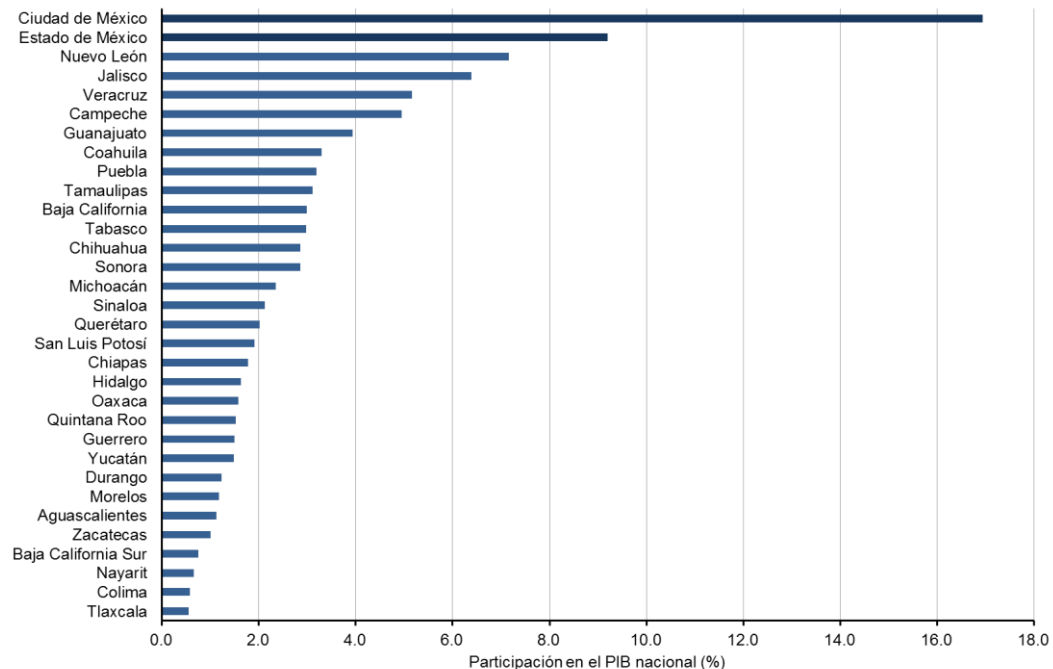
México y en sus delegaciones está determinada tanto por una baja en la tasa de natalidad y en la emigración interna y externa que se vive. Según el Consejo Nacional de Población et al. (2012), la Ciudad de México resultó con un balance población migratorio negativo (-6.3%) durante el periodo 2005 – 2010. Y, por otro lado, el Estado de México también ha tenido una disminución en su tasa de natalidad, pero sin llegar a ser tan significativo como el de la Ciudad de México y ni el nacional. Además, su población también muestra una mayor tasa de crecimiento poblacional, lo que se ve favorecido por la migración interna que arroja un saldo neto migratorio de 1.9% y una menor emigración internacional (Consejo Nacional de Población et al., 2012, 2015).

Es claro que el fenómeno migratorio tiene efectos positivos y negativos que impactan a nivel regional, estatal y nacional, en temas culturales, laborales, políticos y económicos. Por un lado, a nivel poblacional provoca cambios en la estructura, dinámica y tamaño de los hogares, cambios en la forma de vida de la población, altera las estructuras demográficas, por sexo y edades de la población, modificando las tasas de natalidad y mortalidad entre regiones receptoras y expulsoras, y la fuerza laboral entre regiones. Por otro lado, es innegable el beneficio que representan las remesas como soporte económico, no solo de las familias receptoras sino también en la economía regional, estatal y nacional.

IV.2.3.2.3 Economía regional

La gran actividad industrial y comercial de los estados del centro del país, principalmente de la Ciudad de México y del Estado de México, funcionan como un motor del desarrollo económico nacional de tiempo atrás. Esto se ve reflejado en la participación que estas entidades federales tienen en la generación del PIB nacional. De acuerdo con información del INEGI, en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>, entre la Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León y Jalisco generaron en promedio el

39.7% del PIB entre el 2005 y el 2015, donde el primero participó con el 16.9% de esta cifra (Figura IV–107).



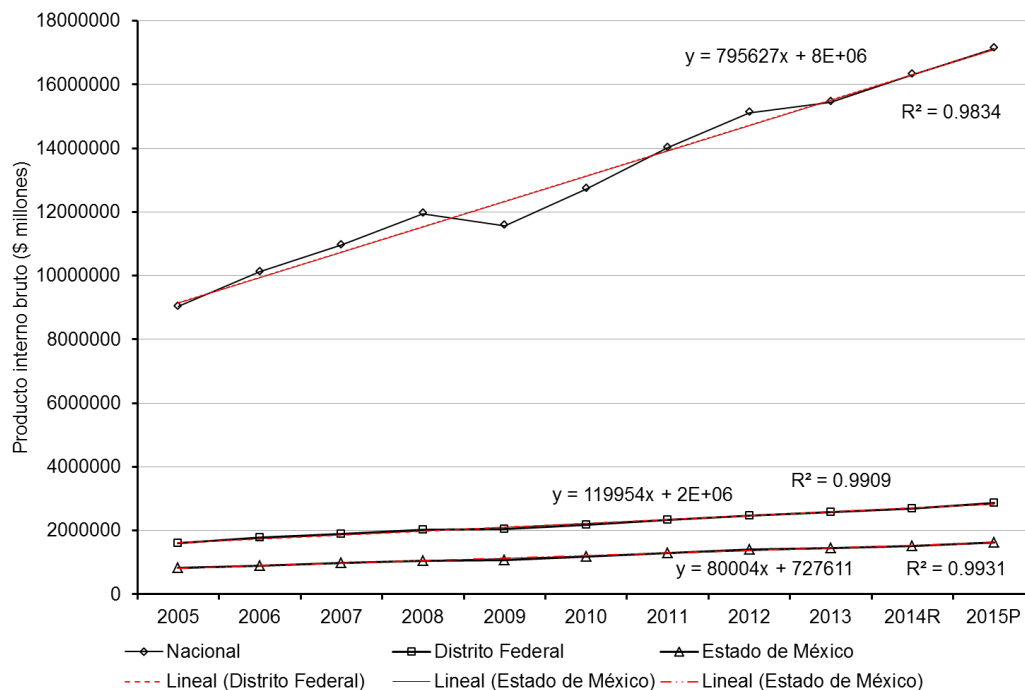
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>.

Figura IV—107. Participación por entidad federativa en la generación del PIB nacional promedio entre 2005 y 2015. Para el año 2014 se utilizaron cifras revisas y para el 2015 datos preliminares.

El crecimiento del PIB nacional del 2005 al 2015 tuvo un crecimiento lineal con una caída en el 2009 debido a la crisis de 2008. En el 2010 mostró una recuperación, la cual no fue suficiente para retomar el ritmo que traía previo a la crisis y, si bien en el 2012 y 2013 se logró su estabilización, el crecimiento no ha sido al mostrado previo al 2008 (Figura IV–108). Lo antes mencionado se refleja en la tasa de crecimiento anual entre el 2005 y el 2015, en la que tuvo un crecimiento de 6.7%, cuando entre el 2005 y el 2008 la tasa promedio anual fue del 9.5%. La Figura IV–108 deja ver que a partir del

2008 el PIB nacional sufrió un cambio en la tendencia de su crecimiento, la cual no ha podido recuperarse.

Por otro lado, se puede ver que la crisis de 2008 tuvo un menor impacto en el PIB de la Ciudad de México y del Estado de México, si bien tuvo una caída en su tasa de crecimiento anual en el 2009, está no llegó a tener un valor negativo como sucedió a nivel nacional (0.3, 1.1 y -3.1%, respectivamente).

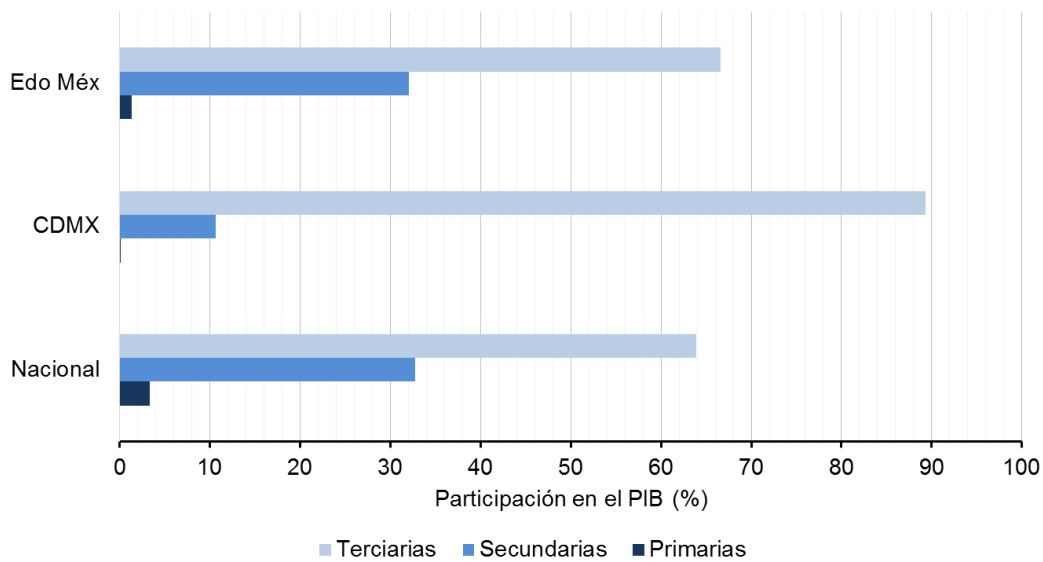


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>.

Figura IV—108. Crecimiento del PIB a nivel nacional y de la Ciudad de México y Estado de México, y su tendencia de crecimiento, entre 2005 y 2015. Para el año 2014 se utilizaron cifras revisas y para el 2015 datos preliminares.

Con base en la información preliminar del 2015, el sector terciario, relacionado con las actividades de comercio, comunicaciones, finanzas, salud, investigación, turismo,

hostelería, cultura, espectáculos y administración pública, es el que mayor aporta al PIB nacional y de la Ciudad de México y Estado de México (Figura IV–109). Sin embargo, la participación de este sector en el PIB de la Ciudad de México es mucho más significativo que para el caso del Estado de México y del nacional (89.31, 66.59 y 63.87%, respectivamente).

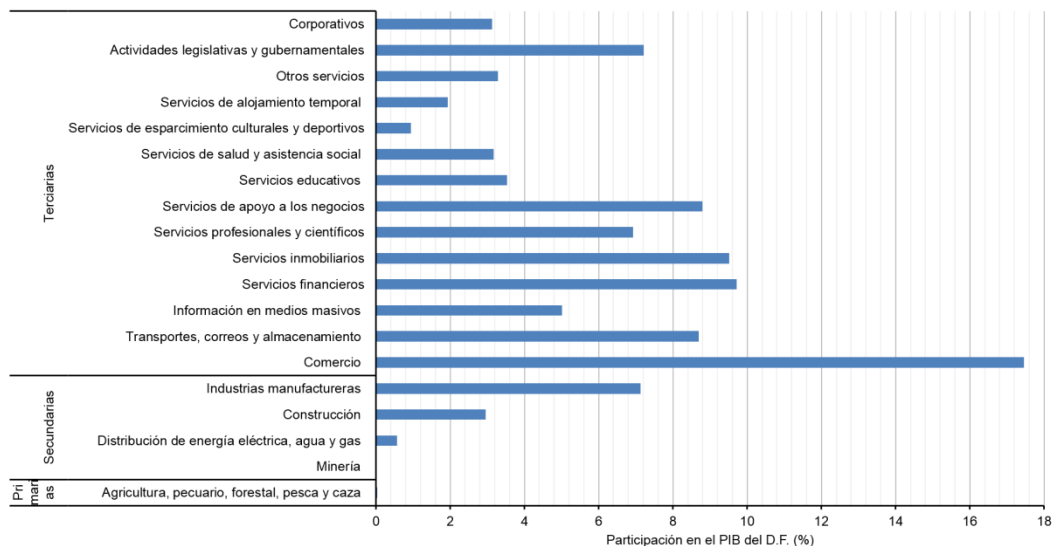


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>.

Figura IV—109. Participación de los sectores productivos en el PIB nacional y de la Ciudad de México y Estado de México para el año de 2015 (con información preliminar).

Para el caso de la Ciudad de México resultó que las actividades del sector terciario que más aportaron al PIB en el 2015 fueron comercio (17.46%), servicios financieros (9.71%), servicios inmobiliarios (9.52%), servicios de apoyo a los negocios (8.79%) y transportes, correos y almacenamiento (8.7%), lo que en total representó el 54.18% del total (Figura IV–110). En este aspecto, sobresale la casi nula participación del sector primario (actividades agropecuarias) en la generación del PIB de la Ciudad de México (0.04%). A partir de la crisis de 2008, algunas actividades del sector secundario y

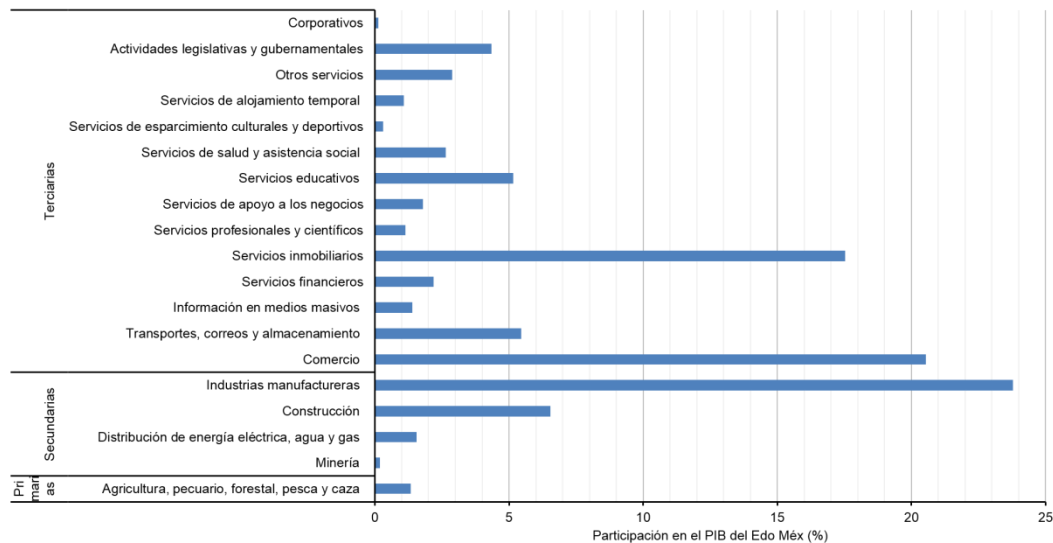
terciario tuvieron una caída en su participación sin que se hayan podido recuperar y, en algunos casos, siguen cayendo, entre éstas están: construcción, industrias manufactureras, industria alimentaria, bebidas y tabaco, industrias metálicas y fabricación de textiles. Y, por otro lado, se ha incrementado la participación de actividades relacionadas con el comercio, corporativas, legislativas y gubernamentales y de salud.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>.

Figura IV—110. Participación de las actividades productivas, por sector, en la generación del PIB de la Ciudad de México para el año de 2015 (con información preliminar).

Para el caso del Estado de México, las actividades del sector secundario y terciario que aportan más a la generación del PIB estatal son las clasificadas como: industrias manufactureras (23.79%), comercio (20.54%), servicios inmobiliarios (17.53%) y construcción (6.55%), las que en total aportan el 68.41% del PIB (Figura IV–111). Para el caso del Estado de México no se ha tenido una caída en la participación de las actividades en la generación del PIB como en el caso de la Ciudad de México, lo que no implica que sí se tenga variación en la participación entre años en varias de ellas.



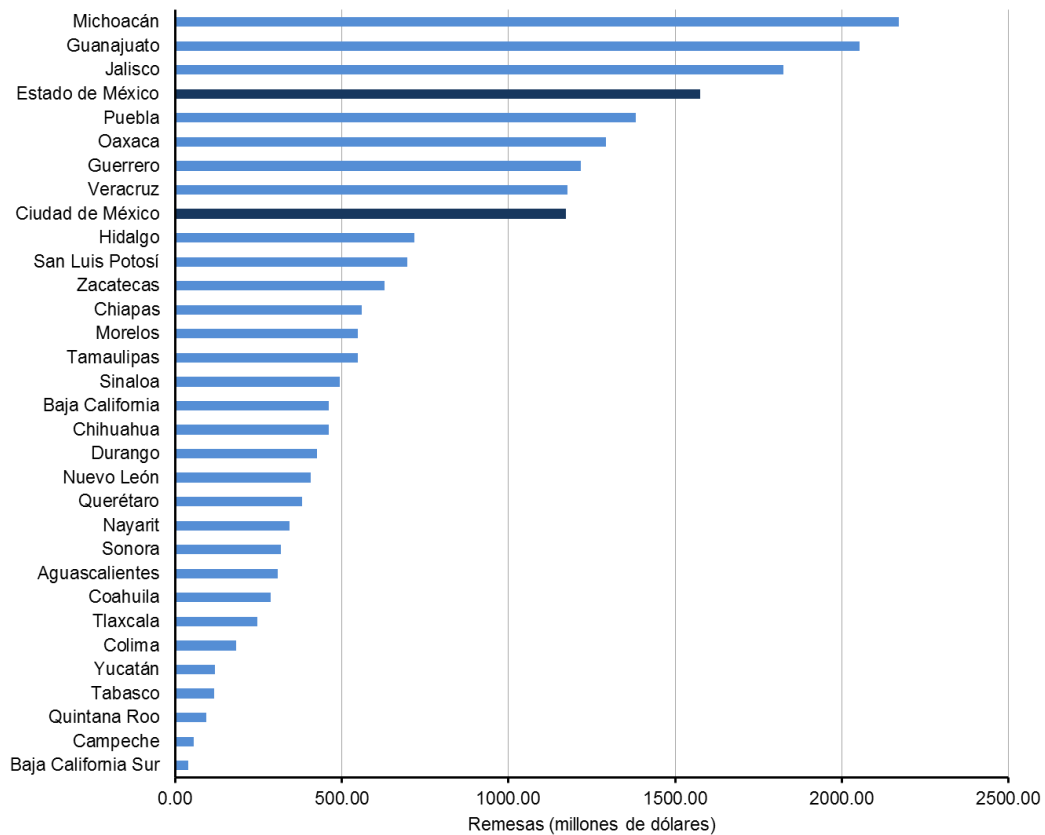
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>.

Figura IV—111. Participación de las actividades productivas, por sector, en la generación del PIB del Estado de México para el año de 2015 (con información preliminar).

IV.2.3.2.4 Participación de remesas en la economía

Normalmente se asocian los ingresos netos por concepto de remesas a la economía de una región con base al nivel de expulsión de la población de la región misma. Si la correlación anterior fuera positiva y significativa, se esperaría que los ingresos netos de remesas de la Ciudad de México fueran superiores a los captados por otras entidades, ya que en el periodo 2009 – 2014 fue la que registró mayor cantidad de emigrantes internacionales y, por el lugar 10, más o menos, se ubicaría el Estado de México (Figura IV–112). A pesar de ello, la Ciudad de México ocupó el noveno lugar en ingresos de remesas promedio anual en el periodo indicado (\$1,173.19 millones de dólares), siendo mayor la captación del Estado de México por \$402.74 millones de dólares. Caso contrario resultó ser el de los estados de Michoacán, Guanajuato y Jalisco, quienes ocuparon los lugares 2°, 3° y 4° en número de emigrantes

internacionales, respectivamente, y ocuparon los tres primeros sitios en cuanto a captación de remesas.

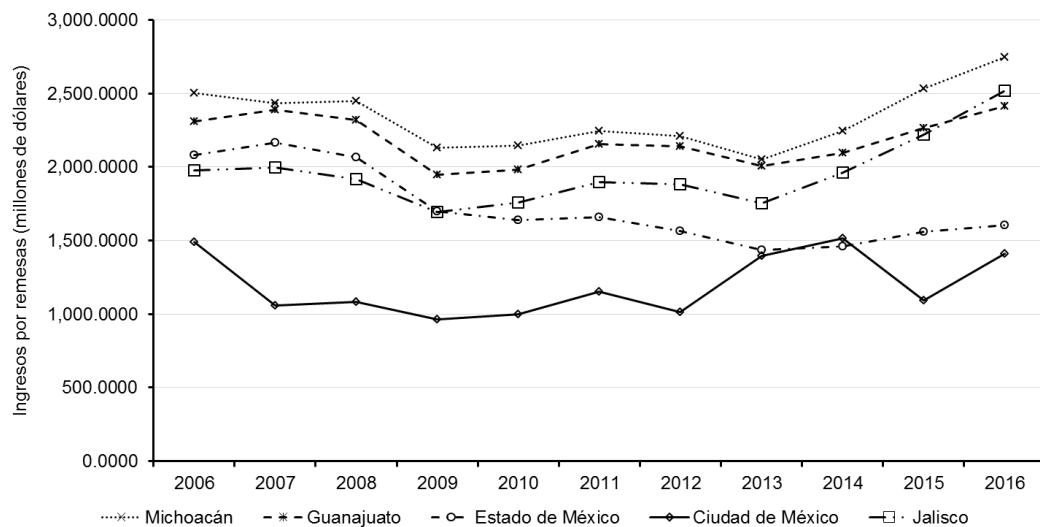


Fuente: Elaboración propia con información del BANXICO, en: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE100>.

Figura IV—112. Ingreso promedio anual de remesas, por entidad federativa, en el periodo 2009 – 2014.

El ingreso de remesas en la Ciudad de México cayó drástica y significativamente en el 2006, siendo hasta el 2013 – 2014 cuando llegó a los niveles alcanzados previos a la caída (Figura IV–113). El Estado de México también experimentó una caída en dichos ingresos, siendo menos abrupta pero más prolongada y, de hecho, al 2016 apenas se

alcanzaron ingresos similares a los obtenidos en el 2012. La caída en la captación de remesas en el Estado de México coincidió con las de los estados de Michoacán, Guanajuato y Jalisco, la cual se puede atribuir a la crisis del 2008, pero éstos estados mostraron una recuperación más rápida e, incluso, algunos en el 2016 rebasaron su captación a la que tenían previo a la crisis.

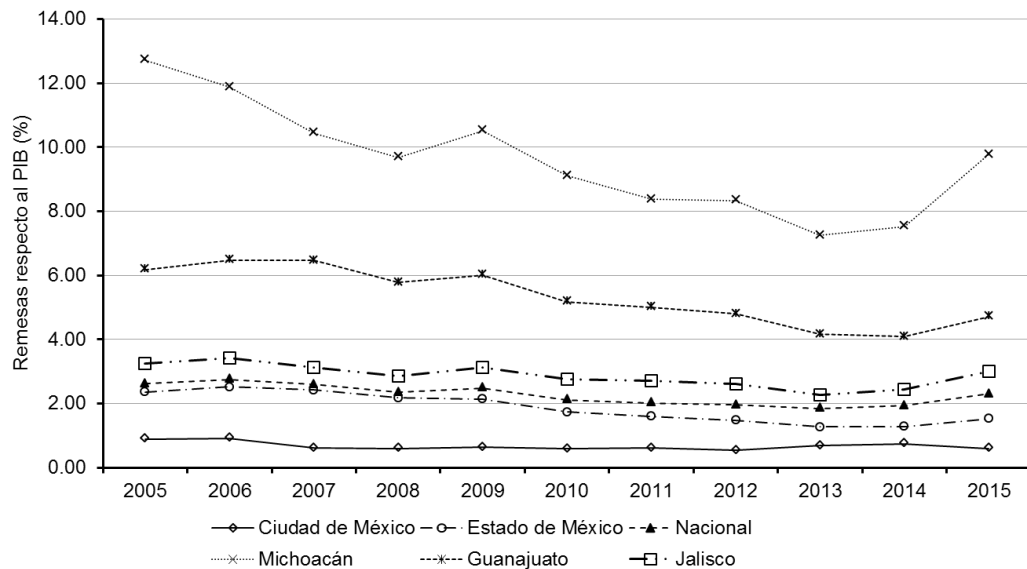


Fuente: Elaboración propia con información del BANXICO, en: <http://www.banxico.org.mx/SielInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE100>.

Figura IV—113. Ingreso promedio anual de remesas, por entidad federativa, en el periodo 2009 – 2014.

A la proporción de remesas respecto al PIB de las entidades se le conoce como “indicador de dependencia de remesas” y, en este rubro, el país tuvo un indicador promedio de 2.3% para el periodo del 2005 al 2015, con un rango que va del 1.8 al 2.8% (Figura IV–114). Los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca son los que resultaron con mayor dependencia de remesas, con indicadores del 9.6, 9.3 y 8.9%, respectivamente. En esta variable, la Ciudad de México es una de las entidades que resultó con una menor dependencia de remesas, con un indicador promedio para el periodo 2005 – 2015 del 0.7%, siendo el Estado de México ligeramente más

dependiente que la capital del país (1.9%). Campeche es el estado que muestra menor dependencia entre las 32 entidades, con un valor promedio del 0.1%.



Fuente: Elaboración propia con información del BANXICO e INEGI.

Figura IV—114. Indicador de dependencia de remesas (remesas recibidas como porcentaje del PIB) para el periodo 2005 – 2015 en las entidades seleccionadas.

IV.2.3.2.5 Educación

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) anualmente presenta los resultados de su evaluación del desempeño de los sistemas educativos de los países miembros y los asociados. México, como país miembro de la Organización, es monitoreado y evaluado su desempeño considerando los grandes temas: logro educativo, competencias y participación en el mercado laboral; equidad en la educación y el mercado laboral; financiamiento de la educación; la profesión docente; educación superior y posgrado (terciaria); y la educación preescolar a la educación media superior.

Respecto a los temas relacionados con el logro educativo y de la educación preescolar a la educación media superior y educación terciaria, México ha mostrado un significativo avance, pero sin llegar al nivel promedio de los países miembros de la OECD ni de los países miembros de la Comunidad Económica Europea considerados (EU). De 1997 al 2008, la población mexicana con estudios por debajo de la secundaria tuvo una tasa promedio anual de crecimiento de la población de -0.8%, con estudios superiores a los de secundaria (pero sin llegar a superior) del 1.9% y con educación superior del 1.8%; cuando el promedio de los países miembros de la OECD fue del -3.2, 0.8 y 3.4%, en el mismo orden (OECD, 2010). Para el año 2015, la OECD (2016) reporta que de la población mexicana de adultos que habían ido a la escuela, 15% no terminaron la primaria, 18% tienen nada más la primaria, 26% tiene la secundaria completa, 19% estudios superiores a la secundaria sin llegar a estudios superiores, 14% tienen estudios superiores, solo 1% con estudios de maestría y el 7% restante otros niveles. Comparando con el promedio de los países de la OECD se tienen valores del 2, 7, 15, 40, 16, 11 y 9%, para los rubros antes citados, en el mismo orden. El porcentaje de las personas de 25 a 34 años con educación superior aumentó 8% entre 2000 y 2014 (de 17% a 25%), en tanto que en promedio en los países de la OECD aumentó en 15 puntos porcentuales (de 26% a 41%).

De lo anterior se puede ver que, si bien ha tenido avances en temas educativos, aún muestra rezagos, entre los que sobresalen la alta proporción de la población que no tiene mínimamente estudios de primaria, así como la baja proporción de habitantes con nivel de maestría.

Con base en la información de los censos directos realizados por el INEGI en las últimas cuatro décadas, se puede observar que la Ciudad de México y sus delegaciones han sido las que han mostrado un mayor progreso en la reducción de la proporción de habitantes mayores de 15 años sin educación media. En estas entidades, el avance más significativo se tuvo en la década de los 80's, con resultados que se vieron reflejados en el censo de 1990, donde hubo un incremento en la

proporción de la población mayor de 15 años con educación media terminada de entre el 17.9 y 25.1% (Tabla IV–38). Para el censo de 1980, la Ciudad de México y las delegaciones inmersas en el SAR tenían entre el 80.8 y el 84.7% de habitantes mayores de 15 años sin educación media y, en el censo del 2010 esta proporción bajó al 45.4 – 55.6%, siendo Iztapalapa la que tiene el porcentaje más alto.

En el caso del Estado de México y sus municipios involucrados en el SAR delimitado para el proyecto, la reducción de la proporción de la población mayor de 15 años sin educación media ha sido más lenta y variable que en la Ciudad de México. También fue en la década de los 80's cuando los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl, Chiautla y Texcoco mostraron un mayor progreso. Posteriormente, en la década de los 90's se tuvo un progreso muy significativo, siendo entre el 2000 y el 2010 donde sobresale el avance de Chicoloapan, Chiautla y Ecatepec. En general, se puede decir que, en este rubro, en promedio, los municipios inmersos en el SAR, y el Estado de México mismo, han tenido un comportamiento similar al nacional.

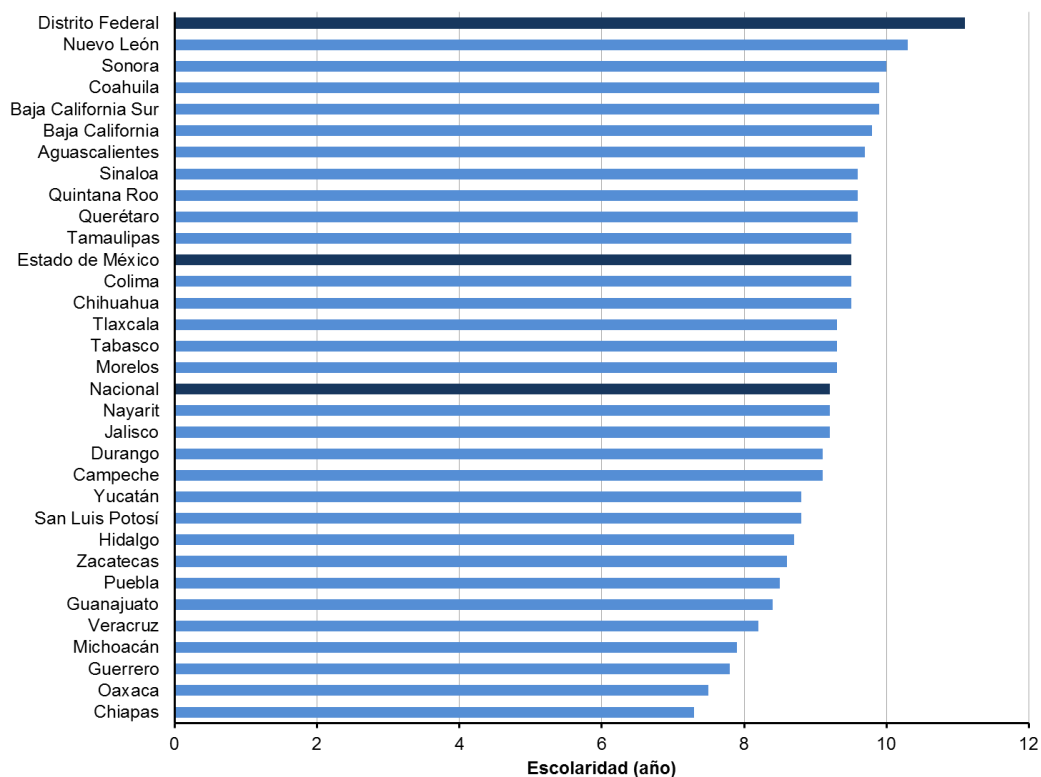
El cambio en la población adulta con estudios superiores (de técnico profesional a posgrado), también ha sido más importante en la Ciudad de México y sus delegaciones del SAR que en el Estado de México y sus municipios (Tabla IV–38). Esta variable, igual que la anteriormente analizada, en la Ciudad de México y las delegaciones tuvo un sobresaliente comportamiento en la década de los 80's; tan solo en la Ciudad de México pasó de haber el 1.7% al 11.5% de la población con estudios superiores entre los censos del 1980 y 1990. El avance en el Estado de México ha sido más lento, mostrando un comportamiento muy similar al nacional y, entre los municipios resaltan los resultados obtenidos en los municipios de Texcoco, Nezahualcóyotl y Ecatepec, que pasaron de entre 0.4 y 1.0% de la población con estudios superiores en 1980 a entre el 12 y 14%. Chimalhuacán, Tezoyuca y Atenco son las entidades con un mayor rezago en este rubro.

Tabla IV-38. Nivel educativo de la población estimado con el porcentaje de la población mayor de 15 años sin educación media y porcentaje de la población con estudios superiores respecto a la población total con base a los censos directos del INEGI[§].

Entidad	1980		1990		2000		2010	
	Sin educ. media	Superior	Sin educ. media	Superior	Sin educ. media	Superior	Sin educ. media	Superior
Nacional	81.2	0.7	74.4	5.05	71.6	7.0	63.6	11.5
Estado de México	80.9	0.7	72.3	5.22	69.1	6.6	60.9	11.4
Acolman	79.1	0.1	76.6	3.46	70.5	4.5	62.9	8.0
Atenco	83.2	0.1	75.9	1.85	74.3	3.9	67.9	6.8
Chiautla	86.5	0.2	75.2	1.84	70.6	5.6	61.4	9.9
Chicoloapan	77.7	0.1	82.2	0.90	74.5	3.8	58.5	9.1
Chimalhuacán	78.2	0.1	85.8	0.68	81.7	2.0	73.1	4.5
Ecatepec	85.6	0.4	69.5	2.92	67.2	6.2	57.3	12.0
Nezahualcóyotl	84.7	0.3	72.5	2.06	65.1	7.6	56.2	13.3
La Paz	82.7	0.1	79.6	1.28	72.8	4.5	65.5	7.8
Texcoco	79.6	1.0	69.1	2.43	62.1	8.8	55.6	14.0
Tezoyuca	82.3	0.3	74.2	3.32	71.5	4.2	67.7	6.4
Ciudad de México	80.8	1.7	58.1	11.45	54.1	14.4	46.4	21.1
Gustavo A. Madero	84.7	1.2	60.8	9.68	57.0	12.5	49.0	18.7
Iztacalco	84.7	1.1	59.6	9.93	54.4	13.3	45.4	20.4
Iztapalapa	84.7	0.9	66.8	6.75	62.4	8.7	55.6	13.6
Venustiano Carranza	84.2	1.3	58.6	10.52	54.4	13.1	45.9	19.7

[§] Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/cpvsh/>.

De acuerdo con la información de la encuesta intercensal del 2015 presentada por el INEGI (<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>), la Ciudad de México es la entidad que tiene el mayor grado de escolaridad promedio (11.1 años), seguido por Nuevo León y Sonora (10.3 y 10.0 años, respectivamente) (Figura IV–115). El Estado de México ocupa el lugar número 11, con 9.5 años, ligeramente arriba del promedio nacional (9.2 años).



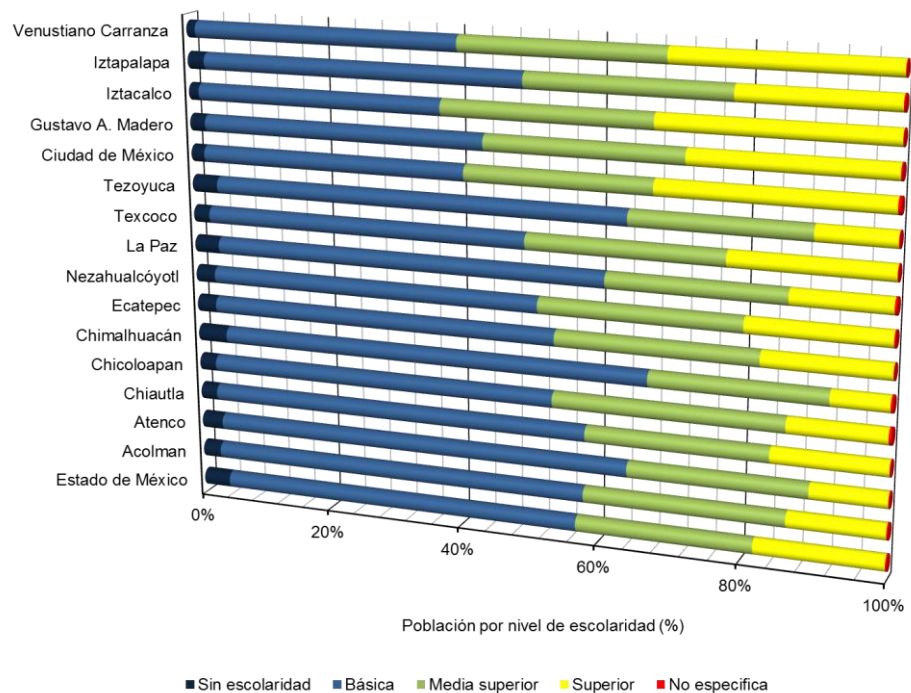
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>.

Figura IV—115. Promedio de escolaridad (grado) en las entidades y a nivel nacional según la información de la encuesta intercensal del INEGI del 2015.

Al 2015 el Estado de México, Chimalhuacán, Atenco y Tezoyuca aún mantienen una alta proporción de sus habitantes sin escolaridad y nivel básico, que en suma va de entre el 56.9 y 67.0% de su población (Figura IV–116). El municipio de Chimalhuacán es el que muestra más retraso con 4.4% de su población mayor de 15 años sin

escolaridad, 62.6% con escolaridad básica y solo el 8% con estudios superiores. De los municipios en el SAR, Texcoco es el que muestra mejores resultados con 2.4% de la población mayor de 15 años sin escolaridad y el 50.3% con educación media superior y superior.

La Ciudad de México y las delegaciones presentan mejores resultados que los anteriormente presentados. En general, en estas entidades la población mayor de 15 años con escolaridad media superior y superior fluctúa entre el 50.4 y 62.3%, siendo Iztapalapa la que tiene el menor porcentaje e Iztacalco el mejor nivel educativo.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2016a, 2016b).

Figura IV—116. Población por nivel de escolaridad en las entidades involucradas en el sistema ambiental del proyecto de acuerdo con la encuesta intercensal del INEGI del 2015.

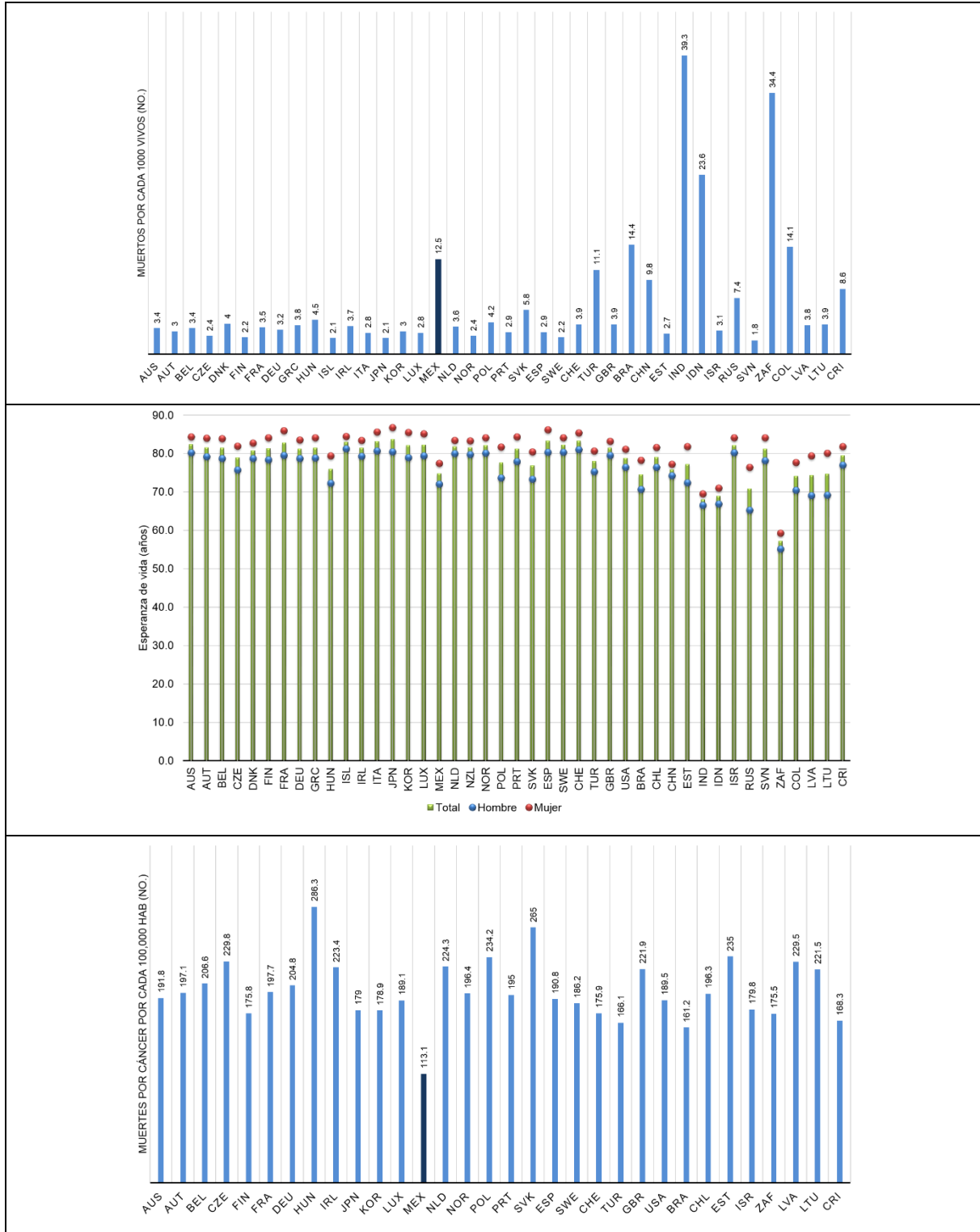
IV.2.3.2.6 Salud

Todas las poblaciones de seres vivos tienen como característica que son dinámicas, cada una con sus limitaciones, patrones, problemáticas y objetivos específicos. Debido a esta dinámica, se espera que para el año 2030 el 60% de la población humana a nivel mundial viva en zonas urbanas, cuando en el 2000 ésta representaba el 47% (UN, 2006). En México este recambio poblacional ha sido mayor ya que para el 2010 la población rural representaba solamente el 20.5% de la total (FAOSTAT, 2017).

Este efecto se evidencia en el incremento poblacional de los municipios del Estado de México inmersos en el SAR del proyecto, acorde con lo analizado en los apartados IV.2.3.2.1. y IV.2.3.2.2. del presente documento. Este movimiento poblacional no planeado trae como consecuencia el crecimiento urbano desordenado y, muchas veces, con problemas de hacinamiento y falta de servicios públicos básicos que impacta en la salud de la población (Soto-Estrada et al., 2016).

Ante este tipo de fenómenos, es prioritario diseñar e implementar programas y medidas sanitarias que ayuden a mitigar la morbilidad y mortalidad en la población. En este rubro, México ha tenido un gran progreso, sin embargo, aún faltan cosas por hacer como se ve cuando se analizan y comparan indicadores como esperanza de vida al nacer, esperanza de vida a los 65 años, tasa de mortalidad infantil y muertes por cáncer con respecto a otros países.

De acuerdo con información de la OECD, disponible en su página de internet <http://stats.oecd.org/>, México estuvo en el lugar 35 entre 40 países miembros y en adhesión para los indicadores de tasa de mortalidad infantil, con 12.5 muertos por cada 1,000 nacidos vivos, y esperanza de vida, con 74.8 años en promedio (Figura IV–117). Pero, por otro lado, en el 2013 tuvo la menor mortalidad por cáncer (113.1 muertes por cada 100,000 habitantes), y el tercer lugar con menor tasa de suicidios (5.2 por cada 100,000 habitantes).



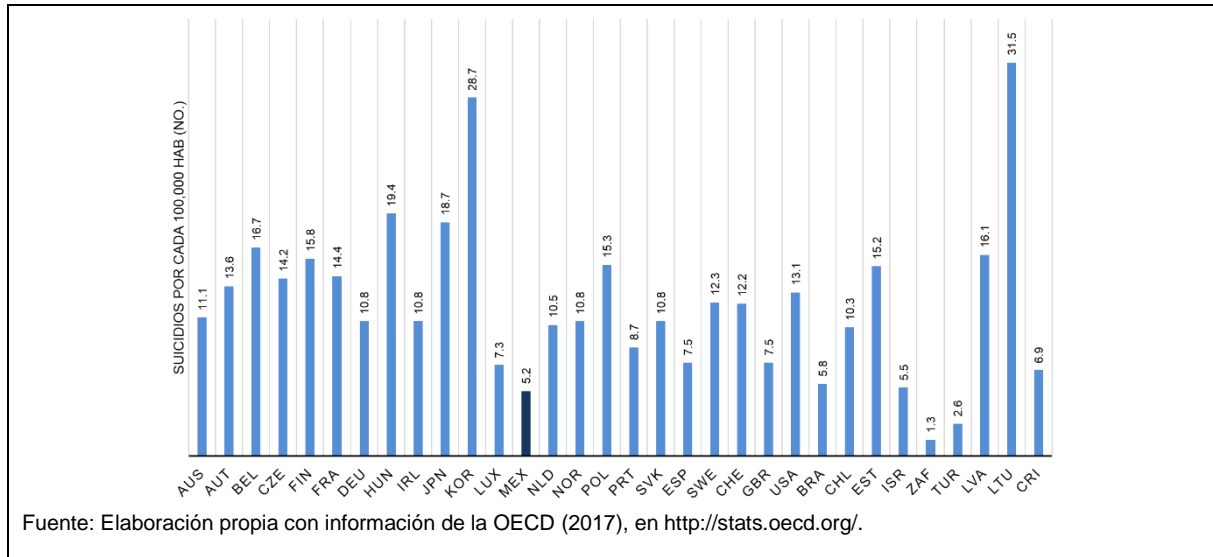
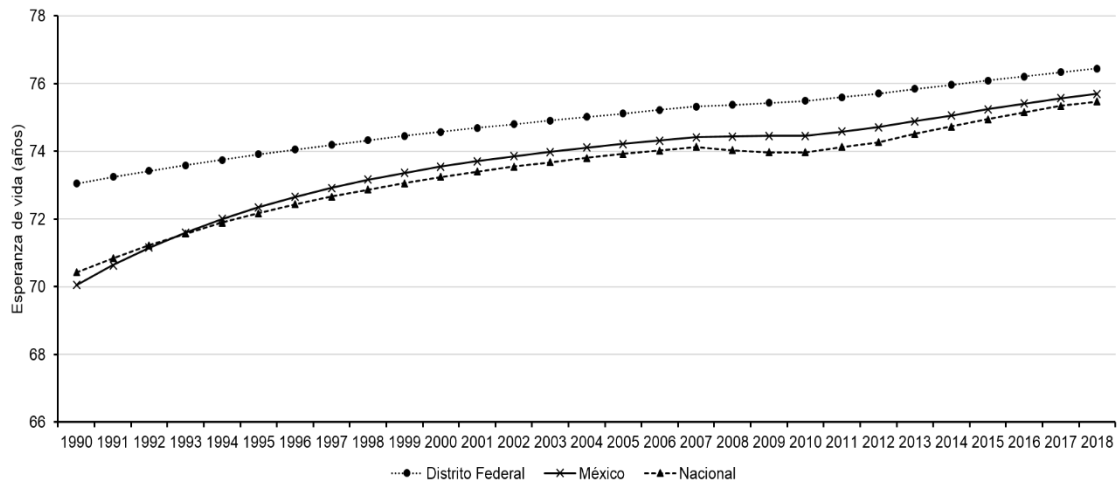


Figura IV—117. Comparación de los indicadores tasa de mortalidad infantil (muertos por cada 1000 nacimientos vivos, para el 2013), esperanza de vida (años, para el 2014), muertes por cáncer (muertes de cáncer por cada 100,000 habitantes, para el 2013) y tasa de suicidios (suicidios por cada 100,000 habitantes, para el 2013) en países miembros de la OECD y en adhesión.

La esperanza de vida es una de los indicadores que ha tenido un cambio significativo con la posibilidad de vivir el doble de años las personas que nacen actualmente con respecto a las de 1930, cuando la esperanza de vida era de 36.9 años (Soto- Estrada et al., 2016). Esta mejora en el indicador ha sido mayor y más significativo en el incremento en la Ciudad de México que a nivel nacional y en el Estado de México, según lo muestran los datos de la Secretaría de Salud en su liga en http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/sinais/indica_gral_gobmx.html. Como se muestra en la Figura IV–118, la diferencia en la esperanza de vida entre la Ciudad de México y las otras entidades era mayor en 1990, pero su tasa de crecimiento promedio anual ha sido menor, lo que ha ocasionado que esta diferencia se reduzca conforme pasa el tiempo.



Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de salud, en: http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/sinais/indica_gral_gobmx.html.

Figura IV—118. Esperanza de vida al nacer en las entidades que se encuentran formando parte del sistema ambiental del proyecto de 1990 al 2018, con proyección del 2013.

Por otro lado, Soto-Estrada et al. (2016) refieren que el incremento y dinámica poblacional, más los cambios en hábitos originados por drivers sociales y económicos, en los que se puede incluir mayor poder adquisitivo y cambio en los hábitos de consumo, las causas de muerte se han modificado y actualmente las enfermedades crónicas ocupan los primeros lugares. Por lo que, el gobierno ha tenido que implementar programas para mejorar las condiciones sanitarias de la población, así como en la aplicación de programas específicos de salud, entre los que se pueden mencionar el Programa Ampliado de Inmunizaciones (PAI), el Programa de Vacunación Universal (PVU) y los Programas Nacionales de Control de las Enfermedades Diarreicas y de las Infecciones Respiratorias Agudas.

A nivel nacional, en 1922 las primeras causas de mortalidad correspondían a enfermedades infecciosas o transmisibles, patrón que se conservó hasta los años cincuenta (Soto-Estrada et al., 2016). Es a partir de 1970 que se observó ya un claro

patrón en las causas de muerte en el que las enfermedades crónicas o no transmisibles comenzaron a posicionarse en los primeros lugares, entre éstas: enfermedades del corazón, enfermedades perinatales y tumores malignos, situación que ocurre hasta la fecha. A partir del año 2000 la diabetes mellitus se convirtió en la principal causa de muerte en los mexicanos, seguida de enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades del hígado y tumores malignos (Soto-Estrada et al., 2016).

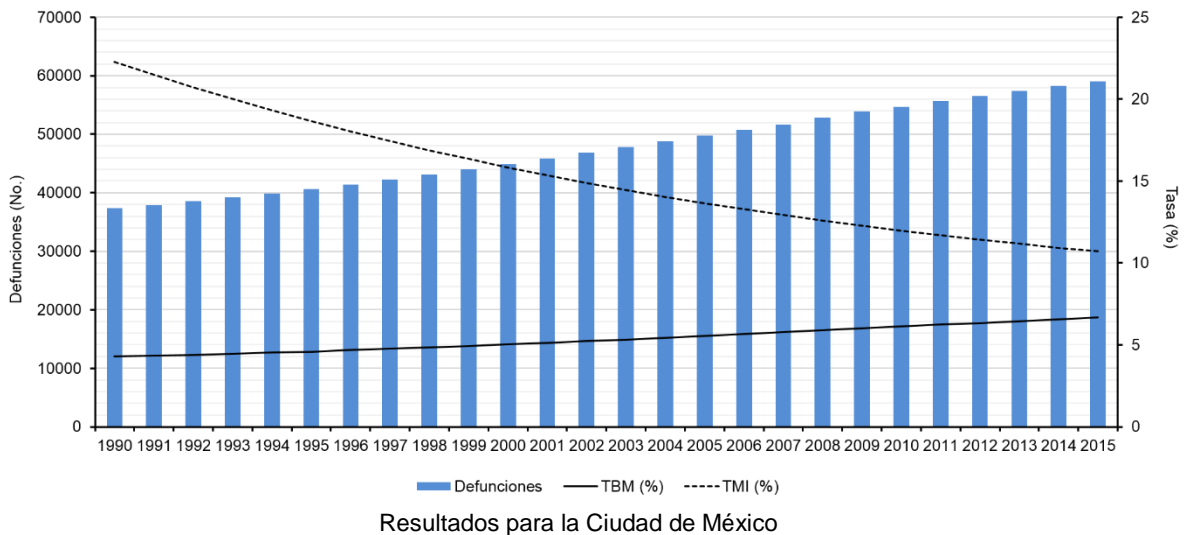
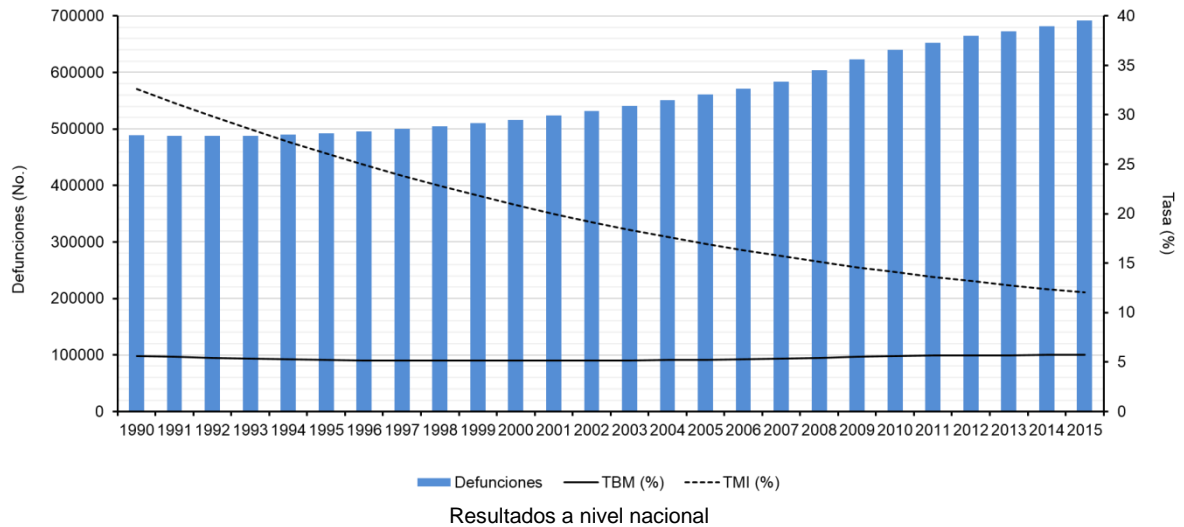
VARIABLES relacionadas con mortalidad generalmente también se usan para evaluar la eficiencia de las medidas sanitarias establecidas por los gobiernos en beneficio de la sociedad. En este caso se consideran resultados obtenidos entre 1990 y 2015 para los indicadores: número de defunciones, tasa bruta de mortalidad (por cada mil habitantes) y tasa de mortalidad infantil (por cada mil nacimientos) (Fuente: CONAPO, en http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem/index_2.html).

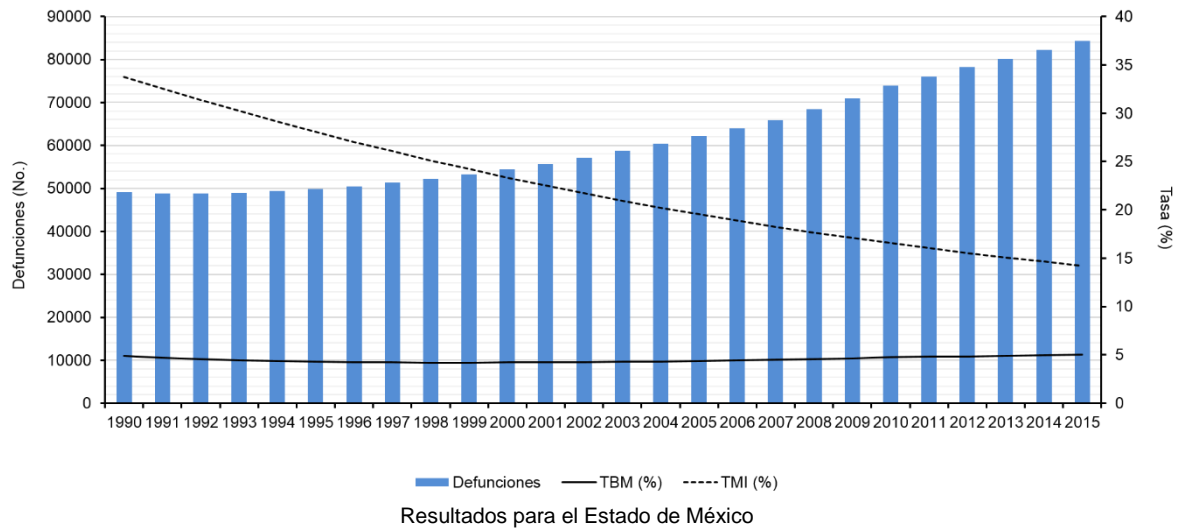
Respecto a defunciones, la Ciudad de México ha mostrado un comportamiento más estable, con una tasa anual de defunciones mayor entre el 200 y el 2009 (Figura IV–119). A nivel nacional, de 1990 a 1997 se tuvo poca variación en las defunciones, las cuales incrementaron rápidamente de 1998 al 2010. En este indicador el Estado de México ha tenido la mayor variación entre años, con la mayor tasa de crecimiento en 2010.

A nivel nacional y el Estado de México, la tasa bruta de mortalidad ha mostrado un comportamiento similar, de 1990 al 2000 iban a la baja; sin embargo, posteriormente empezaron a crecer, y ya para el 2010 – 2012 tenían tasas similares a las de 1990 (Figura IV–119). En la Ciudad de México, actualmente esta tasa es mayor entre 1 y 1.7 unidades porcentuales a la nacional y a la del Estado de México, cuando en 1990 tenía la menor tasa bruta de mortalidad de estas tres entidades (4.29%).

La tasa de mortalidad infantil es un indicador en el que aún se siguen viendo los efectos de las medidas sanitarias implementadas. En este rubro, la Ciudad de México I ha mantenido una menor tasa desde 1990, con el 22.28% de mortalidad infantil,

aproximadamente 10 y 11.5 unidades porcentuales menor a la nacional y Estado de México, respectivamente (Figura IV–119). Al 2015 la tasa de mortalidad infantil sigue siendo ligeramente menor en 1.32 y 3.51 unidades porcentuales a la nacional y del Estado de México.





Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO, en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem/index_2.html.

Figura IV—119. Defunciones, tasa bruta de mortalidad (TBM, por cada mil habitantes) y tasa de mortalidad infantil (TMI, por cada mil nacimientos) a nivel nacional, Ciudad de México y Estado de México entre 1990 y 2015.

En 2015 las enfermedades infecciosas respiratorias, de vías urinarias e intestinales fueron los principales padecimientos tanto a nivel nacional como en la Ciudad de México y el Estado de México con el 80.6, 80.2 y 84.1% de los casos de los principales padecimientos (Secretaría de Salud, en: http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/principales_nacional.html) (Tabla IV–39). De estos tres padecimientos, las infecciones respiratorias son, por mucho, las principales causantes de enfermedades en las tres entidades, 58.4% a nivel nacional, 56.5% en la Ciudad de México y 61.3% en el Estado de México. En estas tres entidades, la diabetes mellitus (Tipo II) y la hipertensión arterial también son causa de enfermedades, siendo entre el 0.9 y 1.1% de las causas.

Tabla IV-39. Veinte principales causas de enfermedades en el 2015, y número de casos, a nivel nacional, Ciudad de México y el Estado de México[§].

Padecimiento	Nacional		Ciudad de México		Estado de México	
	Casos (No.)	Proporción (%)	Casos (No.)	Proporción (%)	Casos (No.)	Proporción (%)
Infecciones respiratorias	23755831	58.4	1663662	56.5	2966006	61.3
Infección de vías urinarias	4098042	10.1	356054	12.1	507881	10.5
Infecciones intestinales	4899424	12.0	342870	11.6	596567	12.3
Gingivitis y periodontales	1146950	2.8	106402	3.6	80415	1.7
Úlceras, gastritis y duodenitis	1429474	3.5	97012	3.3	161994	3.3
Conjuntivitis	835313	2.1	70372	2.4	93068	1.9
Obesidad	472012	1.2	50698	1.7	54402	1.1
Vulvovaginitis aguda	477644	1.2	32039	1.1	71325	1.5
Otitis media aguda	614253	1.5	31224	1.1	45295	0.9
Hipertensión arterial	440322	1.1	27824	0.9	46868	1.0
Diabetes mellitus (Tipo II)	369146	0.9	27638	0.9	52291	1.1
Insuficiencia venosa	192099	0.5	25541	0.9	25481	0.5
Asma y estado asmático	266803	0.7	20246	0.7	15681	0.3
Neumonías y bronconeumonías	156530	0.4	17395	0.6	---	---
Varicela	179165	0.4	13296	0.5	17322	0.4
Candidiasis urogenital	206775	0.5	---	---	24810	0.5
Amebiasis intestinal	255368	0.6	---	---	21574	0.4
Otras helmintiasis	189200	0.5	---	---	17501	0.4
Picadura de alacrán	272695	0.7	---	---	10718	0.2
Síndrome febril	403480	1.0	---	---	---	---
Depresión	---	---	16922	0.6	---	---
Mordeduras por perro	---	---	14049	0.5	15874	0.3
Quemaduras	---	---	13088	0.4	---	---
Accidentes de transporte	---	---	9573	0.3	---	---
Hiperplasia de la próstata	---	---	8960	0.3	---	---
Violencia intrafamiliar	---	---	---	---	13487	0.3

[§] Elaboración propia con información de la Secretaría de Salud, en: http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/principales_nacional.html.

A) Factores ambientales asociados a la salud poblacional

Prüss-Üstün y Corvalán (2006) encontraron que, en general y a nivel global, factores ambientales fueron causantes de 24% de la carga de morbilidad (expresada en años de vida sana perdidos) y del 23% de los fallecimientos; pero este valor baja a 17% cuando se trata solo de países en desarrollo. La Organización Mundial de la Salud estimó, con base en información del 2012, que a nivel mundial murieron 12.6 millones por vivir o trabajar en ambientes poco saludables (consultada en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/deaths-attributable-to-unhealthy-environments/es/>). Las 10 principales causas de muerte referidas por la OMS relacionadas con el medio ambiente son, en orden de importancia: a) accidentes cerebrovasculares (19.8%); b) cardiopatía isquémica (18.3%); c) lesiones no intencionales (13.5%); d) cáncer (13.5%); e) enfermedades respiratorias crónicas (11.1%); f) enfermedades diarreicas (6.7%); g) infecciones respiratorias (4.5%); h) afecciones neonatales (2.1%); i) paludismo (2.1%), y j) lesiones intencionales (2.0%).

De la lista anterior, la diarrea, el paludismo y las infecciones respiratorias son algunas de las más mortíferas entre los niños menores de cinco años. En los países en desarrollo, el porcentaje de estas tres enfermedades atribuible al medio ambiente representa como promedio el 26% de todas las defunciones de niños menores de cinco años (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006).

Los autores antes referidos encontraron que la carga de morbilidad por diarrea está asociada en aproximadamente un 94% a factores de riesgo ambientales tales como el consumo de agua no potable y el saneamiento y la higiene insuficientes. Las infecciones de las vías respiratorias inferiores están asociadas a la contaminación del aire en locales cerrados debido al uso de combustible sólido en los hogares, la exposición pasiva al humo del tabaco y a la contaminación del aire exterior. Y, por otro lado, el 42% de los casos de neumopatía obstructiva crónica se atribuyó a factores de riesgo ambientales; principalmente por la exposición profesional al polvo y a sustancias

químicas, así como la contaminación del aire en locales cerrados por utilización de combustibles sólidos y humo de cigarros en los hogares.

B) Cobertura del servicio médico

Para garantizar el acceso a los servicios médicos existen cinco principales alternativas a nivel nacional: IMSS, creado en 1943; ISSSTE, fundado en 1959; Seguro Popular, desde 2004; PEMEX-DEFENSA-MARINA y, seguros privados. Entre éstos, más algunos otros no identificados, cubren entre el 73.5 y 84.1% de la población de las entidades estatales y municipales inmersas en el SARA delimitado para el proyecto (Tabla IV-40). A nivel nacional se tiene una mayor cobertura de servicios médicos (82.2%) que en el Estado de México (78.7%) y la Ciudad de México (78.5%), solo está por debajo de las delegaciones Azcapotzalco y Tláhuac, las cuales tienen una cobertura total del 84.1 y 83.3%, respectivamente.

El IMSS es el sistema de salud pública que tiene un mayor número de afiliados, representando, en promedio, el 41.9% de los afiliados, siendo Azcapotzalco la entidad que tiene el mayor número de afiliados (58.2%) y Atenco el menor (23.3%). El Seguro Popular e ISSSTE ocupan el segundo y tercer lugar en número de afiliados, con un promedio del 39.7 y 12.4% del total de afiliados, respectivamente. PEMEX-DEFENSA-MARINA es el sistema de salud que tiene una menor cobertura, 1.1% en promedio, debido a que los sectores que cubre son muy específicos y limitados.

Tabla IV-40. Población con afiliación (%) a los servicios de salud a nivel nacional y de las entidades inmersas en el sistema ambiental atmosférico del proyecto al 2015[§].

Entidad	Afiliados	IMSS	ISSSTE	PEMEX	Seguro privado	Seguro Popular	Otros
Nacional	82.2	39.2	7.7	1.2	3.3	49.9	1.5
Estado de México	78.7	37.8	8.4	1.1	3.5	48.2	2.9
Acolman	79.1	29.8	10.5	1	1.9	50.4	7.8
Atenco	79.5	23.3	7.6	0.8	1.5	67.7	0.7
Chicoloapan	72.9	46.0	14.3	1.1	1.3	37.1	1.5
Chimalhuacán	74.6	26.8	6.5	0.6	2.4	63.6	1.7
Ecatepec	73.5	51.5	9.1	0.7	2.8	34.2	2.8
Ixtapaluca	74.8	39.3	8.9	0.3	3.2	46.4	3.4
Nezahualcóyotl	73.9	41.3	12.9	0.8	2.9	40.9	2.6
La Paz	74.5	31.6	8.5	0.8	3.4	54.9	2.7
Texcoco	75.5	30.6	16.8	0.9	6.2	41.1	6
Tlalnepantla de Baz	79.6	57.5	8.9	1.0	4.8	28.3	2.0
Ciudad de México	78.5	46.2	15.7	1.5	8.6	28.7	2.2
Azcapotzalco	84.1	58.2	13.1	3.7	6.8	19.1	2.2
Cuauhtémoc	75.6	49.2	18.2	1.2	10.6	20.9	2.4
Gustavo A. Madero	79.2	53.5	14.6	1	5.2	25.8	1.9
Iztacalco	78.3	53.5	18	0.9	5.1	22.6	2.4
Iztapalapa	75.6	42.4	14.3	1.2	3.4	37.7	2.2
Tláhuac	83.3	33.3	15.4	0.9	4.6	47.3	0.7
Venustiano Carranza	80.9	46.2	18.8	0.5	4.9	28.4	2.7

[§] Información de las encuestas intercensales del INEGI 2015 específicas por entidad federal, en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/panorama/presentacion.aspx>

El médico en tu casa es un sistema de servicio médico creado en el actual Gobierno de la Ciudad de México y consiste en brindar el servicio profesional de médicos, enfermeras, psicólogos y dentistas a la población que no puede ir por sus propios medios a las unidades de servicios. El objetivo principal de este programa es brindar atención médica a la población vulnerable, principalmente adultos mayores, discapacitados, enfermos terminales, así como disminuir el índice de mortalidad materna-infantil en la capital a través de los siguientes servicios (Secretaría de Salud

del Gobierno de la Ciudad de México, en:
<http://www.salud.cdmx.gob.mx/actividades/medico>):

- Detección de enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión arterial, obesidad y sobrepeso.
- Atención podológica a adultos mayores y diabéticos, principalmente.
- Afiliación a los servicios médicos y medicamentos gratuitos de la CDMX y Seguro Popular.
- Cuidados paliativos a enfermos crónicos.
- Atención odontológica a domicilio con equipo móvil.
- Orientación al paciente y su familia sobre el padecimiento y los cuidados en general.
- Control prenatal a embarazadas y entrega de canastas nutricionales.
- Orientación nutricional a pacientes con enfermedades crónicas o mujeres embarazadas.
- Entrega de medicamentos en domicilio.
- Toma de estudios de laboratorio a domicilio.
- Atención a personas con adicciones, por medio de la prevención, detección y tratamiento.
- Asesoría de Ley de Voluntad Anticipada.
- Medición y diagnóstico auditiva para detectar la sordera a mediana, corta o avanzada edad.

Debido a los resultados obtenidos en la implementación de este programa, se han recibido visitas y se ha asesorado a otras entidades, incluso internacionales, para la implementación de este modelo de servicio médico.

IV.2.3.2.7 Evaluación del bienestar

Con la finalidad de tener información sobre el rezago social de las entidades estatales y municipales, el CONEVAL construyó el “Índice de Rezago Social (IRS)”, el cual incorpora indicadores de educación, de acceso a servicios de salud, de servicios básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar.

Según la información del CONEVAL, en su sitio web: <http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Que-es-el-indice-de-rezago-social.aspx>, el Índice de Rezago Social es una medida ponderada que resume cuatro indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos y espacios en la vivienda) en un solo índice que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales. No se trata de una medición de pobreza, ya que no incorpora los indicadores de ingreso, seguridad social y alimentación. Permite tener información de indicadores sociales desagregados hasta nivel municipal, con lo que CONEVAL contribuye con la generación de información para la toma de decisiones en materia de política social, especialmente para analizar la desigualdad de coberturas sociales que subsisten en el territorio nacional.

Las variables consideradas en la construcción del ISR son:

- Población total,
- Población de 15 años o más analfabeta,
- Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela,
- Población de 15 años y más con educación básica incompleta,
- Población sin derechohabiencia a servicios de salud,
- Viviendas con piso de tierra,
- Viviendas que no disponen de excusado o sanitario,

- Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública,
- Viviendas que no disponen de drenaje,
- Viviendas que no disponen de energía eléctrica,
- Viviendas que no disponen de lavadora, y
- Viviendas que no disponen de refrigerador.

El CONEVAL presenta los resultados de la estimación del índice de rezago social en cinco estratos: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Para ello, refiere que utiliza la estratificación con base en la metodología de Dalenius & Hodges, dado que permite que dentro de cada estrato las unidades sean lo más homogéneas posibles y entre los estratos lo más distintos posibles.

La Ciudad de México, junto con el estado de Nuevo León, Coahuila y Aguascalientes, son los que han sido más estables y los que han tenido el IRS más bajo, resultando que en los cuatro quinquenios del 2000 al 2015 con grado de rezago social “muy bajo” (Tabla IV-41). Por lo que se puede decir que, en estos estados existen menores carencias en la sociedad respecto a educación, salud, servicios básicos y espacios en la vivienda. Mientras que, por otro lado, el Estado de México se clasificó en el lugar número 11 con base el valor del IRS, clasificándose en los cuatro quinquenios evaluados con un grado de rezago social “bajo”.

Tabla IV-41. Rezago social en las entidades estatales entre el 2000 y el 2015, por quinquenio, de acuerdo a lo estimado por el CONEVAL[§].

Entidad federativa	Índice de rezago social				Grado de rezago social			
	2000	2005	2010	2015	2000	2005	2010	2015
Nuevo León	-1.54	-1.44	-1.37	-1.36	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Ciudad de México	-1.51	-1.40	-1.28	-1.31	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Coahuila	-1.27	-1.25	-1.16	-1.06	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Aguascalientes	-1.14	-1.14	-1.11	-1.04	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Baja California	-1.03	-0.66	-0.86	-0.82	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Jalisco	-0.71	-0.60	-0.66	-0.69	Bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo

Entidad federativa	Índice de rezago social				Grado de rezago social			
	2000	2005	2010	2015	2000	2005	2010	2015
Colima	-0.71	-0.76	-0.80	-0.66	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Sonora	-0.81	-0.86	-0.69	-0.59	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Chihuahua	-0.74	-0.61	-0.50	-0.59	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tamaulipas	-0.60	-0.70	-0.65	-0.53	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Estado de México	-0.54	-0.36	-0.37	-0.48	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Sinaloa	-0.24	-0.45	-0.48	-0.46	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Querétaro	0.00	-0.04	-0.25	-0.43	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Quintana Roo	-0.36	0.15	-0.40	-0.40	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Baja California Sur	-0.71	-0.48	-0.47	-0.40	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Zacatecas	0.30	-0.09	-0.13	-0.33	Medio	Medio	Medio	Bajo
Morelos	-0.21	-0.18	-0.13	-0.21	Medio	Medio	Medio	Bajo
Tlaxcala	0.02	0.05	-0.05	-0.17	Medio	Medio	Medio	Medio
Tabasco	0.34	-0.03	-0.07	-0.15	Medio	Medio	Medio	Medio
Guanajuato	0.21	0.16	0.00	-0.06	Medio	Alto	Medio	Medio
Durango	-0.14	-0.24	-0.01	-0.03	Medio	Medio	Medio	Medio
Nayarit	-0.18	-0.42	-0.25	0.01	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Yucatán	0.24	0.34	0.22	0.29	Medio	Alto	Alto	Alto
Campeche	0.53	0.32	0.22	0.30	Alto	Alto	Alto	Alto
Hidalgo	0.86	0.59	0.61	0.45	Alto	Alto	Alto	Alto
San Luis Potosí	0.63	0.31	0.49	0.61	Alto	Alto	Alto	Alto
Michoacán	0.61	0.67	0.75	0.63	Alto	Alto	Alto	Alto
Puebla	0.96	0.97	1.07	0.88	Alto	Muy alto	Alto	Alto
Veracruz	1.19	0.95	1.14	1.20	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto
Chiapas	2.27	2.55	2.27	2.39	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Guerrero	2.12	2.44	2.52	2.45	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Oaxaca	2.16	2.20	2.42	2.54	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

[§] Adaptado del CONEVAL, en: http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2015.aspx.

A nivel municipal y delegacional, las cuatro delegaciones que se encuentran inmersas dentro del SAR delimitado para el proyecto han obtenido IRS altos en los cuatro quinquenios evaluados del 2000 al 2015; sin embargo, existe una tendencia numérica a ir disminuyendo a través de cada evaluación. No obstante lo anterior, las cuatro veces

han resultado con un grado de rezago social “muy bajo” (Tabla IV–42). A nivel nacional, en el 2015 se clasificaron entre las posiciones 2401 (la delegación de Iztapalapa) y 2438 (la delegación de Iztacalco), de un total de 2446 municipios y delegaciones evaluadas, ya que 11 no cuentan con información. Además, la delegación Benito Juárez fue la que tuvo el mejor IRS a nivel nacional (-1.69)

En lo que respecta a los municipios del Estado de México inmersos en el SAR, los tres primeros quinquenios obtuvieron ISR´s correspondientes a grados de rezado muy bajos (Tabla IV–42). Sin embargo, en el 2015 los municipios de Chimalhuacán, La Paz y Tezoyuca cayeron a grado de rezado bajo, lo que implica que se vieron deteriorados sus indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos y espacios en la vivienda).

Tabla IV-42. Rezago social en los municipios y delegaciones del sistema ambiental regional del proyecto entre el 2000 y el 2015, por quinquenio, de acuerdo a lo estimado por el CONEVAL[§].

Municipio	Índice de rezago social				Grado de rezago social				Posición nacional
	2000	2005	2010	2015	2000	2005	2010	2015	
Acolman	-1.51	-1.23	-1.18	-1.08	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2185
Chiautla	-1.22	-1.04	-1.07	-1.09	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2194
Chicoloapan	-1.40	-1.01	-1.43	-1.35	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2388
Chimalhuacán	-1.04	-0.79	-0.83	-0.96	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	2052
Ecatepec	-1.67	-1.31	-1.37	-1.36	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2394
Nezahualcóyotl	-1.71	-1.44	-1.38	-1.34	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2383
La Paz	-1.35	-1.03	-1.01	-0.95	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	2044
Texcoco	-1.50	-1.23	-1.16	-1.31	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2361
Tezoyuca	-1.40	-0.92	-0.80	-0.72	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	1769
Gustavo A. Madero	-1.92	-1.63	-1.56	-1.43	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2417
Iztacalco	-1.97	-1.66	-1.62	-1.57	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2438
Iztapalapa	-1.76	-1.47	-1.42	-1.38	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2401
Venustiano Carranza	-1.98	-1.60	-1.61	-1.49	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	2432

[§] Adaptado del CONEVAL, en: http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2015.aspx.

IV.2.4 Integridad funcional

IV.2.4.1 Fragilidad ambiental

La fragilidad ecológica es un elemento integrador que permite lograr una percepción del entorno la cual varía de acuerdo a los fines del análisis al que un espacio dado se sujeta por lo que, en el caso de la valoración del impacto ambiental o en lo referente al cambio de uso de suelo su comprensión resulta fundamental para orientar y concretar la toma de decisiones con respecto a obras, actividades o planes y políticas de desarrollo.

Contar con un modelo de fragilidad ecológica, entonces, resulta apropiado en virtud de que éste permite valorar un espacio en particular en función de la sensibilidad ambiental diferenciada de sus diversas coberturas y sus correspondientes atributos en un marco conceptual determinado por las actividades humanas y la propia calidad ambiental del lugar que se estudia.

Se parte, en este caso en particular, de que un entorno frágil es aquel que es, a la vez, fácilmente perturbado y difícil de restaurar si se altera. Este precepto puede relacionarse y acotarse a un único elemento del ensamble el cual, en caso de ser frágil pudiera ser determinante para el desencadenamiento de procesos adversos. Esto puede ser observado, en tiempo ecológico, en espacios en los que se ha eliminado la cubierta vegetal que sostiene suelos ligeros por lo que la pérdida del primero deriva en la rápida erosión del segundo.

Así, es posible considerar que el concepto fragilidad ecológica de un ensamble o de un elemento ambiental está relacionado con su capacidad intrínseca para soportar acciones alteradoras sin variar esencialmente su cualidad y sin derivar en transformaciones hacia otra forma sustancialmente distinta a la original; lo anterior implica, entonces, considerar la realidad de ecosistemas frágiles que se corresponden con entornos locales extremadamente sensibles a los cambios en la temperatura, la

calidad del aire y del agua y otras condiciones ambientales que, a su vez, se relacionan con otros conceptos afines tales como vulnerabilidad y sensibilidad. Todos ellos derivan en su capacidad de adaptación y respuesta a cambios.

De esta forma, se entiende que un elemento es frágil frente a una acción potencialmente alteradora si reacciona modificando o perdiendo su cualidad de forma parcial o total por lo que la fragilidad radica en los efectos adversos cuantificables, en tiempos ecológicos, de cambio como respuesta a una acción alteradora lo que, a *contrario sensu*, se comprende cuando la acción alteradora no encuentra respuesta en forma de cambio o efecto, el elemento ambiental afectado se muestra poco frágil a dicha acción.

Resulta primordial discriminar los componentes relevantes del ecosistema y, de ser el caso, identificar los procesos relevantes existentes y necesarios para asegurar la continuidad de la integridad funcional y estructural del ecosistema a una escala y tiempo determinados.

En el ámbito del SAR definido para el proyecto *Planta de aprovechamiento de poder calorífico de residuos sólidos urbanos*, objeto de esta Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Regional, se tiene, de acuerdo con los usos de suelo y vegetación identificados, que el espacio en el cual incide se encuentra modificado y que su transformación hacia el paisaje urbano continúa en un ámbito que aún mantiene rasgos de naturalidad mismos que, por ser escasos, merecen la atención.

IV.2.4.2 Fragilidad Ecológica en el SAR

Para determinar la fragilidad ecológica en el SAR se elaboró una base de datos georeferenciada con cartografía temática la cual, una vez organizada, mediante un Sistema de Información Geográfica, permitió la diferenciación de 8 tipos de uso de suelo y vegetación (Tabla IV-43; Figura IV-120).

Tabla IV-43. Uso de suelo y tipos de vegetación identificados en el SAR definido para el proyecto.

No.	Uso de Suelo y/o vegetación	Clave	Superficie (ha)	Proporción (%)
1	Zona urbana	ZU	21,281.20	50.89
2	Agrupación de halófitos	AH	11,763.99	28.13
3	Agricultura de temporal	T	6,255.49	14.96
4	Cuerpo de agua	H ₂ O	1,136.57	2.72
5	Sin vegetación aparente	DV	1,032.04	2.47
6	Bosque cultivado	BC	297.44	0.71
7	Tulares y carrizales	TC	44.17	0.11
8	Nopaleras	NO	5.22	0.01
Totales			41,816.12	100

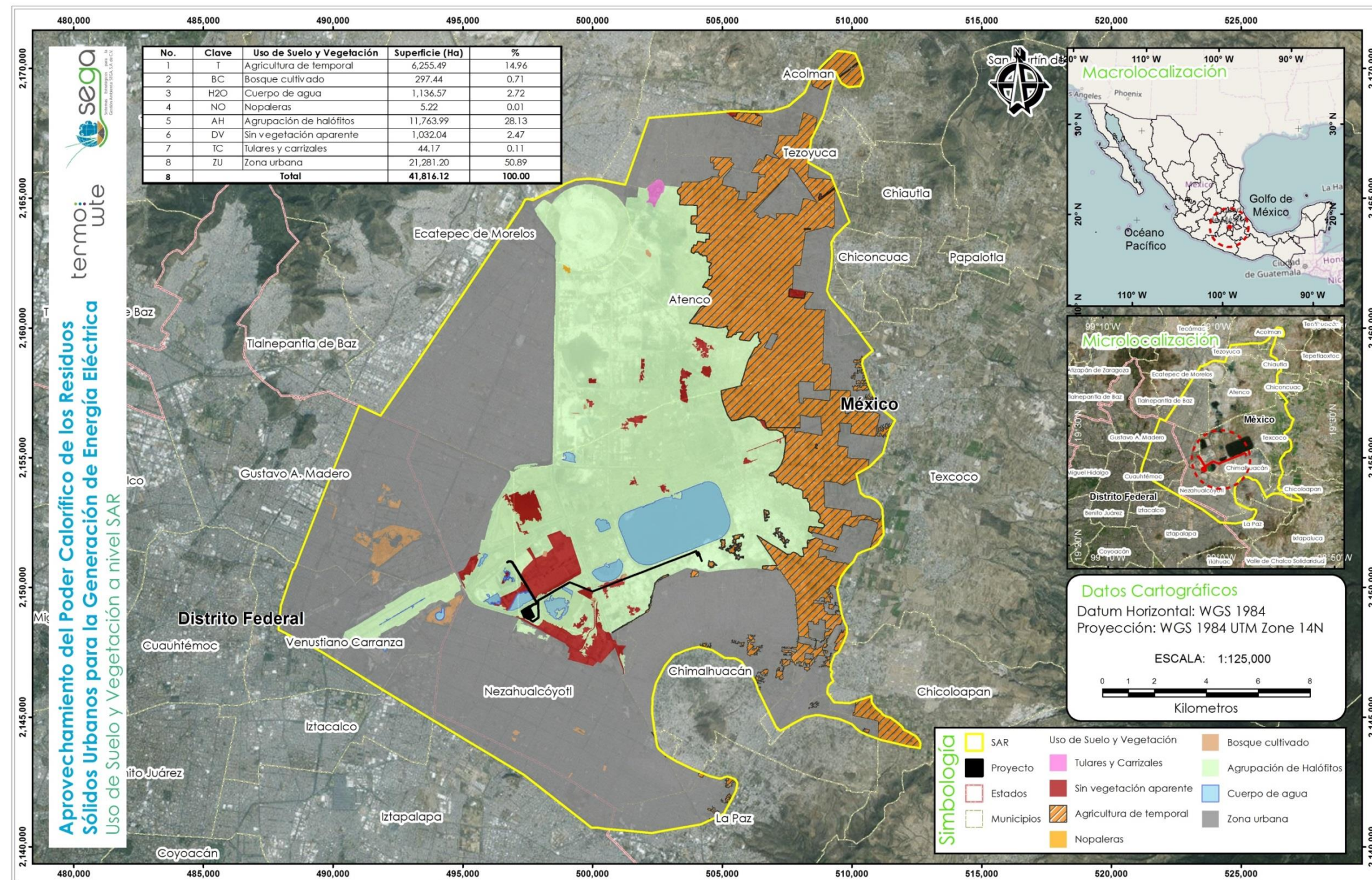


Figura IV—120. Usos de suelo y/o vegetación al interior del SAR definido para el proyecto.

Con esta determinación de superficies se estuvo en la posibilidad de realizar el análisis de la fragilidad ecológica para cada uno de los componentes del conjunto siempre en la consideración de que el contexto del análisis corresponde a un espacio transformado en el cual las condiciones ambientales tienden hacia la metropolización y donde la reversión de las condiciones ambientales imperantes, derivadas de la amplia ocupación urbana, se prevén inviables.

IV.2.4.3 Contexto histórico de la transformación del SAR

El sitio de interés formó parte del gran lago de Texcoco que era parte de un amplio sistema lacustre. Antes de la conquista, entre los años 100 y 650 a.C., las sociedades locales construyeron chinampas que ocuparon los segmentos más bajos del cuerpo de agua y además ganaron terreno para la construcción de casas y templos alcanzando una población estimada de que posiblemente superó los 100,000 habitantes².

Entre los años de 1200 y de 1400 d.C., antes, durante y después de la llegada de los aztecas, ocurrió una sucesión de cambios culturales, tecnológicos y ambientales tuvo lugar en la cuenca, tanto antes como después de la fundación de Tenochtitlan. Se estima que hacia finales del siglo XV la población alcanzó el millón y medio de habitantes, distribuidos en más de cien poblados haciendo que desde entonces la cuenca de México fuera el área urbana más grande y más densamente poblada de todo el planeta.

Durante el siglo XVII, después de la conquista, las inundaciones obligaron a los nuevos pobladores a construir obras de drenaje mayor que, al continuarse durante los gobiernos del México independiente y moderno, definieron el paisaje antropizado actual

² Parsons, J. R. 1976. Settlement and population history of the Basin of Mexico. In: E. R. Wolf (ed.), The Valley of Mexico: Studies in prehispanic ecology and society. University of New Mexico Press, Albuquerque, pp. 69–100.

donde el lago de Texcoco, junto con Zumpango, Xaltocan, Xochimilco y Chalco se han reducido de manera significativa en cuanto a su superficie y, desde luego, en la prestación de servicios ambientales.

Es preciso indicar que las aguas de estos lagos, en los orígenes de su ocupación, no eran tampoco potables por su alta salinidad y las aguas dulces de Xochimilco y Chalco no eran provechosas más que para la agricultura, pues los residuos de las plantas y animales que poblaban los ecosistemas asociados les conferían propiedades no aptas para el consumo humano por lo que los pobladores de México-Tenochtitlan debieron introducir un sistema de abasto de agua potable para importar el líquido de los manantiales aledaños.

Durante la colonia, el relleno y cancelación de los canales aztecas para construir calzadas elevadas empezó a obstruir el drenaje superficial de la cuenca y empezaron a formarse grandes superficies de agua estancada, mientras que el pastoreo y la tala de las laderas boscosas que rodeaban a la cuenca aumentó la escorrentía superficial durante las intensas lluvias del verano. La primera inundación severa ocurrió en 1553, seguida de nuevas inundaciones en 1580, 1604, 1629, y posteriormente a intervalos cada vez más cortos (Sala Catalá, 1986). Durante las temporadas de secas, por otro lado, los lagos se veían cada vez más bajos. Humboldt, describió este fenómeno en 1822 en su *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España* observando lo siguiente:

Parece, pues, que los primeros conquistadores quisieron que el hermoso valle de Tenochtitlan se pareciese en todo al suelo castellano en lo árido y despojado de su vegetación. Desde el siglo XVI se han cortado sin tino los árboles, así en el llano sobre el que está situada la capital como en los montes que la rodean. La construcción de la nueva ciudad, comenzada en 1524, consumió una inmensa cantidad de maderas de armazón y pilotaje. Entonces se destruyeron, y hoy se continúa destruyendo diariamente, sin

plantar nada de nuevo, si se exceptúan los paseos y alamedas que los últimos virreyes han hecho alrededor de la ciudad y que llevan sus nombres. La falta de vegetación deja el suelo descubierto a la fuerza directa de los rayos del sol, y la humedad que no se había ya perdido en las filtraciones de la roca amigdaloides basáltica y esponjosa, se evapora rápidamente y se disuelve en el aire, cuando ni las hojas de los árboles ni lo frondoso de la yerba defienden el suelo de la influencia del sol y vientos secos del mediodía.

Este marco de referencia se ha considerado necesario para abordar y discernir sobre la fragilidad ambiental del espacio en el cual se pretende este proyecto estableciendo que el área de interés presenta, como línea base ambiental, un espacio metropolitano histórico de tipo megalópolis cuyo crecimiento urbano y presencia humana se remonta a más de 2000 años

IV.2.4.4 Evaluación de la fragilidad ecológica

Como se indicó previamente, la fragilidad ecológica es el grado de debilidad intrínseca que hace que un ambiente pueda deteriorarse con facilidad. Para la realización de esta evaluación se parte de la cartografía mediante la cual se determinaron los usos de suelo y/o vegetación al interior del SAR definido para el proyecto, sus atributos y cobertura.

A continuación se presenta la descripción de los usos de suelo y/o tipos de vegetación identificadas en el SAR delimitado para el proyecto.

Zona urbana. Es aquella zona que se encuentra habitada por una cantidad mayor a los 2000 habitantes, esta se caracteriza por su amplio desarrollo en los sectores de industrias y sectores de servicios, en consideración a estos dos aspectos las zonas urbanas son autosuficientes y dan una mayor capacidad de sostenimiento a una

sociedad. Este uso de suelo es el de mayor superficie a nivel SAR ocupando una superficie de 21,281.20 ha que representa el 50.89% de la superficie total del mismo.

Agrupación de halófitos. Comunidad de herbáceas, entre ellas dos gramíneas (*Distichlis spicata* y *Hordeum jubatum*), que se desarrolla sobre suelos salino-sódicos, por lo que su presencia es independiente del clima; es frecuente en el fondo de las cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas; aunque también son frecuentes en algunas áreas próximas a las costas afectadas por el mar o por lagunas costeras. Entre las formas biológicas de las comunidades halófitas predominan las gramíneas rizomatosas, amarantáceas, chenopodiáceas y algunas plantas herbáceas suculentas (INEGI, 2005). Las especies representativas de esta comunidad vegetal son: chamizo (*Atriplex linifolia*), romerito (*Suaeda torreyana*), ruedamundo (*Salsola tragus*), hediondilla (*Heliotropium curassavicum*) y verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*) (INEGI, 2005). Este uso de suelo se distribuye en una superficie de 11,763.99 ha que representa el 28.13% de la superficie total del SAR.

Agricultura de temporal. Se clasifica como tal al tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, sea independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, un año o más de diez como los frutales. O bien son por periodos dentro de un año como los cultivos de verano. Incluye los que reciben agua invernal como el garbanzo. Estas áreas pueden dejarse de sembrar algún tiempo, pero deberán estar dedicadas a esta actividad por lo menos en el 80% de los años de un periodo dado. Algunas superficies son sembradas de manera homogénea por un cultivo o más de dos, o pueden estar combinados con pastizales o agricultura de riego, en un mosaico complejo difícil de separar, pero siempre con la dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia (INEGI, 2005). Este uso de suelo se distribuye en una superficie de 6,255.49 ha que representa el 14.96% de la superficie total del SAR definido para el proyecto.

Cuerpo de agua. Un cuerpo de agua es una masa o extensión de agua, tal como un lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra. Se distribuye en una superficie de 1,136.57 ha que representa el 2.72% de la superficie total del SAR.

Sin vegetación aparente. Áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales: clima muy árido, salinas, o bien porque la vegetación fue eliminada totalmente por actividades humanas; minas a cielo abierto, jales, sobrepastoreo, etcétera (INEGI, 2005). Al interior del SAR este uso de suelo se desarrolla en una superficie de 1,032.04 ha que representa el 2.47% de la superficie total del mismo.

Bosque cultivado. Es aquel que se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas realizadas por el hombre, sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas. Estas poblaciones se pueden considerar como bosques artificiales, ya que son consecuencia de una reforestación con árboles de distintos géneros, por lo general, con especies exóticas. Los fines de estas plantaciones conservar medio ambiente, así como evitar la erosión del suelo. Según la adaptabilidad, éstas son algunas de las especies que más se cultivan: eucalipto (*Eucalyptus* spp.), cedro (*Cupressus* spp.), casuarina (*Casuarina equisetifolia*), pirul (*Schinus molle*) y pino salado (*Tamarix chinensis* y *Tamarix aphylla*), entre otros (INEGI, 2005). Se distribuye en pequeños manchones al interior del SAR ocupando en su conjunto una superficie de 297.44 ha que representa el 0.71% de la superficie total del mismo.

Tulares y carrizales. La constituyen comunidades vegetales de herbáceas flotantes que se caracterizan por desarrollarse sobre suelos con alto contenido de sales, en partes bajas de cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas, cerca de lagunas costeras, área de marismas, etcétera. Las principales especies que la conforman son: tule (*Typha domingensis*) y dos ciperáceas (*Bolboschoenus maritimus* subsp.

Paludosus y *Schoenoplectus californicus*). Se distribuye en una superficie de 44.17 ha que representa el 0.11% de la superficie total del SAR.

Nopaleras. Tipo de vegetación dominada fisonómicamente por cactáceas de tallos aplanados o cilíndricos que se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país. Todas las especies que conforman esta comunidad pertenecen al género *Opuntia* spp. Esta comunidad se desarrolla preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica, aunque también desciende a suelos aluviales contiguos. La precipitación media anual varía entre 300 y 600 mm y la temperatura es de 16 a 22 °C en promedio anual. La altura de esta comunidad alcanza generalmente de 2 a 4 m, su densidad es variable, pudiendo alcanzar casi 100% de cobertura. Generalmente existe ganadería a base de caprinos y bovinos; es igualmente importante la recolección de frutos comestibles, y en el caso de los nopales, de los tallos (INEGI, 2005). Se desarrolla en las laderas de la sierra de Guadalupe, ocupando una superficie de 5.22 ha que representa el 0.01% de la superficie total del SAR.

El modelo de fragilidad ecológica que se utiliza permite definir un Índice de Fragilidad Ecológica (IFE) el cual está dado por la función de indicadores específicos de acuerdo a las características del espacio de interés exponiendo el grado de fragilidad en el que su estructura o función es alterada por alguna intervención o perturbación antrópica (Gaviño y Sarandón, s/a)³.

La ecuación del IFE utilizada en este modelo es la siguiente:

$$IFE = E \times 0.25 + W \times 0.25 + B \times 0.20 + P \times 0.20$$

Donde:

E: Índice de Erodabilidad.

³ Gaviño Novillo M. y Sarandón Ramiro. s/a. El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Plata. Argentina

W: Índice de Vulnerabilidad Hídrica.

B: Índice de Vulnerabilidad Biótica.

P: Índice de Fragilidad del Paisaje.

Valoración: 1) Muy bajo; 2) Bajo; 3) Medio; 5) Alto y 10) Muy alto.

La propuesta se basa en el análisis del ambiente y la selección de variables clave relacionadas con la fragilidad del área, sitio o región. Para ello es necesario identificar aquellos factores ambientales más frágiles frente a una actividad determinada. La fragilidad debe estar relacionada a la susceptibilidad del ambiente a cambiar de manera significativa su estructura y función. La selección de variables debe ser acorde con la disponibilidad de información necesaria para caracterizar el ambiente o la capacidad de generar nueva información.

Cada indicador es un índice en sí mismo; por ejemplo el Índice de Erodabilidad (E) valora el riesgo de erosión, y es una función de la vegetación, el grado de cobertura, y de la pendiente del terreno. Un bosque, con más de 80 % cobertura, en terrenos de pendiente menor a 5° corresponde el máximo grado de protección del suelo y mínimo de erodabilidad: $E = 0$ (cero). Por el contrario un área desmontada, con menos del 50% de cobertura, en terrenos de pendientes mayores a 15° corresponde al mínimo grado de protección del suelo y el máximo de erodabilidad: $E = 10$ (diez).

IV.2.4.5 Desarrollo del modelo y resultados

Una vez establecidas las valoraciones y ejecutado el modelo elegido, se tiene lo siguiente:

Tabla IV-44. Valores modelados para el IFE por cada uso de suelo/vegetación registrado en el SAR.

$IFE = E \times 0.25 + W \times 0.25 + B \times 0.20 + P \times 0.20$ Valoración: 1) Muy bajo; 2) Bajo; 3) Medio; 5) Alto y 10) Muy alto.								
	Zona urbana	Agrupación de halófitos	Agricultura de temporal	Cuerpo de agua	Sin vegetación aparente	Bosque cultivado	Tulares y carrizales	Nopaleras
E: Índice de Erodabilidad	1	3	5	1	2	2	1	2
W: Índice de Vulnerabilidad Hídrica	5	2	3	3	2	2	5	3
B: Índice de Vulnerabilidad Biótica	1	1	3	5	1	3	5	3
P: Índice de Fragilidad del Paisaje	1	1	2	2	1	2	2	3
IFE =	1.9	1.65	3	2.4	1.4	2	2.9	2.45
Valor mínimo de referencia	1	1	1	1	1	1	1	1
Valor máximo de referencia	10	10	10	10	10	10	10	10

IV.2.4.6 Discusión y conclusiones

En el seno de un ambiente previamente transformado, se puede observar que en el Sistema Ambiental Regional se presentan ocho usos de suelo y/o vegetación, se procede a discutir sobre los Índices de Fragilidad Ecológica (IFE) determinados mediante el modelo propuesto por Gaviño y Saradón.

1) Zona urbana.

Es un componente primordial del Sistema Ambiental Regional que corresponde, precisamente, a los ámbitos antropizados que reflejan la condición actual y tendencia del SAR. Se valora con un IFE de 1.9, es poco vulnerable porque sus componentes naturales son escasos o inexistentes.

2) Agrupación de halófilos

Para este conjunto predominantemente herbáceo conformado por gramíneas que cubren suelos con alta salinidad intersticial se obtuvo un IFE de 1.65 al considerarse que es una cobertura que protege pobremente el suelo de la vulnerabilidad hídrica y eólica. En esta comunidad se encuentra, si bien escasa, fauna silvestre cuya diversidad es mínima por lo que la vulnerabilidad biótica, entendida como la posibilidad de perder o de afectar de manera irreversible ensamblajes biológicos es, también, baja. En lo correspondiente al paisaje, éste se encuentra transformado por la desecación de los lagos de altura por lo que no es susceptible de recuperarse y su transformación no implica, en términos escénicos, mermas relevantes.

3) Agricultura de temporal.

Este uso de suelo presenta un IFE valorado en 3, es decir que es medio. Es importante destacar que dada la carencia de una cubierta vegetal permanente el suelo se erosiona durante la temporada de secas por la acción del viento, es medianamente susceptible a las afectaciones hídricas. Se considera que son espacios que alojan vida silvestre por lo cual su permanencia es importante aunado a que las mejores tierras de cultivo en el Valle de México han quedado bajo el asfalto y construcciones. En términos de paisaje no representan vistas extraordinarias.

4) Cuerpo de agua

Corresponde al vaso regulador del lago de Texcoco, un remanente de los lagos de altura artificialmente operado, es decir que las formaciones acuáticas son resultado de acciones humanas. Si bien su superficie es mínima en el contexto del SAR el IFE que arroja es de 2.4, es decir bajo tendiendo a medio. Con respecto a los otros usos de suelo es el único que mostró una vulnerabilidad biótica alta. Esto en virtud de que es sin duda un espacio importante para las aves migratorias.

Este humedal artificial, en el cual se ha logrado un avance importante en su recuperación, sostiene alrededor de 100,000 aves acuáticas durante el invierno. Se han registrado un total 156 especies de aves acuáticas y terrestres, de las cuales el 19% son residentes permanentes, 35% residentes de invierno por lo que el sitio se ha considerado como Área de Importancia para la Conservación de la Aves (AICA), la cual no es considerado un hábitat crítico dado que no existe acuerdo secretarial emitido para tal efecto.

Para la determinación de la vulnerabilidad, se consideró que existe un proceso de contaminación preexistente de los cuerpos de agua, derivado de las descargas de aguas residuales.

5) Sin vegetación aparente.

Son superficies cuyo suelo, escaso, ha sido erosionado y donde este proceso aún continúa dada la inexistencia de una cubierta vegetal protectora. Son espacios defaunados que muestran un paisaje desolador derivado de la profunda transformación del sitio. El IFE para este uso de suelo es de 1.4, es decir poco frágil.

6) Bosque cultivado

El IFE para este Uso de suelo /vegetación se definió en 2, es decir que se asume que la cubierta vegetal es capaz de retener el suelo, de proveer soporte para evitar la erosión hídrica y eólica del suelo y aloja especies silvestres en un entorno donde la cobertura, el alimento y el refugio para ella es relativamente escaso. En términos de paisaje su fragilidad es baja ya que no se corresponde con un espacio particularmente escénico ni único.

7) Tulares y carrizales

Se compone por ensambles botánicos de porte arbustivo y herbáceo que se desarrollan en aguadas salitrosas. El IFE definido es de 2.9, la fauna es relativamente abundante ya que brinda cobertura y espacios de anidación en particular a la avifauna migratoria. Son superficies restauradas que poseen valor intrínseco al brindar vistas escénicas con un grado medio de naturalidad.

8) Nopaleras

El valor del IFE para este ensamble se establece en 2.45, que es bajo con tendencia hacia medio. Se considera que el valor obtenido es adecuado en virtud de que corresponde a un ensamble que mantiene cierto grado de naturalidad. Son parches dispersos embebidos en la traza urbana y en la amplia extensión que representa la agrupación de halófilos. Su vulnerabilidad a la pérdida de suelo es baja porque provee soporte al suelo ante el agua y el viento alojando, bajo su escasa cobertura, fauna silvestre adaptada a este ambiente. En lo referente al paisaje su fragilidad es media ya que aunque se encuentra en espacios altamente transformados corresponde a una estampa de la campiña del altiplano mexicano.

Conclusiones.

El Índice de Fragilidad Ambiental promedio obtenido es de 2.21 es decir que la fragilidad ecológica del conjunto es baja tendiendo a media. Los usos de suelo y vegetación que más aportan al promedio son la agricultura de temporal (3), seguido de tulares y carrizales (2.9) las nopaleras y cuerpo de agua (2.45 y 2.4).

Se considera que el índice obtenido sí refleja de manera apropiada la realidad del espacio en el cual se pretende el proyecto y, en particular las coberturas arriba indicadas son las más frágiles porque son aquellas que aún pueden ser afectadas negativamente al mantener un grado relativo de naturalidad.

En particular el vaso de Texcoco, que corresponde al cuerpo de agua, el cual se sujetó a un ambicioso plan de restauración a través del *Proyecto lago de Texcoco* iniciado en 1971 constituyó un llamado oficial para visualizar escenarios causa y efecto de problemas hidrológicos de la Cuenca de México ha derivado en un espacio que, pese a las adversidades ha mostrado una relativa recuperación. La fragilidad ecológica de este espacio, sobre el cual no incide el proyecto, lo hacen ser una pieza fundamental en la conservación de las rutas migratorias de invierno. Otros logros relevantes de este proyecto son:

1. *Formación de lagos artificiales y encauzamientos de los ríos para regular y controlar las avenidas, evitándose con ello inundaciones que hubieran sido graves y costosas para gran parte de la población de la zona.*
2. *Mediante los cuerpos de agua, la cobertura con pastos y las cortinas de árboles rompevientos se ha erradicado las tolvaderas que arrastraban sobre la Zona metropolitana grandes masas de polvo.*
3. *Se han logrado mantener 10 000 ha de la zona federal prácticamente libres de invasiones, lo que ha permitido realizar todas las obras e instalaciones del proyecto con pocas interferencias.*
4. *La labor conjunta en la cuenca tributaria de la zona montañosa ha rescatado de manera parcial el equilibrio hidrológico, abatiendo los picos de las avenidas de los ríos, controlado la erosión, recuperado suelos y propiciado la infiltración de agua de lluvia en el terreno y la recarga de acuíferos⁴.*

En lo referente a los usos de suelos agricultura de temporal y nopaleras, es fundamental apuntar que la biodiversidad es la base de la variedad de cultivos y

⁴ Proyecto Lago de Texcoco. Rescate hidrológico. Comisión Nacional del Agua, 1998

alimentos con los que las civilizaciones humanas han crecido y de la cual dependen en términos generales, y en particular en los campos de cultivo no tecnificados se promueve el uso y conservación de la biodiversidad ya que esta práctica usa el agua, la tierra y los nutrientes de manera eficaz produciendo beneficios económicos y sociales. Es por esta razón que el IFE alcanza el valor más alto de fragilidad. La pérdida de estas superficies o su transformación a lo urbano serían irreversibles y su costo ambiental elevado.

Finalmente, en el entendido de que la fragilidad ecológica valorada para el sitio de estudio, de manera particular en los 8 usos de suelo y en la totalidad del SAR, se relaciona con su capacidad de resiliencia para volver a un estado semejante a aquel existente previo a la perturbación se tiene, en este caso, que la fragilidad es baja puesto que el espacio así estudiado ya se encuentra severamente modificado por la presencia humana histórica.