

A L T O Z A N O
L A N U E V A M O R E L I A



DTU

MODALIDAD A

CAPÍTULO IV.

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA, SUBCUENCA O MICROCUENCA, DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA SUPERFICIE SOLICITADA INCLUYENDO CLIMA, TIPOS DE SUELO, TOPOGRAFÍA, HIDROGRAFÍA, GEOLOGÍA Y LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA POR TIPOS DE VEGETACIÓN Y COMPOSICIÓN DE GRUPOS FAUNÍSTICOS.

PROYECTO:

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN
TERRENOS FORESTALES PARA
EL FRACCIONAMIENTO
BOSQUE MONARCA.**

SEGA

PLANEACIÓN Y DESARROLLO



ÍNDICE

IV. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA, SUBCUENCA O MICROCUENCA, DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA SUPERFICIE SOLICITADA INCLUYENDO CLIMA, TIPOS DE SUELO, TOPOGRAFÍA, HIDROGRAFÍA, GEOLOGÍA Y LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA POR TIPOS DE VEGETACIÓN Y COMPOSICIÓN DE GRUPOS FAUNÍSTICOS	14
IV.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DONDE PRETENDE ESTABLECERSE EL PROYECTO.....	14
IV.1.1 Criterios para la delimitación de la Cuenca Hidrológico-Forestal (CHF).....	17
IV.2 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CUENCA HIDROLÓGICO-FORESTAL	20
IV.2.1 Caracterización y análisis retrospectivo de la calidad ambiental del sistema ambiental de la cuenca	20
IV.2.2 Regiones de interés ambiental	27
IV.2.3 Medio físico	49
IV.2.4 Medio biótico	135
IV.3 MEDIO SOCIOECONÓMICO	231
IV.3.1 Contexto regional	231
IV.3.2 Dinámica poblacional.....	234
IV.3.3 Actividades económicas	238
IV.3.4 Vivienda	243
IV.3.5 Índices socioeconómicos.....	245
IV.3.6 Conclusiones del medio socioeconómico de la CHF	247

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla IV—1. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16045 (El Temazcal, Charo, Michoacán)	52
Tabla IV—2. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16045 (El Temazcal, Charo, Michoacán)	53
Tabla IV—3. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16055 (Jesús del Monte, Morelia, Michoacán)	54
Tabla IV—4. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16055 (Jesús del Monte, Morelia, Michoacán)	55
Tabla IV—5. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16081 (Morelia, Morelia, Michoacán)	56
Tabla IV—6. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16081 (Morelia, Morelia, Michoacán)	57
Tabla IV—7. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16022 (Cointzio, Morelia, Michoacán)	58
Tabla IV—8. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16022 (Cointzio, Morelia, Michoacán)	59
Tabla IV—9. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16120 (Santiago Undameo, Morelia, Michoacán)	60
Tabla IV—10. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16120 (Santiago Undameo, Morelia, Michoacán)	61
Tabla IV—11. Eventos meteorológicos extremos (huracanes) originados en el Océano Pacífico y reportados para el Estado de Michoacán en el período de 1971 al 2022	68
Tabla IV—12. Superficies de la CHF por Subprovincia fisiográfica	78
Tabla IV—13. Geología de la CHF	84
Tabla IV—14. Clasificación granulométrica del suelo	90

Tabla IV—15. Infiltración instantánea (permeabilidad) en mm/hr según la textura del suelo	96
Tabla IV—16. Superficie de los tipos de suelo en la CHF	100
Tabla IV—17. Clasificación de los rangos de erosión hídrica, aplicando la ecuación RUSLE, para la interpretación de los mapas	105
Tabla IV—18. Erosión hídrica potencial estimada para la CHF	108
Tabla IV—19. Microcuencas de la CHF	113
Tabla IV—20. Fuentes de abastecimiento de agua para la Ciudad de Morelia	118
Tabla IV—21. Disponibilidad histórica y proyectada de recursos hídricos en Michoacán	121
Tabla IV—22. Análisis de calidad de agua residual en la Ciudad de Morelia, Michoacán (2005-2006)	125
Tabla IV—23. Valores límites de contaminantes atmosféricos permitidos por Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire Ambiente	128
Tabla IV—24. Evaluación del desempeño del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire para la Zona Metropolitana de Morelia.....	131
Tabla IV—25. Estadística descriptiva del promedio diario de O3 en Morelia por año (2007-2014)	133
Tabla IV—26. Estadística descriptiva del promedio diario de SO2 en Morelia por año (2014)	133
Tabla IV— 27. Estadística descriptiva del promedio diario de NO2 en Morelia por año (2014)	134
Tabla IV—28. Estadística descriptiva del promedio diario de CO en Morelia por año (2014)	134
Tabla IV—29. Coordenadas UTM Zona 14 N de los sitios de muestreo de la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF)	139
Tabla IV—30. Resultados de los estimadores no paramétricos de riqueza potencial utilizados para la CHF del proyecto	143

Tabla IV—31. Eficiencia del esfuerzo de muestreo en la CHF delimitada para el proyecto	145
Tabla IV—32. Superficie dentro de la CHF por uso de suelo y/o vegetación identificado y porcentaje con respecto a la superficie total de la CHF	153
Tabla IV—33. Valores estructurales para el bosque de encino de la CHF	162
Tabla IV—34. Riqueza taxonómica registrada para los tres estratos de bosque de encino de la CHF	165
Tabla IV—35. Parámetros ecológicos (densidad, dominancia y frecuencia) absolutos y relativos, e índice de valor de importancia (IVI) para cada estrato de las especies del bosque de encino de la CHF	168
Tabla IV—36. Abundancia, riqueza, diversidad y equidad de los tres estratos que componen el bosque de encino de la CHF	171
Tabla IV—37. Valores estructurales para el bosque de encino-pino de la CHF	173
Tabla IV—38. Riqueza taxonómica registrada para los tres estratos del bosque de encino-pino en la CHF	177
Tabla IV—39. Parámetros ecológicos (densidad, dominancia y frecuencia) absolutos y relativos, e índice de valor de importancia (IVI) para cada estrato del bosque de encino-pino de la CHF	179
Tabla IV—40. Abundancia, riqueza diversidad y equidad de los tres estratos que componen el bosque de encino-pino de la CHF	181
Tabla IV—41. Ubicación espacial de los diferentes tipos de trampas para registro de mamíferos en la CHF	199
Tabla IV—42. Transectos utilizados para el muestreo de fauna silvestre en la CHF	206
Tabla IV—43. Número de especies, familias y órdenes de los diferentes grupos de vertebrados registrados en la CHF	210
Tabla IV—44. Listado general de especies de vertebrados terrestres registradas durante los trabajos de campo en la CHF	211

Tabla IV—45. Especies registradas en la CHF del proyecto que se encuentran en alguna categoría de protección, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010	216
Tabla IV—46. Coordenadas de los registros de fauna silvestre enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	217
Tabla IV—47. Listado de las especies registradas en el monitoreo que se consideran endémicas a México	220
Tabla IV—48. PEA de 12 años y más por sexo	239
Tabla IV—49. PEA Activa, Ocupada y Desocupada por Género	240
Tabla IV—50. Aportación al PIB estatal por actividad económica	241
Tabla IV—51. Empleo formal por sector económico.	242
Tabla IV—52. Tipo de piso de la vivienda	243
Tabla IV—53. Acceso a servicios básicos de la vivienda	243
Tabla IV—54. Disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y comunicación.	244
Tabla IV—55. Índice de Rezago Social de Morelia (2020)	246

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV—1. Ubicación geográfica del Proyecto	15
Figura IV—2. Ubicación geográfica de la CHF	16
Figura IV—3. Delimitación de la CHF por Microcuencas	19
Figura IV—4. Delimitación de la veda forestal de los bosques cercanos al río Chiquito (1936) y CHF	26
Figura IV—5. Ubicación de la CHF con respecto a las Áreas Naturales Protegidas Federales	30
Figura IV—6. Ubicación de la CHF con respecto a las Áreas Naturales Protegidas Estatales	34
Figura IV—7. Ubicación de la CHF con respecto a los sitios Ramsar	36
Figura IV— 8. RTP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto	40
Figura IV—9. RHP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto.....	44
Figura IV—10. RMP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto	46
Figura IV—11. AICA's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto	48
Figura IV—12. Clima de la CHF	50
Figura IV—13. Estaciones meteorológicas cerca de la CHF	51
Figura IV—14. Climograma de la estación 16045 El Temazcal.....	53
Figura IV—15. Climograma de la estación 16055 Jesús del Monte	55
Figura IV—16. Climograma de la estación 16081 Morelia	57
Figura IV—17. Climograma de la estación 16022 Cointzio	59
Figura IV—18. Climograma de la estación 16120 Santiago Undameo.....	61
Figura IV—19. Temperatura promedio de la CHF	62
Figura IV—20. Precipitación promedio de la CHF.....	63

Figura IV—21. Velocidad del viento del 1° de enero al 6 de diciembre de 2022. Fuente: Estación Meteorológica del Posgrado de Ing. Electrónica del Instituto Tecnológico de Morelia (2022).....	64
Figura IV—22. Probabilidad de heladas en la CHF	67
Figura IV—23. Trayectoria histórica de huracanes en la CHF.....	73
Figura IV—24. Provincia fisiográfica en la que está contenida la CHF	76
Figura IV—25. Placas tectónicas de México	77
Figura IV—26. Subprovincias fisiográficas en las que está contenida la CHF	80
Figura IV—27. Geología de la CHF	85
Figura IV—28. Triángulo de las Texturas (USDA, 1969).....	91
Figura IV—29. Influencia de la estructura del suelo en la infiltración del agua	92
Figura IV—30. Representación esquemática de los distintos horizontes que conforman el perfil del suelo.....	98
Figura IV—31. Tipos de suelo en la CHF	101
Figura IV—32. Mapas para los factores generados con la herramienta “Análisis de Erosión Hídrica” para estimar la erosión potencial en la CHF del proyecto.....	106
Figura IV—33. Mapa de la pérdida de suelo hídrica potencial en la CHF y área del proyecto	107
Figura IV—34. Cuencas hidrográficas en las que se encuentra la CHF	111
Figura IV—35. Subcuencas hidrográficas en las que se encuentra la CHF	112
Figura IV—36. Microcuencas hidrográficas en las que se encuentra la CHF	114
Figura IV—37. Hidrología superficial de la CHF	117
Figura IV—38. Acuíferos de la CHF	120
Figura IV—39. Ubicación de los sitios de muestreo a nivel de la CHF	140
Figura IV—40. Curva de acumulación de especies observadas e intervalos de confianza al 95% para la CHF	144

Figura IV—41. Curva de acumulación de especies observadas y esperadas para la CHF mediante estimadores no paramétricos	145
Figura IV—42. Métodos de muestreo utilizados para el levantamiento de datos dasométricos.	148
Figura IV—43. Usos de suelo y vegetación identificados para la CHF delimitada para el proyecto.....	154
Figura IV—44. Vista general de los cultivos de la zona con agricultura de riego dentro de la CHF	155
Figura IV—45. Vista general de las áreas con agricultura de temporal anual en la CHF	156
Figura IV—46. Vista general de los Asentamientos Humanos presentes en la CHF del proyecto.....	157
Figura IV—47. Vista general del bosque cultivado presente en la CHF del proyecto.	158
Figura IV—48. Vista general de las áreas con Bosque de Encino dentro de la CHF del proyecto.....	159
Figura IV—49. Vista general del bosque de encino-pino presente en la CHF del proyecto	160
Figura IV—50. Vista general de las áreas de Pastizal Cultivado dentro de la CHF	160
Figura IV—51. Vista general de las áreas de Pastizal Inducido dentro de la CHF	161
Figura IV—52. Clases diamétricas en el bosque de encino para la CHF	162
Figura IV—53. Clases de altura para el bosque de encino de la CHF.....	163
Figura IV—54. Familias dominantes e individuos por familia botánica en el bosque de encino de la CHF	164
Figura IV—55. Clases diamétricas en el bosque de encino-pino para la CHF	174
Figura IV—56. Clases de altura para el bosque de encino-pino de la CHF.....	175
Figura IV—57. Familias dominantes e individuos por familia botánica en el bosque de encino-pino de la CHF	176

Figura IV—58. Número de especies endémicas y/o bajo alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas en la CHF	183
Figura IV—59. Esquema donde se ejemplifica un transecto en franja	192
Figura IV—60. Red de niebla instalada a nivel de sotobosque (tomado de Nagorsen y Peterson, 1980)	196
Figura IV—61. Secuencia de extracción de un murciélago de la red	198
Figura IV—62. Ubicación espacial de los diferentes tipos de trampas utilizadas para registro de mamíferos en la CHF	200
Figura IV—63. Ubicación de los transectos utilizados durante los muestreos de campo en la CHF	207
Figura IV—64. Proporción de especies registradas por cada Clase de vertebrados	210
Figura IV—65. Número de especies por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (última actualización de 2019).....	215
Figura IV—66. Número de especies por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (última actualización de 2019).....	216
Figura IV—67. Fauna silvestre registrada en la CHF que se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	219
Figura IV—68. Proporción de especies endémicas para cada Clase de vertebrados, con respecto del total de especies caracterizadas para la CHF	222
Figura IV—69. Número de especies registradas en la CHF del proyecto por estatus de residencia	223
Figura IV—70. Número de especies por estatus de residencia para cada clase de vertebrados.....	224
Figura IV—71. Riqueza de vertebrados obtenida durante los trabajos de campo en la CHF	225
Figura IV—72. Curva de acumulación de las especies de vertebrados registradas en la CHF	227

Figura IV—73. Abundancia de vertebrados registrados en la CHF. Gráfico en escala log. Base 10	228
Figura IV—74. Regiones Socioeconómicas de México	232
Figura IV—75. Municipios con mayor y menos población de Michoacán de Ocampo (2020).	234
Figura IV—76. Población total y tasa de crecimiento promedio anual del estado de Michoacán de Ocampo (1895-2020). Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020	235
Figura IV—77. Estructura de la población del estado de Michoacán de Ocampo (2000, 2010 y 2020). Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020	236
Figura IV—78. Causas de migración en Michoacán de Ocampo (2020)	238
Figura IV—79. Porcentaje de la población por condición de pobreza multidimensional. Fuente: Secretaría de Bienestar con Información de CONEVAL e INEGI 2020	247

FUNDAMENTO JURÍDICO

La integración de este capítulo tiene por objeto dar cumplimiento a lo dispuesto en el “ACUERDO por el que se expiden los lineamientos y procedimientos para solicitar en un trámite único ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales las autorizaciones en materia de impacto ambiental y en materia forestal que se indican y se asignan las atribuciones correspondientes en los servidores públicos que se señalan”, en cuyo artículo Primero establece lo siguiente:

Primero. *Se establecen los trámites unificados de aprovechamiento forestal y de cambio de uso de suelo forestal, este último en sus modalidades A y B ...*

El presente trámite único se presenta en su modalidad A con fundamento en lo dispuesto por la fracción IV del Artículo Segundo y conteniendo la información señalada por el Artículo Sexto del Acuerdo en cuestión, los cuales a letra dicen:

Segundo. *Para los efectos del presente Acuerdo se entenderá por:*

...

IV. *Trámite unificado de cambio de uso de suelo forestal, modalidad A: es el que integra en un solo procedimiento administrativo el trámite relativo a la autorización en materia de impacto ambiental para las obras o actividades descritas sólo en la fracción VII del artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y el correspondiente a la autorización de cambio de uso de suelo forestal previsto en el artículo 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.*

...

Sexto. *El documento técnico unificado correspondiente al trámite unificado de cambio de uso de suelo forestal modalidad A, contendrá la información indicada en los artículos 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (actualmente Artículo 93 de Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2018).y 121 de su Reglamento (actualmente Artículo 141 del Nuevo reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de diciembre de 2020), así como la señalada en el artículo 12, fracciones I, III, V y VIII, del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.*

Con base en lo anterior, el presente capítulo se centrará en dar cumplimiento a lo dispuesto por la Fracción III del Artículo 141 del Nuevo Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que señala lo siguiente:

Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Artículo 141. *Los estudios técnicos justificativos a que se refiere el artículo 93 de la Ley, deberán contener, por lo menos, lo siguiente:*

...

III. *Descripción de los elementos físicos y biológicos de la cuenca hidrográfica, subcuenca o microcuenca, donde se encuentra ubicada la superficie solicitada incluyendo clima, tipos de suelo, topografía, hidrografía, geología y la composición y estructura florística por tipos de vegetación y composición de grupos faunísticos;*

...

Acorde con lo señalado previamente, 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 de la Cuenca Hidrológico Forestal delimitada por microcuencas hidrográficas.

Lo anterior, con el objeto de hacer una correcta identificación de sus condiciones ambientales y de las principales tendencias de desarrollo y/o de deterioro, con el propósito de hacer un diagnóstico adecuado de la Cuenca Hidrológico Forestal.

IV. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA, SUBCUENCA O MICROCUENCA, DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA SUPERFICIE SOLICITADA INCLUYENDO CLIMA, TIPOS DE SUELO, TOPOGRAFÍA, HIDROGRAFÍA, GEOLOGÍA Y LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA POR TIPOS DE VEGETACIÓN Y COMPOSICIÓN DE GRUPOS FAUNÍSTICOS

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

Como se describió a detalle en el Capítulo III del presente Documento Técnico Unificado en su modalidad A para el “*Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca*”, las superficies de cambio de uso de suelo en terrenos forestales (superficies de CUSTF) se encuentran en su totalidad dentro del Municipio de Morelia, en el estado de Michoacán de Ocampo (Figura IV—1).

El polígono propuesto para la Cuenca Hidrológico-Forestal (CHF) en la que se encuentra comprendido el Predio o Área del Proyecto —y en la que se centra el presente capítulo— abarca una superficie de 6,979.07 ha y también se ubica por completo dentro de Morelia, Michoacán (Figura IV—2).

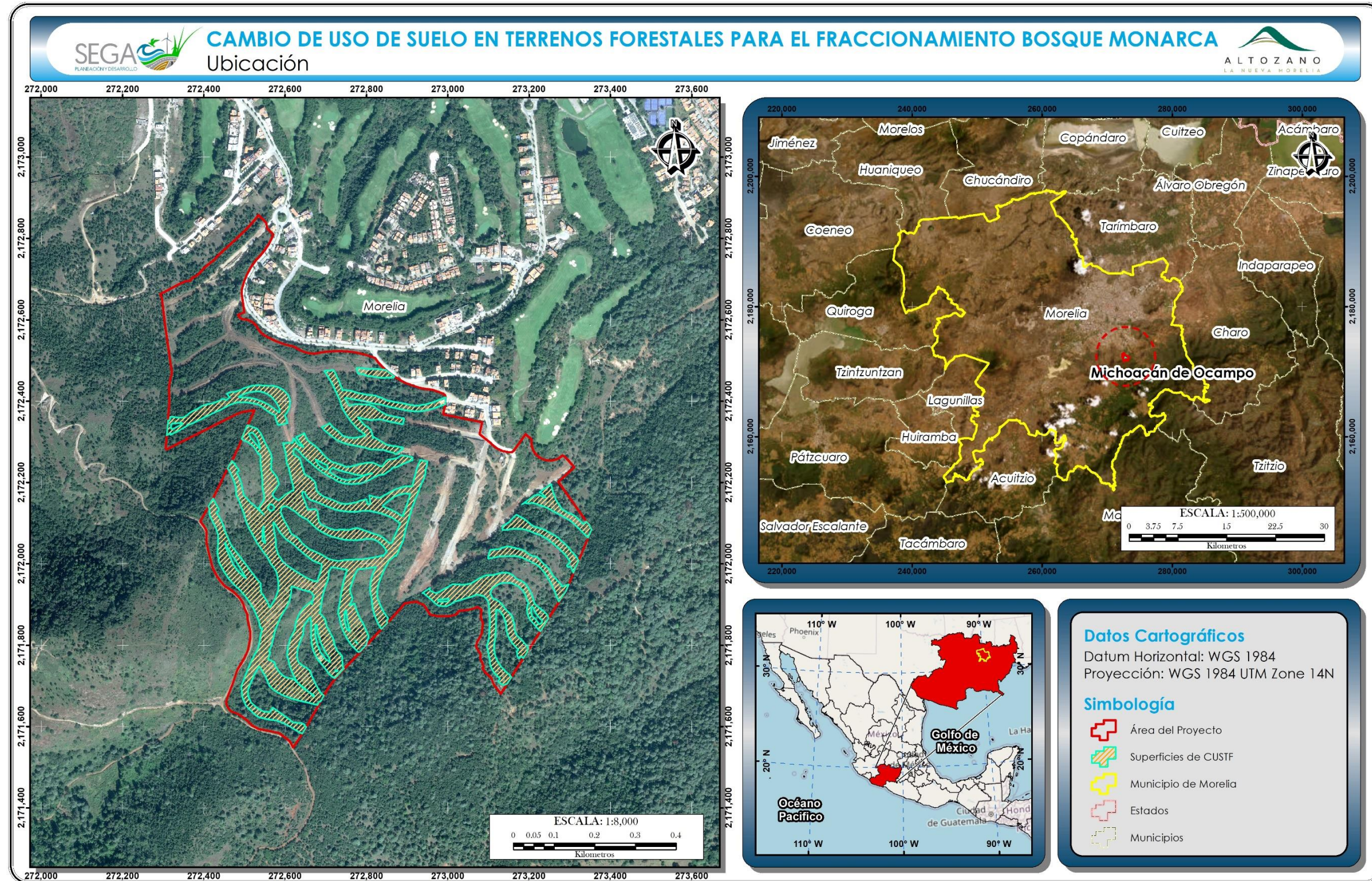


Figura IV—1. Ubicación geográfica del Proyecto

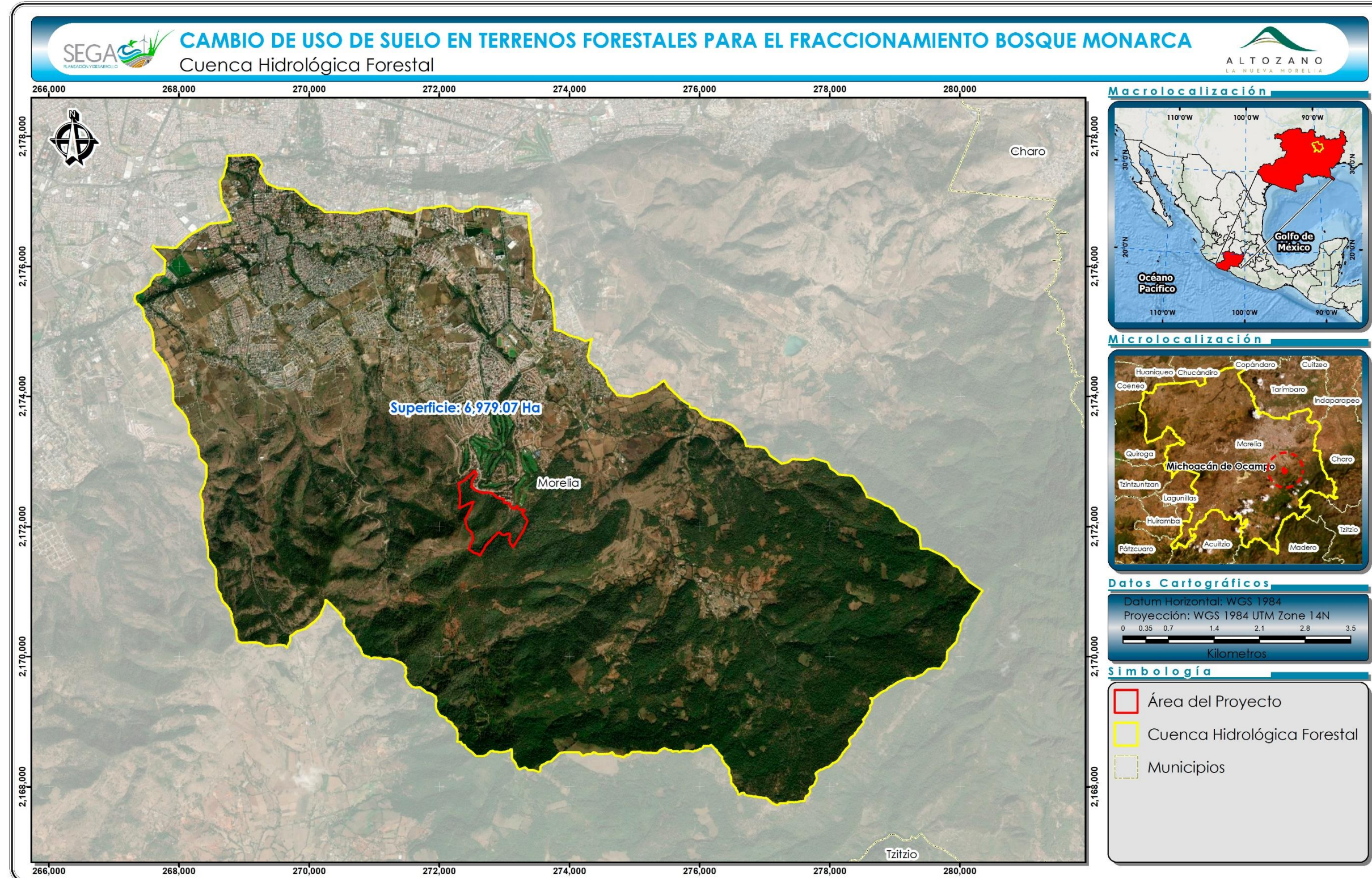


Figura IV—2. Ubicación geográfica de la CHF

IV.1.1 Criterios para la delimitación de la Cuenca Hidrológico-Forestal (CHF)

La delimitación de la CHF se dio a nivel de microcuenca (Figura IV—3), ya que son las unidades funcionales que mejor reflejan el espacio de atención integral en el que se presentan los procesos naturales que permiten el funcionamiento de la zona, y en las que se contendría el área de afectación de los potenciales impactos ambientales derivados del Proyecto.

Por consiguiente, se realizó un estudio de hidroprocesamiento para delimitar la CHF. El hidroprocesamiento puede definirse como: “La metodología automatizada que permite el fácil y preciso trazado de escurrimientos superficiales y delimitación de Cuencas, Microcuencas y hasta Nanocuencas empleando Modelos Digitales del Terreno (MDT) y diferentes algoritmos, en los cuales se encuentra la determinación de patrones de acumulación de flujos superficiales” (ESRI, 2000). Tiene por objetivo conocer los caudales generados mediante las escorrentías superficiales, así como la delimitación de las áreas de terreno en donde éstas hacen su aporte hídrico. Estos caudales se emplean, desde la óptica de los estudios y procesos ambientales, como una unidad al tomar la cuenca hidrológica como base para delimitar un sistema.

Fundado en lo anterior, se emplearon las herramientas de hidrología “Hydrology Tools” de la extensión ArcGIS Spatial Analyst para realizar el trazado de las escorrentías de las microcuencas de la CHF. Hydrology Tools se utiliza para describir los componentes físicos y modelar el flujo de agua a través de una superficie. Estas herramientas permiten identificar sumideros, determinar la dirección de flujo, calcular la acumulación de flujo, delinear cuencas microcuencas y nanocuencas hidrográficas y crear redes de corrientes, haciendo posible la generación de un modelo geo-espacial y de datos para recursos hídricos. Un modelo de datos es distinto de un modelo de simulación ya que provee un marco normalizado para almacenar la información.

Hydrology Tools, por consiguiente, provee los medios para conectar modelos de simulación a través de un sistema de almacenamiento de datos común, lo que facilita la tarea de determinación de patrones de acumulación superficial, trazado de escurrimientos y delimitación de Cuencas, microcuencas y nanocuencas a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDT). Derivado de lo anterior podemos concluir que Hydrology Tools es ideal para aplicaciones de recursos hídricos.

Desde un punto de vista geohidrológico, la ciudad de Morelia se localiza en una sub-cuenca fluvio-lacustre comprendida dentro de la cuenca del Lago de Cuitzeo (Garduño-Monroy *et al.*, 2014). Con base en la delimitación de cuencas y subcuencas hidrológicas propuesta por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las microcuencas correspondientes a la CHF pertenecen a la Subcuenca Lago de Cuitzeo, ubicada dentro de la Cuenca Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Laguna de Yuriria. Las características de estas microcuencas se detallarán en el apartado *IV.2.3.4 Agua* del presente capítulo.

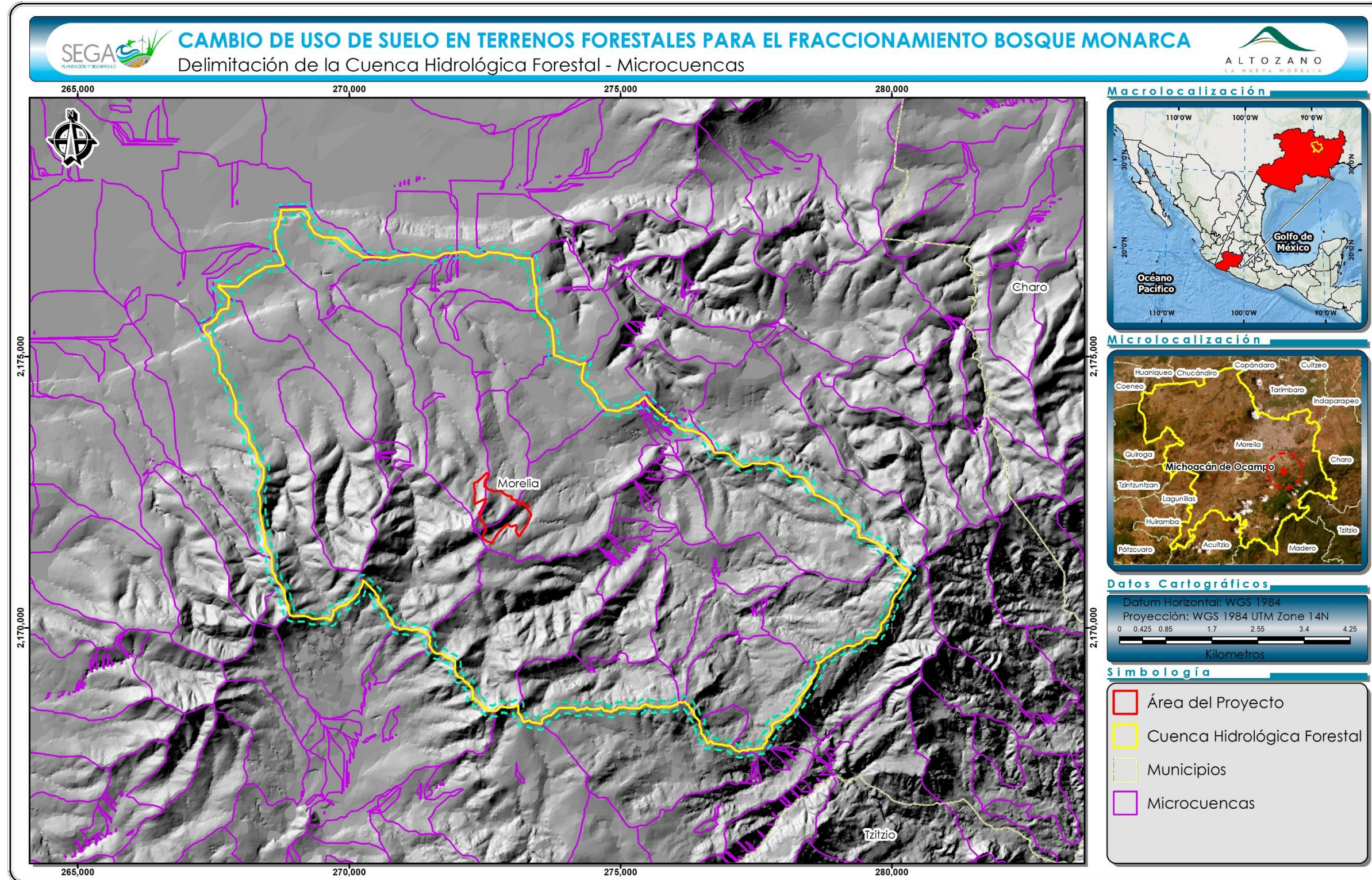


Figura IV—3. Delimitación de la CHF por Microcuencas

IV.2 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CUENCA HIDROLÓGICO-FORESTAL

IV.2.1 Caracterización y análisis retrospectivo de la calidad ambiental del sistema ambiental de la cuenca

Calidad del agua

Como se mencionará más adelante en el apartado *IV.2.2.4 Agua* del presente capítulo, la superficie de la CHF se encuentra contenida dentro de las microcuencas Morelia, Morelos, Río Chiquito, El Palmar, Atécuaro y Tumbisca, en la subcuenca Lago de Cuitzeo. Durante la época prehispánica, la cuenca del Lago de Cuitzeo compartió el elevado nivel socioeconómico y cultural de Mesoamérica. Dado que se encontraba en la frontera del territorio tarasco o purépecha, constituía una importante ruta en la que ocurría el intercambio cultural entre los pueblos del Altiplano Mexicano, el Bajío de Guanajuato y Querétaro, la zona lacustre de Pátzcuaro y la costa del Pacífico (Macías-Goytia, 2001). Fue una zona densamente poblada con numerosos centros ceremoniales en la que las personas se concentraban en centros habitacionales circundantes al lago (Escobar, 1970). Las actividades económicas de la cuenca incluían la pesca, el intercambio de productos y, quizá, el comercio (Escobar, 1970), pero la agricultura estaba poco desarrollada (Ochoa y Sánchez, 1985). Por ende, desde tiempos prehispánicos, la cuenca del Lago de Cuitzeo se ha caracterizado por la presión demográfica sobre los recursos lacustres.

Específicamente para el caso de la Ciudad de Morelia, se sabe que la parte baja de la loma de Santa María en el valle del Río Chiquito contaba con un asentamiento prehispánico pequeño entre el siglo IV y X. Posteriormente, los matlatzincas se establecieron en la zona y fundaron poblados en donde hoy existen Charo, Santiago Undameo, Jesús del Monte y Santa María (Basalenque, 1989; Herrejón, 1991; Martínez, 2002). El Río Chiquito fue aprovechado desde tiempos prehispánicos por

los pueblos de Jesús del Monte y Santa María, y este aprovechamiento continuó durante la Colonia (Herrejón-Peredo, 2000), sirviendo como única fuente de abastecimiento de agua para toda la ciudad hasta 1950 (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

Durante la Colonia se establecieron numerosas haciendas escasamente tecnificadas en las zonas ribereñas de la ciudad (López-Núñez, 2005; Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014), en las que se llevaron a cabo actividades ganaderas y agrícolas como el cultivo de temporal de hortalizas, frutales y cereales (Carreón-Nieto, 2014), particularmente trigo. En 1895, Morelia contaba con 43 haciendas y 325 ranchos que, en muchas ocasiones, impedían el acceso a recursos importantes del resto de la población. Tal fue el caso de la Hacienda El Rincón, en donde nacía el Río Chiquito y cuyo dueño contaba con derecho del usufructo del agua sin restricción desde el siglo XVII (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

Además del uso del agua para abastecer a las haciendas y a la población de Morelia, el Río Chiquito se vio afectado por la fabricación de ladrillos en sus orillas, además de que sus canales se usaron como desagüe de las aguas negras de la ciudad desde finales del siglo XIX (Lucio-Martínez, 2006). Por lo tanto, este cuerpo de agua y su ribera han presentado contaminación como resultado de la actividad humana por más de un siglo. Para mitigar este impacto y el de la deforestación que afectaba a la parte alta de la cuenca, desde el Porfiriato se instaló una planta de sedimentación y filtrado en la entrada de la cañada El Rincón. No obstante, esta tecnología dejó de usarse en 1906 porque el alumbre que se utilizaba como parte del proceso de potabilización afectaba la salud de la población (Ávila, 2007; Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

Cabe mencionar que, desde su fundación, la actual ciudad de Morelia sufrió de inundaciones por el crecimiento del nivel de los Ríos Grande y Chiquito. El problema se acrecentó conforme se azolvieron los ríos, se construyeron presas, se realizó la extracción inadecuada de arenas y se establecieron asentamientos inmediatos a los

cauces, ya que se generaron nuevos encharcamientos y pantanos que, bajo la perspectiva de los conquistadores españoles, fomentaban la propagación de enfermedades.

En consecuencia, durante la segunda mitad del siglo XIX y el siglo XX, las autoridades intentaron atender el problema de las inundaciones, el abasto de agua y la modernización del sistema de drenaje. Para ello, llevaron a cabo distintas medidas como la rectificación de la sección más cercana a la ciudad del cauce del río Chiquito (1937) (Ávila, 2007) y la inauguración de la presa de Cointzio (1940), que contribuyó al abastecimiento de agua de Morelia con un caudal adicional de 300 litros por segundo a partir de 1950 (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014). Aunado a esto, se amplió el sistema de drenaje y se desecaron las ciénegas resultantes de las inundaciones, aunque éstas tenían un alto valor ecológico y productivo y proveían recursos como peces, ranas, culebras, aves y tule para la población indígena (Oseguera-Medina, 2014). El agua se extrajo por bombeo y los antiguos pantanos se rellenaron con desechos sólidos del asentamiento humano, empleándose estas nuevas superficies para el cultivo y la construcción de casas de campo (Ávila, 2007).

No obstante, continuaron los problemas con la calidad del agua debidos al azolve y a los sólidos, por lo que, en 1952, se inauguró una planta potabilizadora para tratar el agua proveniente de la presa Cointzio; a mediados de la década de 1960 se modificó dicha planta para tratar el agua proveniente de la ex hacienda El Rincón y reducir la turbiedad de la que llegaba a la presa. Posteriormente, la Ley Estatal para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (1969) contribuyó a satisfacer algunas de las necesidades hídricas de los habitantes del área urbana y de las tenencias de Morelia (Ávila, 2007).

A pesar de las medidas antes mencionadas, de acuerdo con el diagnóstico y evaluación hidrológica realizados por Sánchez-Sepúlveda (2011), el agua de la cuenca del Río Chiquito sigue presentando una gran turbidez y un alto contenido de sólidos en suspensión. Además, como se mencionará brevemente en el apartado

IV.2.3.4.5 Disponibilidad actual del agua, el municipio de Morelia en particular enfrenta escasez generalizada de agua y sus ríos cada vez están más contaminados debido a los desechos sólidos y las aguas residuales.

Recursos forestales

Con respecto a los recursos forestales, en el siglo XVII, el cronista Diego de Basalencque (1989) mencionó que Morelia (entonces Valladolid) estaba rodeada por abundantes bosques con madera de calidad, enfatizando la importancia del aprovechamiento forestal en la zona desde tiempos coloniales.

En 1885, el 90% de la superficie del municipio de Morelia (11,500 ha) se encontraba cubierta por poco más de 100,000 ha de “bosques y montes” (Talavera-Alfaro, 2002). No obstante, algunas localidades ya presentaban un deterioro notable de los recursos forestales producto de un mal manejo, como es el caso del pueblo de Jesús del Monte, ubicado a 6 km de la ciudad de Morelia. Para inicios del siglo XIX, los bosques de esta localidad ya se encontraban en estado crítico debido al mal manejo forestal para la producción de madera y carbón (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

En los años 30 del siglo pasado, la cuenca del Río Chiquito era de gran importancia para la ciudad de Morelia, ya que servía para la captación de agua pluvial, la agricultura, el aprovechamiento forestal, la recreación y, en menor medida, la ganadería y la fruticultura. Por esos años, la vegetación consistía en extensas superficies de bosque de pino, encino, matorral subtropical, bosque de galería y bosque artificial de eucalipto, pero el acelerado cambio de uso de suelo agrícola y la tala clandestina ejerció presión sobre la fauna y flora local (Pérez-Talavera, 2020).

Para proteger y conservar los bosques de la explotación desmedida, el Presidente Lázaro Cárdenas (1934-1940) realizó distintas gestiones entre las que se encontró la aplicación de una veda forestal en la cuenca hidrológica del Río Chiquito en 1936 (Fig. IV-4). Justificó la adopción de esta medida argumentando que la deforestación incesante en la ciudad comprometía la captación de lluvia que era indispensable

para el abastecimiento de agua potable de la ciudad. También implementó un programa de reforestación para evitar deslizamientos, azolves y futuras inundaciones. Un mes después, decretó la protección estricta, aprovechamiento forestal exclusivo de madera muerta y reforestación de los bosques en los montes circundantes de Morelia, principalmente aquéllos que formaban parte de la cuenca del Río Grande (Pérez-Talavera, 2020). No obstante, como resultado de estas vedas forestales, se incrementó la tala clandestina. Esto contribuyó a la extinción de los bosques maderables del Cerro Azul de Jesús del Monte y del pueblo vecino de San Miguel del Monte (Vargas, 2008).

La segunda mitad del siglo XX estuvo marcada por la presión a los bosques debida al crecimiento poblacional y urbano en Morelia, así como al aprovechamiento forestal a escala industrial. El número de habitantes creció de 44,300 a 161,000 entre 1940 y 1970, y el área urbana de Morelia se duplicó entre 1950 y 1970 hasta ocupar 1,377 hectáreas, pasando el número de colonias de cuatro en 1942 a once en 1965 (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

Entre 1964 y 1994 sucedió la expropiación de terrenos ejidales y la enajenación de bienes nacionales de 2,287 ha en el sureste de la ciudad. Estos terrenos fueron concesionados, en su mayoría, a promotoras de vivienda social y a privados para su fraccionamiento y urbanización como respuesta al crecimiento poblacional. Según los datos del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Morelia, la mancha urbana creció un 220% entre 1980 y 2019, lo cual incrementó la tala de los bosques locales (Mendoza, 2022). Sin embargo, de acuerdo con Guevara (2009), el principal cambio se ha dado en términos de la composición específica de los bosques, ya que los de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.) se han reducido drásticamente de 1975 al 2007 debido a la explotación maderera y de carbón respectivamente, mientras que los bosques mixtos han crecido porque los habitantes de la cuenca del Río Chiquito prefieren sitios con dominancia marcada o presencia exclusiva de uno de los géneros.

Sumando a la presión sobre los bosques descrita anteriormente, en la década de 1970 inició la explotación forestal industrial en Morelia con la fábrica de Celulosa y Papel de Michoacán S. A. (CEPAMISA), que realizaba el aprovechamiento diario de 1,500 m² de madera y la extracción de 10,000 litros de agua potable (Vargas, 2008; Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014).

Finalmente, a inicios de este siglo, las zonas rurales ubicadas en la periferia del sureste de Morelia fueron adquiridas por grupos empresariales para convertirlas en complejos habitacionales cerrados (Sánchez-Sepúlveda y Urquijo-Torres, 2014). De acuerdo con Arturo Chacón Torres, investigador decano del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), del 60 al 70% de la cobertura forestal del sur de Morelia ha sido deforestada como resultado del crecimiento exponencial de fraccionamientos en esa parte de la Ciudad. Esto, a su vez, compromete la disponibilidad de agua de la región al afectar la infiltración de este recurso en los bosques (Guerrero, 2021).

Debido a la presión que la construcción de estos complejos ejerce sobre el medio ambiente, es crucial que ésta se lleve a cabo bajo un estricto cumplimiento de todas las disposiciones legales municipales, estatales y federales aplicables, además de proponer y ejecutar medidas de prevención, mitigación y compensación que reduzcan el impacto ambiental de los proyectos.

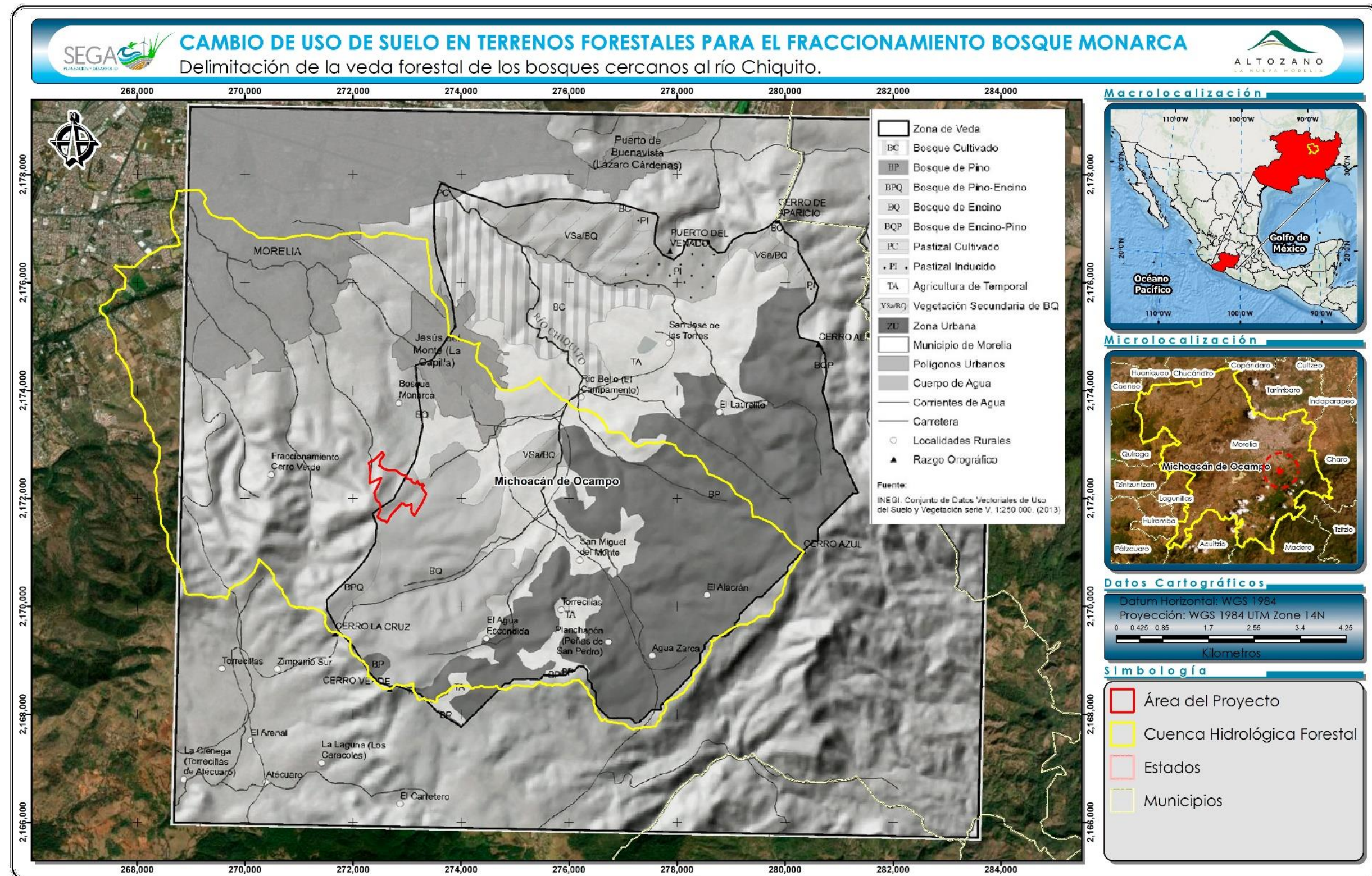


Figura IV—4. Delimitación de la veda forestal de los bosques cercanos al Río Chiquito (1936) y CHF

IV.2.2 Regiones de interés ambiental

A partir del polígono que se delimitó para la CHF, se realizó una investigación documental cartográfica para determinar si ésta se ubica en algún sitio que guarde características naturales con algún grado de importancia, como son: Áreas Naturales Protegidas (ANP's) de carácter federal o estatal, humedales de importancia para la Convención Ramsar, así como Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves, y Regiones Terrestres, Marinas e Hidrológicas Prioritarias, acorde con los ejercicios de regionalización desarrollados por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Es importante mencionar que no existen instrumentos normativos que restrinjan actividades en las regiones prioritarias identificadas por la CONABIO, por lo que no existe algún impedimento legal para realizar proyectos como el tratado en este documento. Sin embargo, la designación de un sitio como una región prioritaria debe verse como un compromiso intrínseco de conservación, y por ello, cualquier desarrollo en estas áreas deberá contemplar la implementación de medidas de mitigación que reduzcan el impacto directo a la biodiversidad, o de manera indirecta, si se afectan los procesos que pueden ser determinantes para el adecuado funcionamiento del ecosistema.

La vinculación jurídica con las Áreas Naturales Protegidas y otras regiones de interés ambiental a escala del Predio se detallará en el Capítulo XVI.

IV.2.2.1 Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son las zonas del territorio nacional en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restaurada; están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según

categorías establecidas en la Ley. Las ANP son creadas por un decreto presidencial y las actividades que pueden realizarse en ellas son de acuerdo con lo establecido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su Reglamento, el Programa de Manejo y los Programas de Ordenamiento Ecológico, (CONANP, 2010).

Áreas Naturales Protegidas Federales

Con base en el listado del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, se analizó la localización de la CHF con respecto a las poligonales de Áreas Naturales Protegidas con decreto Federal, donde se encontró que **el polígono de la CHF no se traslapa con ninguna ANP federal. El ANP federal más cercana es el Parque Nacional “Insurgente José María Morelos”** y se encuentra aproximadamente a 6.8 km de distancia de la CHF (Figura IV—5).

El Parque Nacional “Insurgente José María Morelos fue decretado el 22 de febrero de 1939, cuenta con una superficie de 7,191.76 ha y se encuentra en los municipios de Charo y Tzitzio, en Michoacán. Los principales tipos de vegetación en esta ANP son los bosques de coníferas, pino y encino, que albergan especies de flora representativas como el pino real (*Pinus montezumae*), el cedro de San Juan (*Cupressus lusitanica*), el encino (*Quercus rugosa*), el madroño (*Arbutus xalapensis*), la manzanita (*Arctostaphylos* spp.), el senecio (*Senecio* sp.), el ocote chino (*Pinus leiophylla*) y el pino cedrón (*Pinus pringlei*) (SEMARNAT, 2018; CONAGUA, s.f.).

Entre las especies de fauna presentes en el Parque destacan el zopilote (*Cathartes aura*), águila real (*Aquila chrysaetos*), conejo cola de algodón mexicano (*Sylvilagus cunicularius*), coatí (*Nasua narica*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*), chilca (*Baccharis salicifolia*), picogordo tigrillo (*Pheucticus melanocephalus*), picogordo pecho rosa (*Pheucticus ludovicianus*), cardenal

(*Richmondia cardinalis*), ampelis chinito (*Bombycilla cedrorum*), matraca del desierto (*Campylorhynchus brunneicapillus*), chivito (*Parus atricstatus*), cuervo común (*Corvus corax*), pato mexicano (*Anas diazi*), carpintero (*Picoides borealis*), pico tridáctilo (*Picoides tridactylus*), zafiro oreja blanca (*Hylocharis leucotis*), colibrí barba negra (*Archilochus alexandri*), zumbador cola ancha (*Selasphorus platycercus*), chotacabras zumbón (*Chordeiles minor*), autillo bigotudo (*Otus trichopsis*), zorrillo manchado sureño (*Spilogale angustifrons*), y armadillo nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), entre otros (SEMARNAT, 2018; CONAGUA, s.f.).

Entre las especies endémicas de esta ANP se encuentran: colibrí berilo (*Amazilia berillyna*), rascador cejas verdes (*Arremon virenticeps*), rascador gorra canela (*Atlapetes pileatus*), zumbador Mexicano (*Atthis heloisa*), rascador cejas verdes (*Arremon virenticeps*), matraca serrana (*Campylorhynchus gularis*), matraca barrada (*Campylorhynchus megalopterus*), chipe rojo (*Cardellina rubra*), zorzal mexicano (*Catharus occidentalis*), tuza de colima (*Cratogeomys fumosus*), codorniz coluda transvolcánica (*Dendrortyx macroura*), cardellina rubra (*Ergaticus ruber*), trepatroncos mexicano (*Lepidocolaptes leucogaster*), mulato azul (*Melanotis caerulescens*), rascador nuca canela (*Melospiza kieneri*), codorniz barrada (*Philortyx fasciatus*), rascador de collar (*Pipilo ocai*), piranga cabeza roja (*Piranga erythrocephala*), encino enano (*Quercus macrophylla*), hediondilla (*Roldana lineolata*), lagartija escamosa de Dugués (*Sceloporus dugesii*), lagartija escamosa barrada (*Sceloporus grammicus*), lagartija espinosa de collar (*Sceloporus torquatus*), salta pared feliz (*Thryothorus felix*), saltapared cola larga (*Tryomanes bewickii*), mirlo dorso canela (*Turdus rufopalliatus*) y vireo amarillo (*Vireo hypochryseus*) (SEMARNAT, 2018; CONAGUA, s.f.).

Cabe mencionar que en el Parque Nacional “Insurgente José María Morelos” también nacen los manantiales La Laja y el Ojo de Agua de los Tepetates, cuyas aguas forman el río del Salto, tributario del río de las Balsas (SEMARNAT, 2018).

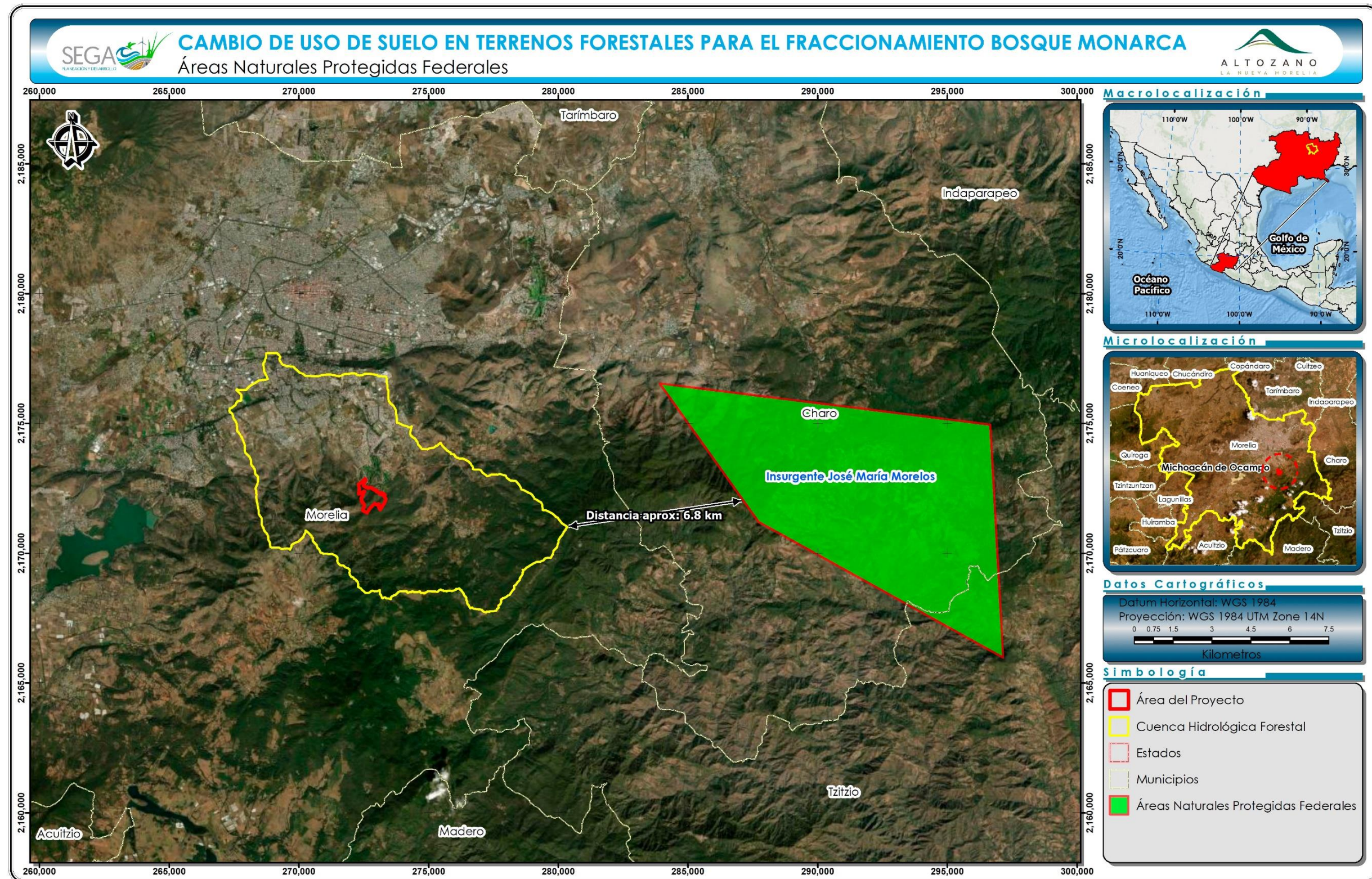


Figura IV—5. Ubicación de la CHF con respecto a las Áreas Naturales Protegidas Federales

Áreas Naturales Protegidas Estatales

Con respecto a las ANP de carácter estatal, el polígono de **la CHF delimitado para este proyecto se traslapa con la Zona de Protección Ambiental “Pico Azul-La Escalera” en una superficie de 1,456.17 ha** (Figura IV—6). Esta ANP fue decretada el 13 de septiembre de 2011 y tiene un régimen de propiedad ejidal, federal y privada. Es la segunda ANP estatal de mayor superficie en Michoacán, con 23,107 ha distribuidas en los municipios de Morelia, Charo y Villa Madero (Revista Bitácora, 2020).

La Zona de Protección Ambiental “Pico Azul-La Escalera” está ubicada en la parte alta de la Cuenca de Cuitzeo y del Balsas. Entre los servicios ecosistémicos que proporciona se encuentran la retención de agua e infiltración para recarga de acuíferos, el control de erosión de la cuenca al conservar los suelos de las zonas más críticas debido a la altura y pendiente, y la regulación del clima (Revista Bitácora, 2020).

La topografía accidentada con elevaciones diversas de esta ANP sumada a factores climáticos y del suelo ha contribuido a que albergue una gran diversidad biológica en sus bosques de encino y de pino, con elementos de bosque de galería y de bosque mesófilo de montaña. Cuenta con especies vegetales como pino, capulín negro, aile y fresno y, entre la fauna representativa, se encuentran los coyotes, zorra gris, gato montés, musarañas, tuzas, murciélagos, trogón elegante, halcón cernícalo, carpintero bellotero, perlita azul-gris y cuclillo canela. Además, es hábitat para el ajolote michoacano (*Ambystomas ordinarium*), una especie endémica y sujeta a protección especial bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Revista Bitácora, 2020).

El polígono de la CHF delimitado para el Proyecto también se encuentra próximo a las ANP estatales “Loma de Santa María y Depresiones Aledañas”, “Ex Escuela Agrícola denominada La Huerta” y “Cañadas del Río Chiquito”.

La Zona de Restauración y Protección Ambiental “Loma de Santa María y Depresiones Aledañas” se ubica al sur de Morelia, a una distancia aproximada de 235 metros del polígono de la CHF. Fue decretada el 31 de diciembre de 2009 y cuenta con una superficie total de 165.8 ha (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente Michoacán, 2010).

Esta ANP Se encuentra en la parte más baja de la cuenca del Río Chiquito, y es fundamental para el abastecimiento de agua de uso doméstico de Morelia y para la recarga de los acuíferos. No obstante, a pesar de su importancia, está sometida a fuertes presiones antropogénicas debido a su cercanía con la zona urbana de Morelia, y sus remanentes de distintos tipos de vegetación (matorral subtropical, bosque de encino, vegetación secundaria, pastizal inducido, bosque de galería, otatal y vegetación exótica) se encuentran altamente fragmentados (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente Michoacán, 2010).

Entre las especies de flora que se encuentran en “Loma de Santa María y Depresiones Aledañas” destacan: *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia pennatula*, *Opuntia* sp., *Quercus castanea*, *Quercus obtusata*, *Salix bonplandiana*, *Salix aeruginosa*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei* y *Otatea acuminata*. También se encuentran las especies *Erythrina coralloides* (colorín) y *Cedrela dugesii* (nogalillo), que están registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo las categorías de Amenazada y Sujeta a Protección Especial, respectivamente (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente Michoacán, 2010). Con respecto a la fauna, se pueden encontrar ejemplares de cacomixtle, tejón, gato montés, venado cola blanca, rana, tortuga de río, culebra de agua, alicante, cascabel de cola negra, cascabel hocico de puerco, gavián de Cooper, aguililla cola blanca, codorniz Moctezuma y clarín jilguero, entre otros (Altorre, 2020).

La Zona Sujeta a Preservación Ecológica “Ex Escuela Agrícola denominada La Huerta” fue decretada el 31 de enero de 2005 y cuenta con un área de 271.48 ha. Está aproximadamente a 270 m del polígono de la CHF delimitado para este Proyecto y cuenta con distintos tipos de vegetación característicos de zonas

templadas como bosque de pino, bosque de encino y matorral subtropical. Se pueden encontrar especies vegetales como pino, encino, cedro, capulín o cerezo y sauce. En cuanto a especies animales, en la zona habitan ratas de campo, coyotes, clarín jilguero, zorrillo de espalda blanca y cernícalo americano (ABySe Morelia, 2020).

La Zona Sujeta a Restauración y Protección Ambiental “Cañadas del Río Chiquito” fue decretada en el año 2011 y cuenta con un total de 205 hectáreas asentadas en la cuenca del Río Chiquito; está aproximadamente a 400 m del polígono de la CHF del Proyecto. Proporciona numerosos servicios ecosistémicos a la ciudad de Morelia, entre los que destacan la regulación climática, la conservación de los ciclos hidrológicos, el control de la erosión, la recarga de acuíferos, el mantenimiento de escurrimientos, la captura de carbono, y la conservación y protección de la biodiversidad de la zona. Algunas de las especies de animales registradas para la zona son los ajolotes, serpientes de cascabel, falsa coralillo, cernícalo americano, trogón, mapache, cacomixtle, armadillo, gato montés y venado cola blanca. Presenta distintos tipos de vegetación como bosque de pino, de encino, matorral subtropical, pastizal, bosque mesófilo de montaña, bosque de galería, plantación de eucalipto y matorral secundario, y algunas de las especies de flora características son el copal, el aile, el fresno y el sauce (Quadratín, 2020).

Es importante señalar que, aun cuando el polígono de la CHF del proyecto intersecta con la poligonal de la Zona de Protección Ambiental “Pico Azul-La Escalera”, se prevé realizar la reforestación de 17.34 ha para compensar el impacto generado por el cambio de uso de suelo en terrenos forestales requerido para la urbanización del Fraccionamiento Bosque Monarca. Cabe mencionar que esta superficie es superior a la de CUSTF (17.16 ha).

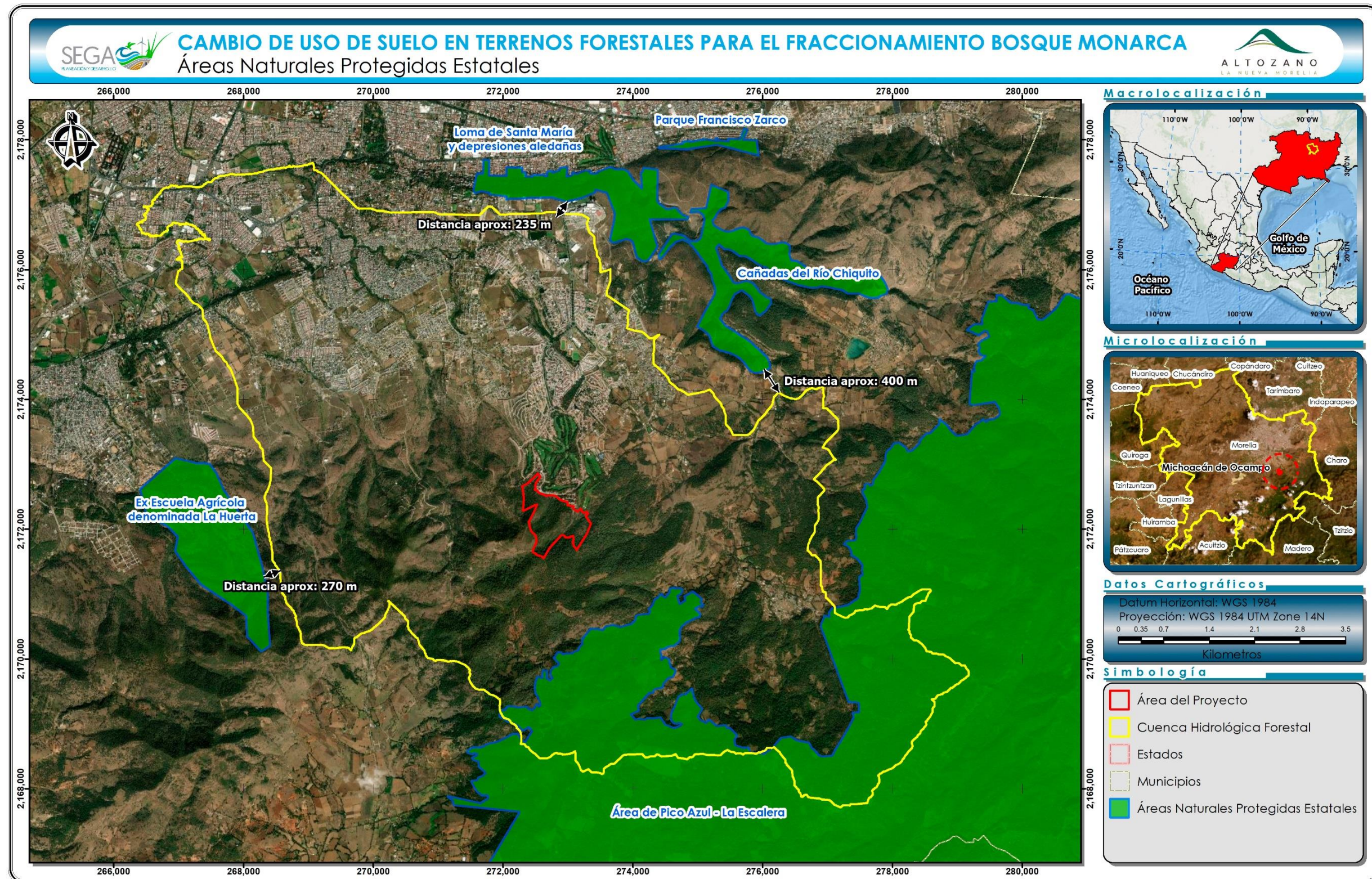


Figura IV—6. Ubicación de la CHF con respecto a las Áreas Naturales Protegidas Estatales

IV.2.2.2 Sitios RAMSAR

La Convención Ramsar es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Esta iniciativa surge en la ciudad de Ramsar, en Irán, durante el año de 1971, pero entra en vigor hasta 1975 (RAMSAR, 2014). De acuerdo con esta convención, nuestro país entró al convenio el 4 de noviembre de 1986, y actualmente es el segundo país con más sitios Ramsar (144 sitios) a nivel internacional, que cubren un total de 8,721,911 ha.

El polígono de la CHF delimitado para este proyecto no intersecta la poligonal de ningún sitio RAMSAR, por lo que no se prevé que las actividades de desmonte tengan un impacto negativo sobre ellos. El más cercano es “La Mintzita”, que se encuentra a una distancia aproximada de 5.5 km de la CHF (Figura IV—7), y es el segundo manantial en importancia del Estado de Michoacán. Se trata de un humedal con flora acuática flotante, sumergida y de hidrófitas emergentes y una importante zona de refugio y anidación de aves y peces. La vegetación acuática está constituida por 37 especies, entre las que destacan los pastos sumergidos como el nenúfar (*Nymphaea mexicana*) y cola de zorra (*Potamogeton pectinatus*); la vegetación flotante está representada por el lirio acuático (*Eichornia crassipes*) y lentejilla (*Lemna minor*); mientras que la vegetación arraigada ocupa una mayor extensión y está conformada por tule (*Thypha domingensis*), *Shoenoplectus tabernaemontani*, *Shoenoplectus americanus*, *Carex comosa* y carrizo (*Phragmites australis*), entre otras (Marín-Togo, 2009).

El bosque de galería se localiza a orillas del humedal y está representado por el sauce (*Salix bonplandiana*). También existe una zona de afloramientos basálticos que presenta una vegetación de bosque tropical caducifolio perturbado por asentamientos humanos y agricultura de temporal que alberga varias especies arbóreas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, entre ellas la especie microendémica *Diospyros xolocotzii* (zapote prieto) (Marín-Togo, 2009).

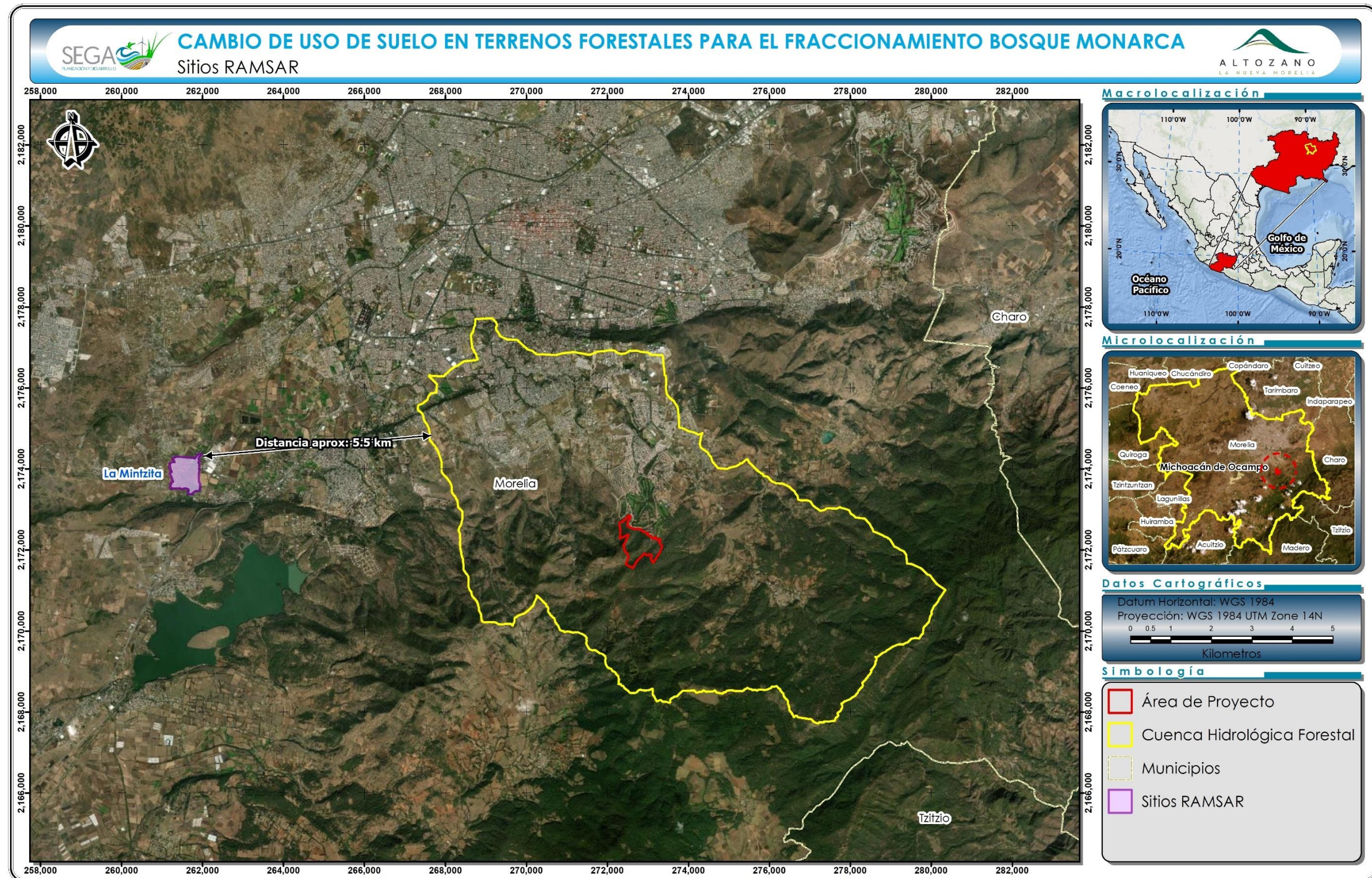


Figura IV—7. Ubicación de la CHF con respecto a los sitios Ramsar

IV.2.2.3 Regionalización CONABIO

La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental, pues 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 que lleva a cabo 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 regiones se dividen en:

- Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)
- Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP's)
- Regiones Marinas Prioritarias (RMP's)
- Áreas de importancia para la conservación de las aves (AICA's)

Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)

La superficie de la CHF de este Proyecto no se ubica ni se traslapa con ninguna RTP. Las más cercanas son “Cerro Ancho-Lago de Cuitzeo”, a 32 km de distancia, y “Sierra de Chincua”, a 40 km de distancia (Figura IV—8).

La **RTP-111 “Cerro Ancho-Lago de Cuitzeo”** abarca una superficie de 378 km² distribuida en los municipios de Acámbaro (Guanajuato), Queréndaro, Santa Ana Maya y Zinapécuaro (Michoacán).

Presenta clima templado (C(wo), C(w1)) y semicálido, templado subhúmedo (A)C(wo), al igual que dos tipos de suelo: feozem háplico y vertisol éutrico. Con respecto a la diversidad ecosistémica, destacan los encinares y la selva baja caducifolia. Los usos de suelo y vegetación predominantes son el agrícola, pecuario y forestal (63%), la vegetación acuática (21%) y otros (16%). Se considera una región importante para la conservación porque está catalogado como el remanente más importante del bosque tropical caducifolio que en otros tiempos ocupaba cerca de 11,000 km² y que ahora ha desaparecido casi totalmente (CONABIO, s.f.).

Por su parte, la **RTP-110 “Sierra de Chincua”** se ubica en los estados de Michoacán, Edo. de México, y Guanajuato, abarcando los municipios de Acámbaro, Angangueo, Aporo, Atlacomulco, Contepec, Donato Guerra, El Oro, Hidalgo, Irimbo, Ixtapan del Oro, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Juárez, Maravatío, Ocampo, San Felipe del Progreso, Senguio, Susupuato, Temascalcingo, Tlalpujahuá, Tuxpan, Villa de Allende, Villa Victoria, Zinapécuaro, Zitácuaro (CONABIO, s.f.).

Es considerada como una región prioritaria para la conservación, ya que registra un alto grado de endemismos de vertebrados y por ser zona de refugio invernal de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Dentro de esta RTP se encuentran seis ANP, cinco de las cuales corresponden a los refugios de la mariposa monarca (ANP pendiente de recategorización) y uno a Bosencheve (ANP decretada en 1940) (CONABIO, s.f.).

Su diversidad ecosistémica es derivada de ambientes templados de bosques de pino, aunque actualmente hay importantes procesos de degradación. Los principales tipos de vegetación y uso de suelo representados en esta región, así como su porcentaje de superficie son: agricultura, pecuario y forestal (69%), bosque de pino (22%) y otros (9%). En esta RTP se distinguen dos tipos de suelos: vertisol

eútrico y andosol úmbrico. El primero abarca el 54% del área total y el segundo el 46% (CONABIO, s.f.).

La riqueza específica de la RTP en el bosque de oyamel está conformada por la especie de *Abies religiosa*, además se observan géneros como *Quercus*, *Alnus*, *Salix*, *Senecio*, *Eupatorium* y *Stevia* entre otras y es notorio el crecimiento de una variedad de hongos durante la época de lluvias. La fauna se caracteriza por la presencia de Ambystomatidae, Hylidae, Plethodontidae, Cathartidae, Apodidae, Trochilidae, Trogonidae, de la clase Mammalia: Didelphidae, Soricidae, Mormoopidae, Phyllostomidae, Desmodontidae, Vespertilionidae, Mollosidae, Leporidae, Goemyidae y Cricetidae (CONABIO, s.f.).

La problemática ambiental que presenta actualmente la región es la deforestación clandestina en altos niveles e incremento de la agricultura, además de ciertos aspectos sociales y los conflictos entre las actividades de conservación y de desarrollo (CONABIO, s.f.).

Como se mencionó con anterioridad, la CHF no se traslapa o interseca con la poligonal de alguna RTP. Teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto y la distancia a la cual se ubican con respecto al Predio, no se prevé que el proyecto de CUSTF para el Fraccionamiento Bosque Monarca pueda ocasionar afectación alguna a esta región, toda vez que el desmonte planteado en este DTU-A no se llevará a cabo en su interior o proximidad.

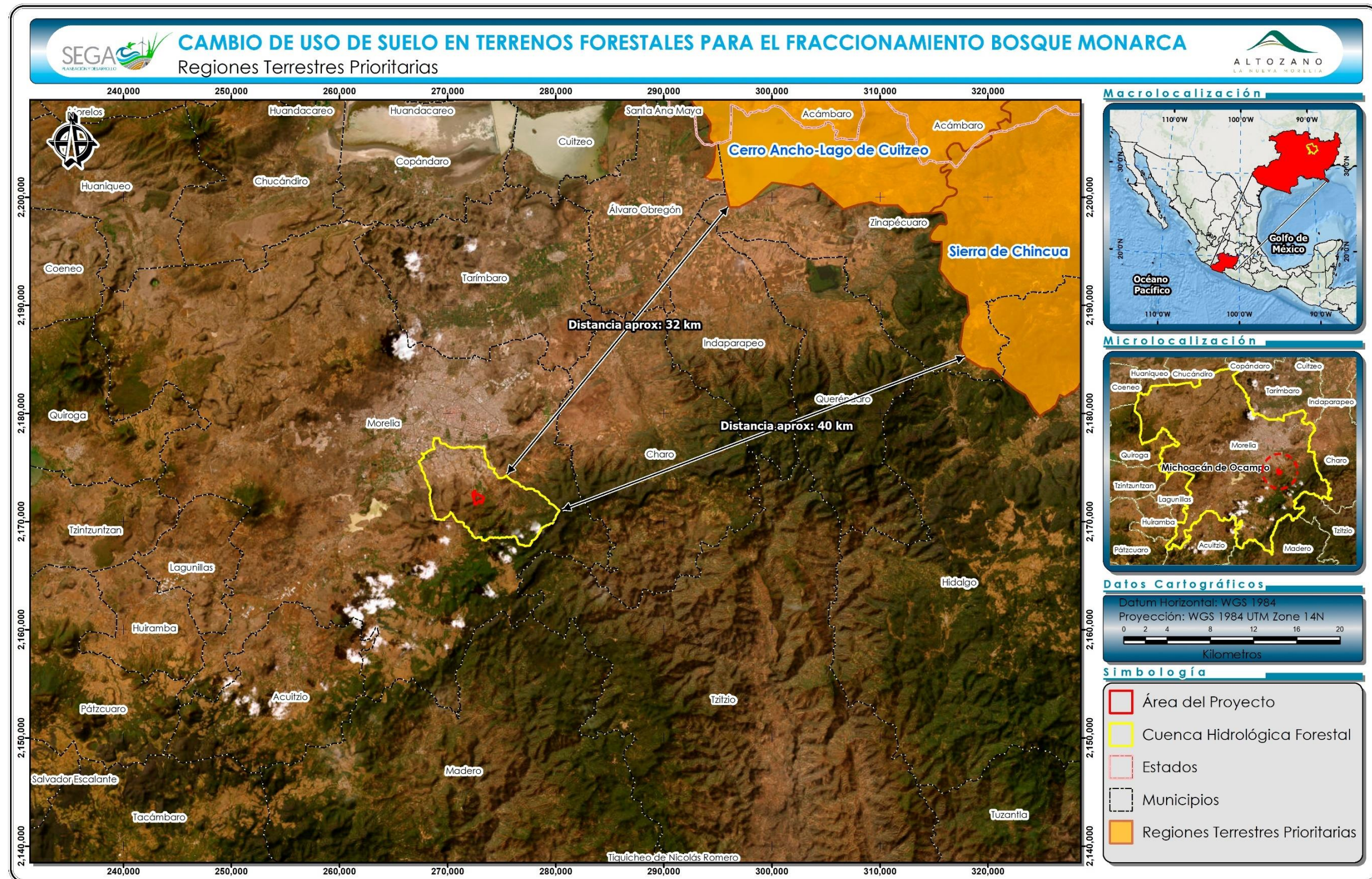


Figura IV—8. RTP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto

Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP's)

En mayo de 1998, con el objetivo de obtener un diagnóstico de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país, la CONABIO inició el Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP's), considerando las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las áreas identificadas. Se estableció así un marco de referencia para los diferentes sectores, auxiliar en el desarrollo de planes de investigación, conservación uso y manejo sostenido de los recursos (Arriaga *et al.*, 1998).

La CHF delimitada para el Proyecto se ubica en su totalidad dentro de **la RHP 62 “Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas”** (Figura IV—9), que tiene una extensión de 7,092.87 km² y se localiza en los estados de Michoacán y Guanajuato. Sus principales recursos hídricos lénticos son los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén, Cuitzeo, Yuriria, San Gregorio; el estanque "Las Condembas" en Opopeo; los manantiales de Huandacareo, Copándaro, Sta. Rita, San Juan Tarameo, de Araró; y las presas de Cointzio, Malpaís, Santa Clara, Umécuaro, Wilson, Loma Caliente y Xoconoles. Entre los recursos lénticos destacan los ríos Grande y Chiquito de Morelia, Lerma, Queréndaro, Tirio, Tiripetío, Charo, San Marcos, Caliente, Frío, San Lucas y Zinapécuaro; y los arroyos La Palma, Chapultepec, Santa Fé, Quiroga, Ajuno y Huintzio (CONABIO, s.f.).

Pátzcuaro presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual 14-20 °C y una precipitación total anual de 700-1400 mm. Por su parte, Cuitzeo tiene un clima seco con lluvias en verano, en donde la evaporación generalmente excede a la precipitación; su temperatura oscila entre 14.3-21 °C, y su precipitación entre 5.7-147.5 mm (CONABIO, s.f.).

Los tipos de vegetación presentes en esta RHP son: bosques mixtos de pino-encino, de pino, de encino, de oyamel, selva baja caducifolia, pastizales, matorral subtropical, matorral desértico micrófilo, especialmente asociaciones de huizache-mezquite, vegetación halófila, vegetación acuática y subacuática. Además, existe

una gran diversidad de hábitats como lagos, reservorios, cuerpos acuáticos someros, ríos, arroyos, lagos salinos y humedales (CONABIO, s.f.).

En Pátzcuaro, algunas especies características de flora son: *Arbutus xalapensis*, *Clethra mexicana*, *Garrya laurifolia*, *Pinus lawsonii*, *P. leiophylla*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *Quercus candicans*, *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. gentryi*, *Q. laurina*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Bacopa monnieri*, *xuturi Berula erecta*, *Bidens aurea*, *B. laevis*, o *Ceratophyllum demersum*, *Cyperus niger*, *C. semiochraceus*, *Eleocharis montevidensis*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Limnobium laevigatum*, *Lemna gibba*, *Najas guadalupensis var. guadalupensis*, *Nymphaea mexicana*, *Oxycaryum cubense*, *Platanthera limosa*, *Potamogeton illinoensis*, *P. pectinatus*, *Ranunculus dichotomus*, *Sagittaria latifolia latifolia*, *S. platyphylla*, *Scirpus californicus*, *S. validus*, *Spirodela polyrrhiza*, *Typha domingensis*, *T. latifolia*, *Utricularia macrorrhiza*, *Wolffia brasiliensis*, *Wolffiella lingulata*, *Salix bonplandiana* y *Taxodium mucronatum*. También se encuentran las especies de plantas endémicas *Arenaria bourgaei*, *Panicum sucosum* y *Sagittaria macrophylla*. Entre la fauna de Pátzcuaro figuran: *Algansea monticola*, *A. tincella*, *Allophorus robustus*, *Allotoca diazi*, *A. meeki*, *A. regalis*, *Chirostoma aculeatum*, *C. arge*, *C. estor*, *C. humboldtianum*, *C. labarcae*, *C. lucius*, *C. sphyraena*, *Hubbsina turneri*, *Moxostoma austrinum*, *Neophorus diazi*, *Skiffia multipunctata*, *Xenotoca eiseni*, *X. variata*, *Yuriria alta*, *Zoogonecticus quitzeoensis* y *Ambystoma dumerili*. Algunas de las especies endémicas de animales son: *lgansea lacustris*, *Allotoca dugesi*, *Chirostoma attenuatum*, *C. bartoni*, *C. charari*, *C. consocium*, *C. estor copandaro*, *C. grandocule*, *C. jordani*, *C. patzcuaro* (posiblemente extinta), *Goodea atripinnis*, *G. gracilis*, *G. luitpoldi*, *Notropis calientis*, *N. sallei*, *Poecilopsis infans*, *Skiffia bilineata*, *S. lermae* y *Geothlypis speciosa* (CONABIO, s.f.).

En Cuitzeo, se pueden encontrar especies de flora como: *Acacia* sp, *clpomoea murucoides*, *Prosopis* sp., *Schinus molle*, *Distichlis spicata*, *Portulaca oleracea* y *romerito Suaeda nigra*, *Ceratophyllum demersum*, *Lemna gibba*, *Polygonum* sp., *Potamogeton illinoensis*, *P. pectinatus*, *Sagittaria latifolia latifolia* y *S. macrophylla*, *Oxycaryum cubense*, *Typha angustifolia* y *T. domingensis*. La fauna

característica incluye: *Cambarellus (Cambarellus) montezumae*; de peces *Algansea tincella*, *Allophorus robustus*, *Chirostoma aculeatum*, *Hubbsina turneri*, *Xenotoca variatade*, *Cypseloides storeri*, *Conepatus mesoleucus*, *Didelphis virginiana*, *Mustela frenata*, *Nasua narica*, *Spermophilus variegatus*, *Sylvilagus floridanus* y *Urocyon cinereoargenteus*. Además, cuenta con numerosas especies endémicas de animales como: *Algansea lacustris*, *Allotoca dugesi*, *Chirostoma attenuatum*, *C. bartoni*, *C. grandocule*, *C. jordani*, *Goodea atripinnis*, *Poecilopsis infans*, *Geothlypis speciosa* (CONABIO, s.f.).

En Zirahuén, habitan las especies endémicas *Chirostoma attenuatum zirahuen* y *C. estor zirahuen* mientras que, en la presa Cointzo, habitan los peces endémicos *Allotoca dugesi*, *Poecilopsis infans*, *Skiffia bilineata*, y *S. lermae* (CONABIO, s.f.).

Una de las principales problemáticas que enfrenta la RHP 62 “Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas” consiste en la modificación del entorno, la cual se manifiesta en forma de la sobreexplotación de mantos acuíferos, la deforestación intensiva, la construcción de carreteras, y el azolvamiento, salinización y desecación de los cuerpos de agua, entre otros. La RHP también presenta elevados niveles de contaminación por agroquímicos, aguas residuales domésticas y desechos sólidos. Finalmente, la biodiversidad se ha visto afectada por la sobreexplotación, la introducción de especies exóticas, el manejo inadecuado de la cuenca, la falta de observancia de las vedas y el uso de artes de pesca inadecuadas, entre otras (CONABIO, s.f.).

Cabe mencionar que, aunque el polígono de la CHF del proyecto está inmerso en la RHP 62 “Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas”, se prevé realizar la reforestación de 17.34 ha y adoptar medidas como el rescate y reubicación de flora y fauna silvestre, el rescate de suelo orgánico y el manejo integral de los distintos tipos de residuos, con el fin de reducir, mitigar y compensar el impacto que las actividades de desmonte del Predio tengan sobre la RHP.

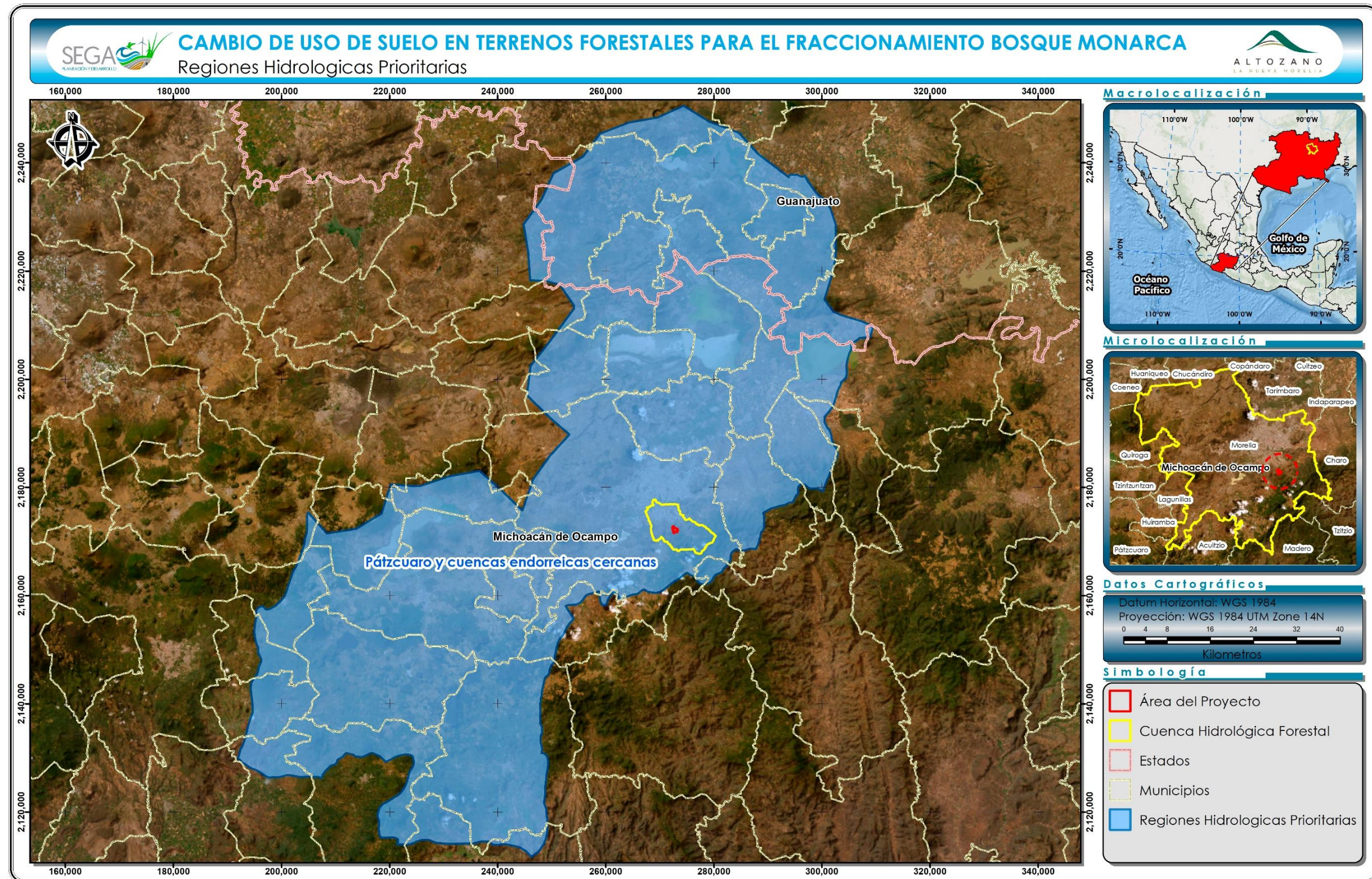


Figura IV—9. RHP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto

Regiones Marinas Prioritarias (RMP's)

La dependencia que tiene el hombre con los recursos de los ecosistemas marinos y el impacto que ha causado en ellos se plantea la necesidad de incrementar el conocimiento de este recurso en todos los niveles. Bajo esta perspectiva, la CONABIO instrumentó el Programa de Regiones Marinas Prioritarias de México en conjunto con el apoyo de la agencia The David and Lucile Packard Foundation (PACKARD), la Agencia Internacional para el Desarrollo de la Embajada de los Estados Unidos de América (USAID), el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) identificaron, delimitaron y caracterizaron 70 áreas costeras y oceánicas consideradas prioritarias por su alta diversidad biológica, por el uso de sus recursos y por su falta de conocimiento sobre biodiversidad (Arriaga *et al.*, 1998).

Ninguna RMP coincide con el área de la CHF de este Proyecto, pero la más cercana es Mexiquillo-Delta del Balsas, a 197 km de distancia (Figura IV—10), por lo que tampoco se ve afectada por las actividades de desmonte. Es considerada prioritaria por CONABIO ya que presenta una gran diversidad de especies faunísticas de moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, peces, mamíferos marinos y aves. Además, dentro de su poligonal se ubican zonas de manglar y selvas de tipo baja y mediana, así como zonas de anidación de tortugas marinas (principalmente de *Dermodochelys coriacea*) (Arriaga *et al.*, 1998).

Considerando el análisis de Arriaga (1998), Mexiquillo-Delta del Balsas enfrenta problemas de degradación de hábitat (manglares y estuarios), modificación del entorno (principalmente por la deforestación), contaminación por desechos (sólidos, aguas residuales, petróleo, agroquímicos, industrias), introducción de especies exóticas, y el uso inapropiado de recursos.



Figura IV—10. RMP's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto

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

De acuerdo con la CONABIO, se tienen registradas 243 AICA's en las que es posible observar al 94.53% de las aves de México, 97.29% de las especies incluidas en alguna categoría de amenaza en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y todas las especies endémicas, semiendémicas y cuasiendémicas consideradas en la publicación “Conservación de aves: Experiencias en México” de Gómez D., H., y D. A. Oliveras (eds). Cada AICA incluye una descripción técnica del medio biótico y abiótico, y un listado avifaunístico con abundancia (en forma de categorías) y estacionalidad.

La CHF no se traslapa con ninguna AICA, siendo las más cercanas Cuitzeo (a 12.5 km), Pátzcuaro (a 16 km) y Tacámbaro (a 24 km) (Figura IV—11).

El AICA **Cuitzeo**, clasificada en la categoría G-1 (1999) y A1, A2, A4i (Birdlife 2007), es un área de humedales con vegetación halófila y abundantes tulares. Es uno de los cuerpos de agua dulce más importantes del centro de México y cuenta con pastizal halófilo, vegetación acuática, y subacuática, agroecosistemas. matorral subtropical y bosque tropical caducifolio. De acuerdo con la CONABIO, en esta AICA habitan 292 especies de aves (CONABIO, 2015).

Por su parte, el AICA **Pátzcuaro**, clasificada en la categoría G-1 (1999) y A1, A2, A3 (Birdlife 2007) cuenta con 261 especies de aves. Es una cuenca endorreica que antiguamente estaba unida a la Laguna de Cuitzeo y el lago de Zirahuén. En este cuerpo de agua del sistema volcánico transversal, se puede encontrar vegetación subacuática y bosques de pino-encino, oyamel y matorral subtropical en los alrededores (CONABIO, 2015).

Finalmente, el AICA **Tacámbaro**, clasificada en la categoría MEX-1 (1999) y A3 (Birdlife 2007) cuenta con 217 especies de aves y vegetación de pino-encino y bosque tropical caducifolio. Esta área representa un gradiente altitudinal desde la depresión del Balsas hasta el Sistema Volcánico Transversal, y la existencia de farallones permite la presencia de diversas especies de murciélagos y colonias significativas de varias especies de vencejos (CONABIO, 2015).

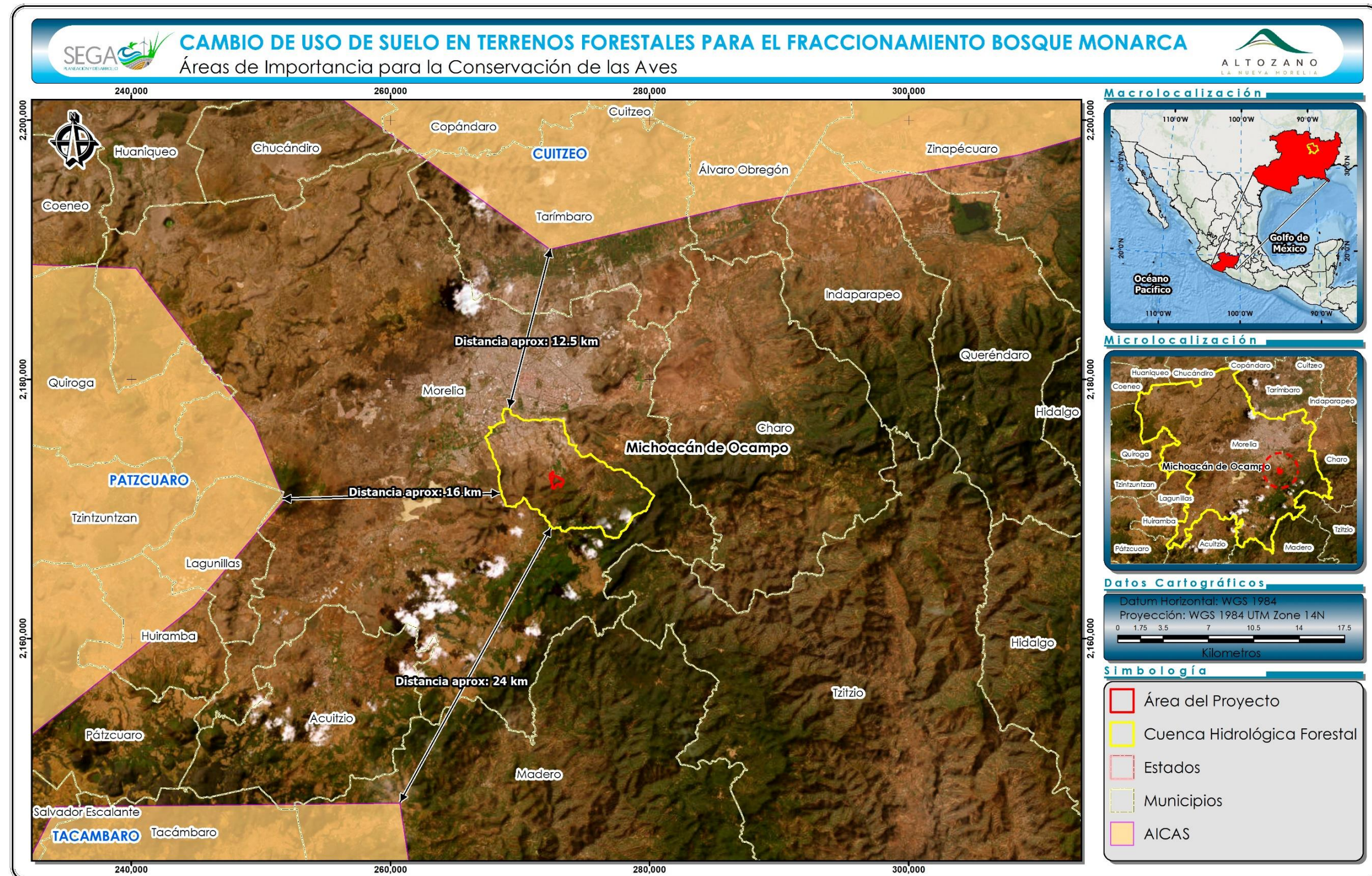


Figura IV—11. AICA's cercanas a la CHF delimitada para el Proyecto

IV.2.3 Medio físico

IV.2.3.1 Clima y fenómenos meteorológicos

Con base en la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (1981), en la CHF se reporta sólo un tipo de clima: templado subhúmedo (Figura IV—12). Éste es un tipo de clima con temperatura media anual entre 12 y 18°C, con régimen de lluvias en verano, muy húmedo, y con un grado de humedad mayor de 55.0. Este clima también se encuentra en lugares con vegetación de selva baja y/o pastizales.

IV.2.3.1.1 Temperaturas y precipitación promedio mensual, anual y extremas

En las cercanías de la CHF se localizan siete estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua en estado de operación: Acuitzio del Canje (16001), El Temazcal (16045), Jesús del Monte (16055), Morelia (OBS) (16080), Morelia (16081), San Miguel del Monte (16114) y El Colegio (16512). Las estaciones Cointzio (16022), Cuitzillo Grande (16028) y Santiago Undameo (16120) también se encuentran cerca de la CHF, pero actualmente están suspendidas (CONAGUA, 2023).

Para el presente análisis, se consideran los registros históricos de 1951 a 2010 de las estaciones El Temazcal, Jesús del Monte, Morelia, Cointzio y Santiago Undameo. Estas estaciones se seleccionaron ya que contaban con información climática para más del 75% de los años comprendidos en este periodo (Figura IV—6).

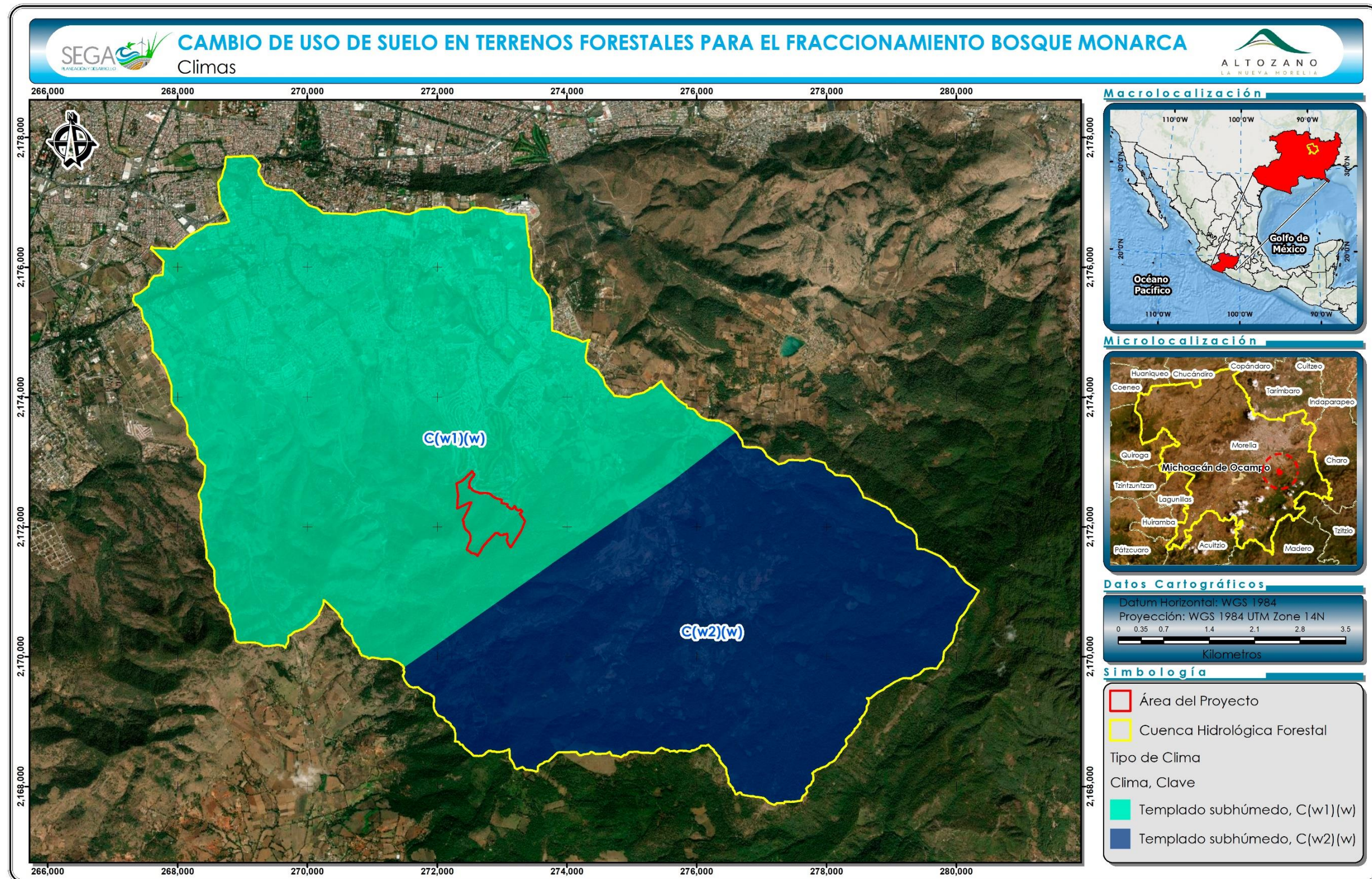


Figura IV—12. Clima de la CHF

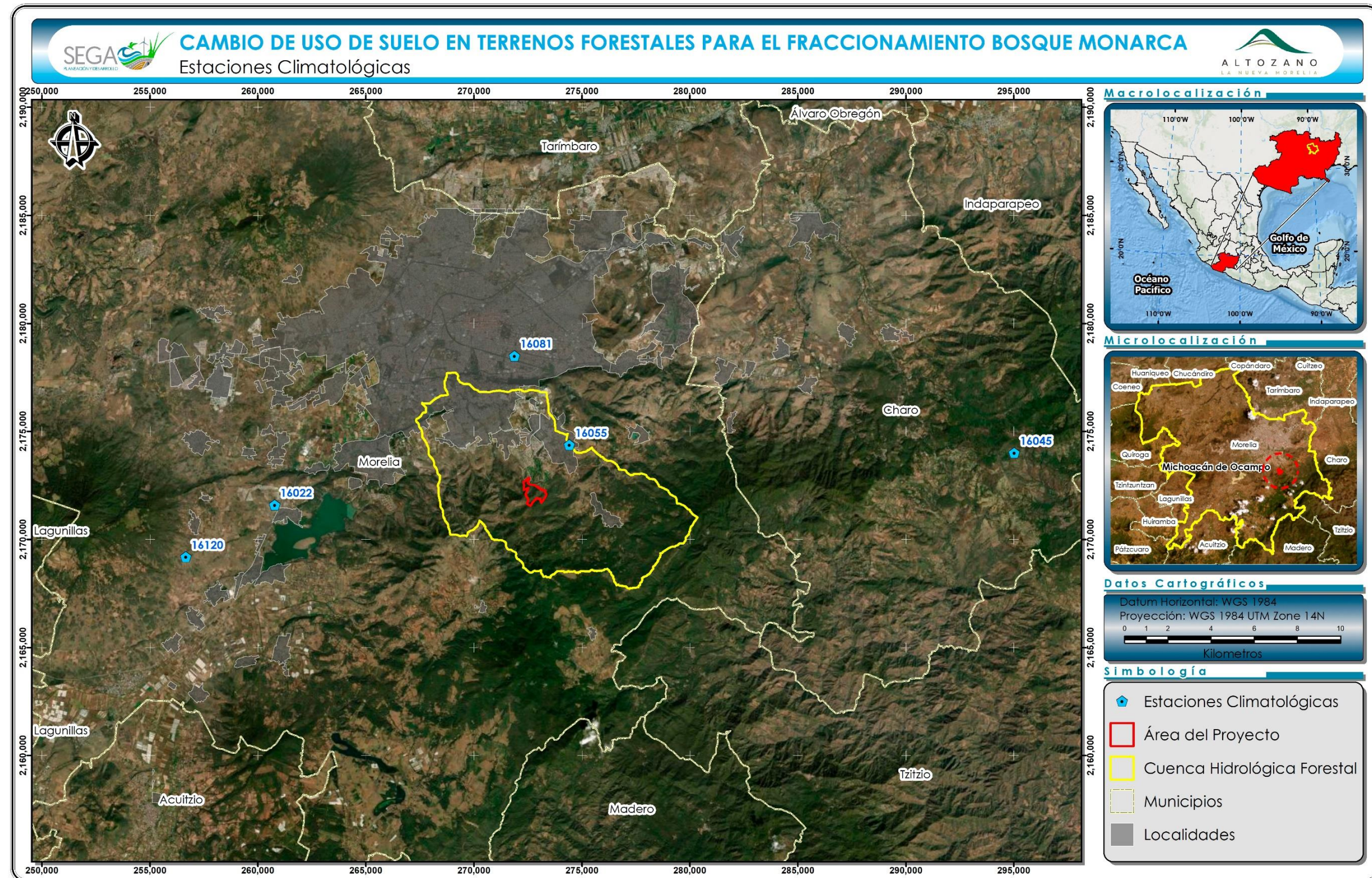


Figura IV—13. Estaciones meteorológicas cerca de la CHF

Estación meteorológica El Temazcal (No. 00016045)

La Estación El Temazcal se ubica en Charo, Michoacán, y se encuentra a 2220 msnm. Sus coordenadas geográficas son 19.650556° Latitud y -100.955000° Longitud.

La temperatura máxima anual fue de 22.9 °C, mientras que la temperatura media anual fue de 17.0 °C y la temperatura mínima anual fue de 11.1 °C. Enero presenta las temperaturas más bajas y mayo las más elevadas. En la siguiente tabla, se presentan los valores de temperatura registrados por la estación:

Tabla IV—1. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16045 (El Temazcal, Charo, Michoacán)

Estación 16045 El Temazcal (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima (°C)													
Normal	21.0	22.4	24.7	26.7	26.7	23.6	21.6	21.5	21.5	21.7	21.7	21.2	22.9
Máxima Mensual	25.2	25.9	28.8	30.7	30.1	28.0	27.1	27.3	27.8	26.4	26.3	25.6	
Año de Máxima	1968	1967	1965	1965	1965	2005	1990	1990	1990	1990	1965	2002	
Máxima Diaria	29.0	29.5	33.0	34.0	36.0	35.5	29.0	29.0	29.0	29.5	29.0	28.0	
Temperatura media (°C)													
Normal	14.9	15.9	17.7	19.4	19.9	18.1	16.9	16.8	16.7	16.6	15.9	15.3	17.0
Temperatura mínima (°C)													
Normal	8.7	9.3	10.6	12.1	13.0	12.7	12.1	12.0	12.0	11.4	10.0	9.3	11.1
Mínima mensual	2.6	6.4	7.0	7.2	11.5	10.8	10.6	8.7	10.2	9.9	5.1	3.2	
Año de mínima	1965	1983	1965	1965	1992	1997	1998	1999	1998	2010	2002	2002	
Mínima diaria	0.0	0.5	2.0	6.0	7.0	7.0	5.0	6.0	6.0	3.5	-3.0	-1.0	

Con respecto a las lluvias, la precipitación total anual fue de 1,396.1 mm. La precipitación máxima mensual se presentó en el mes de julio de 2020 con un total de 607.0 mm, y la precipitación máxima diaria fue 133.0 mm, en febrero (Tabla IV—2).

De acuerdo con la información retomada de las normales climatológicas, se registraron un total de 112.5 días con lluvia, 13.9 días con niebla, 0.8 días con granizo y 8.7 días con tormentas eléctricas.

Tabla IV—2. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16045 (El Temazcal, Charo, Michoacán)

Estación 16045 El Temazcal (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación pluvial (mm)													
Normal	26.9	17.6	8.4	16.1	53.2	229.0	323.3	313.6	272.1	104.8	21.7	9.4	1,396.1
Máxima Mensual	239.5	303.5	53.0	140.5	171.0	401.0	607.0	470.3	517.5	279.5	73.5	45.0	
Año de Máxima	1992	2010	1988	1973	1967	1990	2010	1993	1971	1976	1974	1995	
Máxima Diaria	77.0	133.0	42.5	65.0	47.2	86.0	95.0	88.0	93.0	85.5	70.0	35.0	

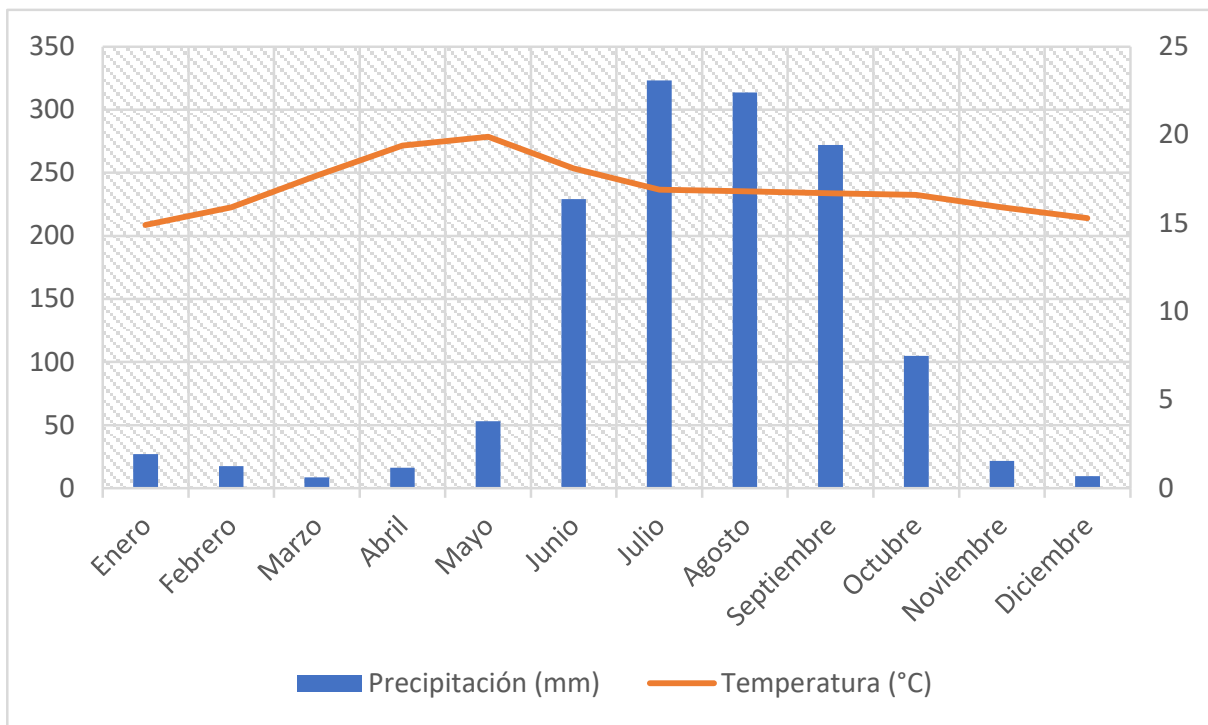


Figura IV—14. Climograma de la estación 16045 El Temazcal

Estación meteorológica Jesús de Monte (No. 00016055)

Está ubicada a 2,180 msnm en la localidad de Jesús del Monte, Municipio de Morelia, a 19.651667° de Latitud y -101.151389° de Longitud.

La temperatura máxima anual fue de 24.8 °C, la temperatura media anual fue de 17.5 °C y la temperatura mínima anual fue de 10.2 °C. Mayo presentó la temperatura máxima mensual y la temperatura media normal más elevada, en tanto que enero tuvo la temperatura mínima mensual y temperatura media normal más baja, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla IV—3. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16055 (Jesús del Monte, Morelia, Michoacán)

Estación 16055 Jesús de Monte (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima (°C)													
Normal	21.7	22.8	26.7	30.3	31.1	26.8	23.8	23.3	22.9	23.2	22.7	21.9	24.8
Máxima Mensual	26.9	28.8	34.7	40.6	37.2	35.1	28.6	28.2	28.1	28.7	28.9	26.7	
Año de Máxima	1969	1969	1976	1970	1988	1969	1975	1997	2005	1974	1994	1994	
Máxima Diaria	32.2	33.2	38.2	43.2	43.1	41.0	36.4	34.0	34.1	33.0	33.0	31.4	
Temperatura media (°C)													
Normal	14.9	16.0	18.8	21.1	21.5	19.0	17.2	16.9	16.6	16.6	16.2	15.2	17.5
Temperatura mínima (°C)													
Normal	8.2	9.2	10.9	11.8	11.9	11.2	10.5	10.5	10.3	10.1	9.6	8.6	10.2
Mínima mensual	2.3	3.2	6.6	7.9	8.5	8.0	7.0	7.9	7.7	7.8	7.3	3.0	
Año de mínima	1956	2004	2005	2005	1984	1987	1987	1987	2002	1987	1987	2004	
Mínima diaria	-1.0	-1.0	0.6	6.0	2.2	0.6	0.5	0.8	0.4	0.0	0.0	-1.0	

La precipitación normal total anual fue de 951.6 mm. La precipitación máxima mensual ocurrió el mes de julio de 1998 con un total de 426.2 mm y la precipitación máxima diaria fue de 97.0 mm, en septiembre (Tabla IV—4).

En el periodo de 1951-2010, hubo un total de 89.0 días con lluvia, 60.5 días con niebla, 3.8 días con granizo y 11.8 días con tormentas eléctricas.

Tabla IV—4. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16055 (Jesús del Monte, Morelia, Michoacán)

Estación 16055 Jesús de Monte (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación pluvial (mm)													
Normal	17.0	11.4	7.9	18.4	51.5	155.6	205.5	216.0	169.0	71.3	19.6	8.4	951.6
Máxima Mensual	183.4	193.4	75.6	100.9	195.0	348.7	426.2	360.6	352.2	183.9	96.8	38.2	
Año de Máxima	1992	2010	1997	1997	1985	2001	1998	1965	1962	2004	1995	1976	
Máxima Diaria	40.5	72.4	31.0	75.5	38.5	66.4	70.7	71.0	97.0	33.5	50.7	35.0	

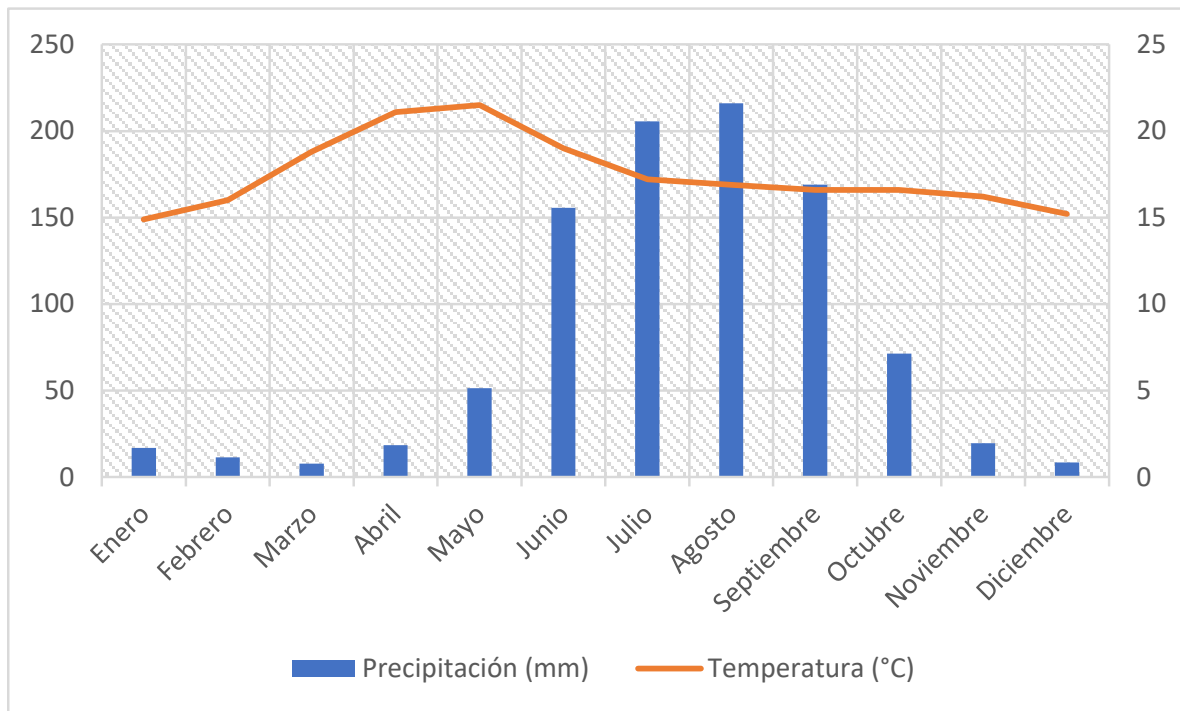


Figura IV—15. Climograma de la estación 16055 Jesús del Monte

Estación meteorológica Morelia (No. 00016081)

Esta estación se ubica en la Ciudad de Morelia, Michoacán, en las coordenadas geográficas 19.688611° Latitud y -101.176111° Longitud, a una altitud de 1,908 msnm.

La temperatura máxima anual fue de 26.6 °C, mientras que la temperatura media anual fue de 18.2 °C y la temperatura mínima anual fue de 9.9 °C. Enero presenta las temperaturas más bajas y mayo las más elevadas. En la siguiente tabla, se presenta los valores de temperatura registrados por la estación:

Tabla IV—5. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16081 (Morelia, Morelia, Michoacán)

Estación 16081 Morelia (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima (°C)													
Normal	23.8	25.6	27.9	30.0	30.6	28.4	26.1	26.0	25.5	25.5	25.3	24.2	26.6
Máxima Mensual	27.2	29.0	32.6	33.9	34.3	34.2	32.4	29.7	29.3	29.3	28.9	29.7	
Año de Máxima	1986	1977	1977	2000	1983	1976	1982	1977	1977	1970	1993	1993	
Máxima Diaria	35.0	33.0	39.0	36.5	38.0	38.5	34.5	32.0	33.0	34.0	38.3	33.0	
Temperatura media (°C)													
Normal	14.5	15.8	18.1	20.3	21.5	20.9	19.4	19.4	19.1	18.0	16.5	15.0	18.2
Temperatura mínima (°C)													
Normal	5.2	6.1	8.4	10.6	12.5	13.4	12.8	12.9	12.7	10.5	7.8	5.9	9.9
Mínima mensual	0.4	2.3	4.0	6.4	7.7	8.0	6.6	9.5	8.4	4.8	4.3	2.8	
Año de mínima	1956	1960	1983	1983	1984	1993	1981	1981	1981	1952	1966	1954	
Mínima diaria	-4.4	-3.0	0.2	1.7	4.6	3.0	3.9	6.0	5.0	0.0	-1.1	-4.4	

La precipitación normal total fue de 803.6 mm y la máxima diaria fue de 85.3 mm, en junio. La precipitación máxima mensual ocurrió en julio de 2010 y fue de 294.7 mm (Tabla IV—6).

De acuerdo con la información retomada de las normales climatológicas, se registraron un total de 109.5 días con lluvia, 32.7 días con niebla, 2.7 días con granizo y 11.1 días con tormentas eléctricas.

Tabla IV—6. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16081 (Morelia, Morelia, Michoacán)

Estación 16081 Morelia (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación pluvial (mm)													
Normal	18.8	9.3	9.8	14.2	46.3	141.7	183.0	166.8	140.6	55.4	12.1	5.6	803.6
Máxima Mensual	136.3	151.8	144.4	144.4	101.2	284.0	294.7	267.6	287.9	171.6	63.3	38.4	
Año de Máxima	2003	2010	1959	1959	1956	2002	2010	2010	1998	1976	1952	1979	
Máxima Diaria	51.5	63.5	46.1	46.1	59.0	85.3	75.4	66.3	66.0	51.7	38.5	21.5	

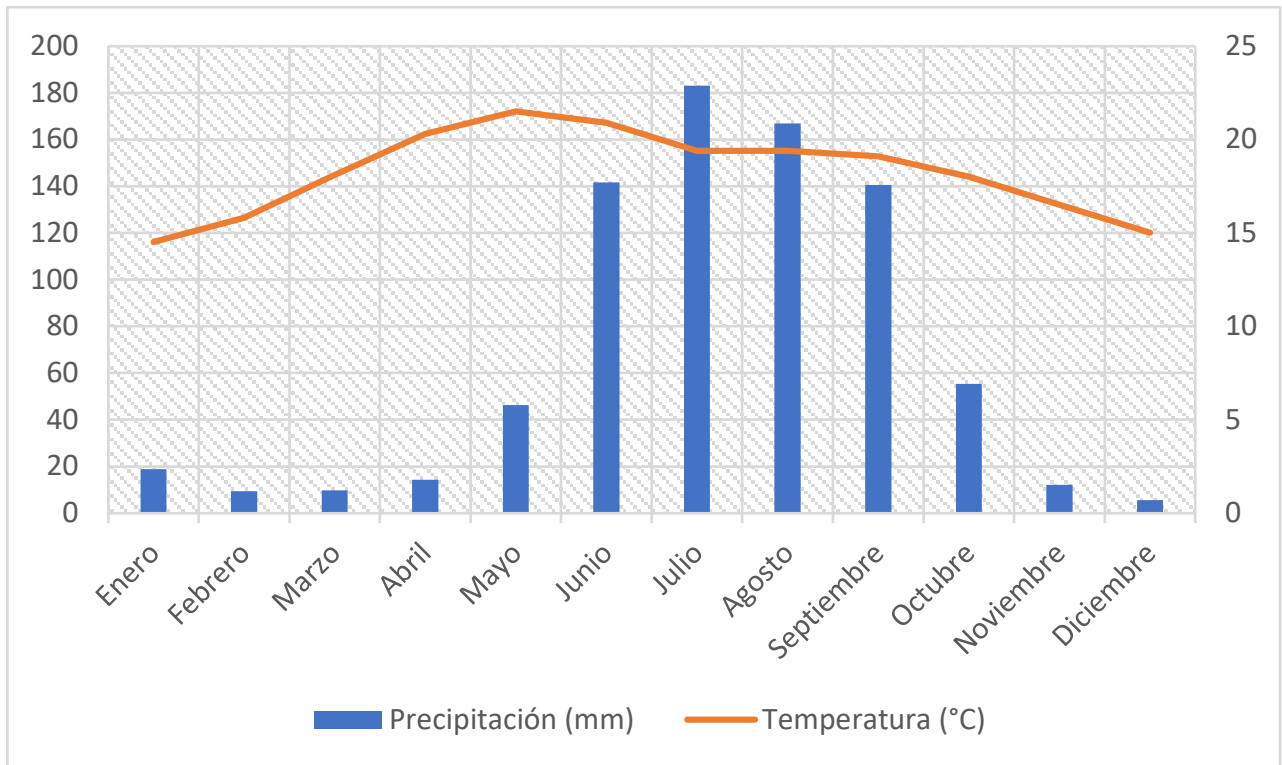


Figura IV—16. Climograma de la estación 16081 Morelia

Estación meteorológica Cointzio (No. 00016022)

La Estación Cointzio se encuentra en Morelia, Michoacán, y se encuentra a 2096 msnm. Sus coordenadas geográficas son 19.625000° Latitud y -101.281111° Longitud.

La temperatura máxima anual fue de 25.6 °C, mientras que la temperatura media anual fue de 17.9 °C y la temperatura mínima anual fue de 9.7 °C. Enero presenta las temperaturas más bajas y mayo las más elevadas. En la siguiente tabla, se presenta los valores de temperatura registrados por la estación:

Tabla IV—7. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16022 (Cointzio, Morelia, Michoacán)

Estación 16022 Cointzio (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima (°C)													
Normal	23.4	25.0	27.2	29.1	29.4	26.7	24.3	24.3	24.3	24.9	24.7	23.3	25.6
Máxima Mensual	28.5	31.4	34.5	35.2	35.8	31.7	27.0	27.1	26.5	28.0	28.4	29.3	
Año de Máxima	1994	1994	1994	1994	1998	2005	1994	1997	1996	1993	1994	1993	
Máxima Diaria	31.5	34.0	39.0	38.5	39.5	38.0	31.5	32.0	34.0	34.6	31.6	31.5	
Temperatura media (°C)													
Normal	14.3	15.5	17.6	19.6	20.7	20.1	18.5	18.4	18.3	17.7	16.3	14.7	17.6
Temperatura mínima (°C)													
Normal	5.2	6.0	7.9	10.0	12.0	13.4	12.6	12.5	12.4	10.6	7.9	6.0	9.7
Mínima mensual	1.7	3.5	5.4	8.0	10.5	12.2	5.3	5.3	7.5	6.1	5.7	3.4	
Año de mínima	1973	1983	1986	1996	1993	2001	1974	1974	1974	1952	1999	1999	
Mínima diaria	-4.0	-5.5	0.0	0.0	0.5	7.0	0.5	0.5	1.3	1.0	-0.5	-2.5	

La precipitación normal total anual fue de 822.8 mm, en tanto que la precipitación máxima mensual ocurrió el mes de julio de 1968 con un total de 379.8 mm. La precipitación máxima diaria fue de 135.8 mm, en julio (Tabla IV—8).

De acuerdo con la información retomada de las normales climatológicas, se registraron un total de 116.1 días con lluvia, 20.4 días con niebla, 1.7 días con granizo y 8.2 días con tormentas eléctricas.

Tabla IV—8. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16022 (Cointzio, Morelia, Michoacán)

Estación 16022 Cointzio (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación pluvial (mm)													
Normal	16.3	7.4	5.7	14.2	48.3	146.2	185.1	166.7	143.5	61.9	18.8	8.7	822.8
Máxima Mensual	134.0	31.4	41.4	118.0	136.5	258.8	379.8	294.7	245.4	241.7	84.1	58.3	
Año de Máxima	1958	1965	1997	1959	1956	1999	1968	1975	1967	1976	1992	1979	
Máxima Diaria	50.0	21.7	19.2	29.3	50.5	78.0	135.8	54.0	78.9	80.0	44.2	21.2	

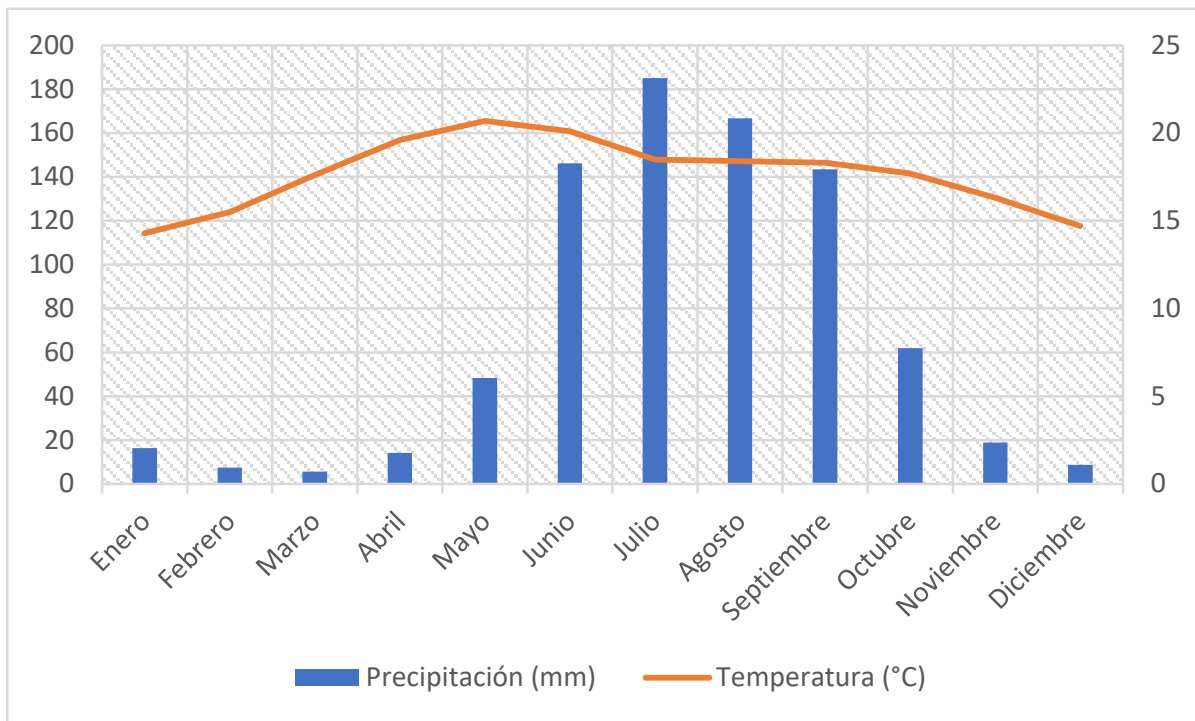


Figura IV—17. Climograma de la estación 16022 Cointzio

Estación meteorológica Santiago Undameo (No. 00016120)

Está ubicada a 2,130 msnm en Morelia, a 19.602778° de Latitud y -101.320000° de Longitud.

La temperatura máxima anual fue de 24.8 °C, la temperatura media anual fue de 16.2 °C y la temperatura mínima anual fue de 7.7 °C. Mayo presentó la temperatura máxima mensual y la temperatura media normal más elevada, en tanto que enero tuvo la temperatura mínima mensual y temperatura media normal más baja, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla IV—9. Temperatura máxima, media y mínima registrada en la estación meteorológica 16120 (Santiago Undameo, Morelia, Michoacán)

Estación 16120 Santiago Undameo (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima (°C)													
Normal	22.5	24.4	26.9	28.6	28.6	26.1	23.9	23.9	23.5	23.5	23.2	22.2	24.8
Máxima Mensual	25.4	27.8	31.5	34.5	35.0	31.6	27.1	26.6	26.1	26.3	26.3	25.4	
Año de Máxima	2000	1996	1991	2005	1998	2005	2002	1997	2002	1970	2005	1993	
Máxima Diaria	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	36.5	30.9	30.0	29.5	29.5	29.5	29.0	
Temperatura media (°C)													
Normal	12.3	13.7	15.8	17.9	19.3	19.3	18.0	17.9	17.6	16.2	14.2	12.6	16.2
Temperatura mínima (°C)													
Normal	2.2	3.0	4.8	7.1	10.0	12.5	12.1	12.0	11.7	8.9	5.1	3.0	7.7
Mínima mensual	-1.2	-0.7	2.1	4.7	5.8	10.3	8.5	9.4	9.4	5.7	1.3	-1.2	
Año de mínima	1996	2004	1983	1995	2003	1995	1995	1995	1995	1987	2001	2003	
Mínima diaria	-6.1	-7.5	-3.0	-1.0	1.5	4.2	6.0	5.5	2.8	-3.0	-5.0	-5.1	

La precipitación normal total anual fue de 849.3 mm, y la precipitación máxima mensual fue de 312.0 mm, en julio de 1983. La precipitación máxima diaria fue de 82.0 mm, en octubre (Tabla IV—10).

En el periodo de 1951-2010, hubo un total de 109.7 días con lluvia, 7.9 días con niebla, 0.8 días con granizo y 4.5 días con tormentas eléctricas.

Tabla IV—10. Precipitación normal mensual, máxima mensual y máxima diaria registrada en la estación meteorológica 16120 (Santiago Undameo, Morelia, Michoacán)

Estación 16120 Santiago Undameo (1951-2010)													
Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación pluvial (mm)													
Normal	15.5	9.5	8.2	15.9	43.9	136.4	188.7	183.3	158.4	64.6	16.4	8.5	849.3
Máxima Mensual	137.2	39.7	48.6	103.4	171.7	288.8	312.0	302.6	279.4	230.2	66.5	66.4	
Año de Máxima	1992	1995	1997	1959	1956	1972	1983	1995	1995	1976	1992	1979	
Máxima Diaria	54.0	36.9	42.4	35.0	51.8	53.2	54.0	60.4	64.0	82.0	30.3	32.5	

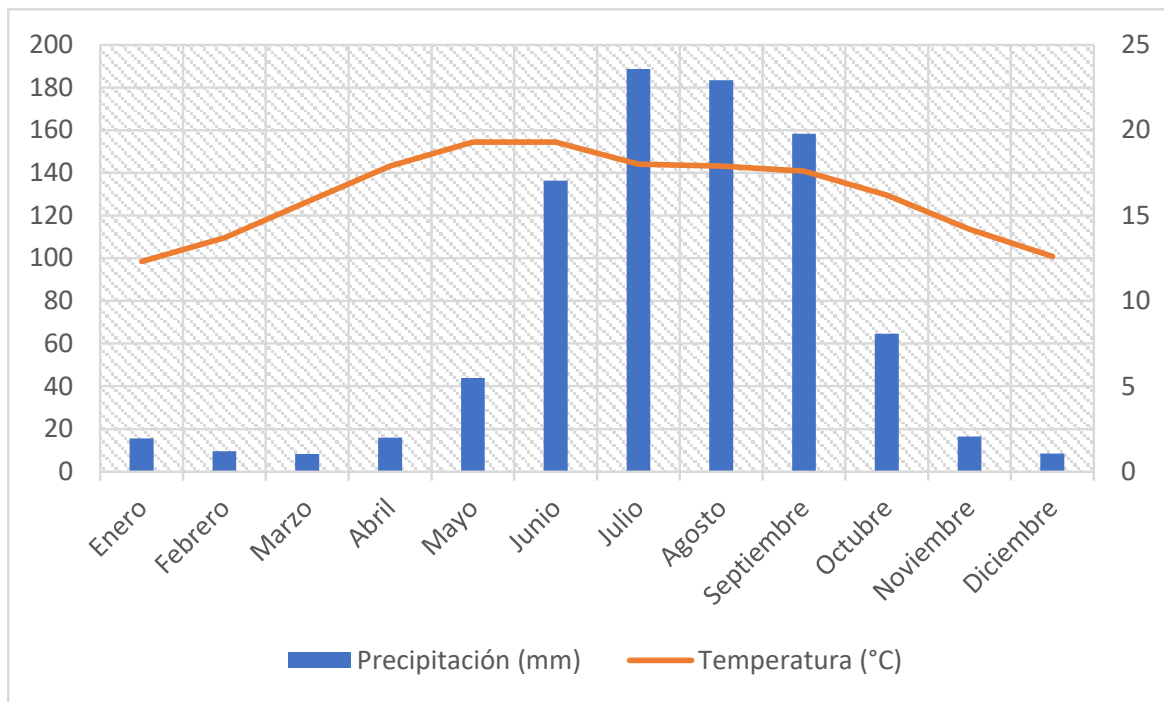


Figura IV—18. Climograma de la estación 16120 Santiago Undameo

En conclusión, enero es el mes con las temperaturas más bajas y mayo el mes con las temperaturas más altas en la CHF. Julio es el mes más lluvioso, en tanto que marzo y diciembre son los meses más secos.

Integrando los datos de temperatura y precipitación de las estaciones circundantes a la CHF, se obtuvo que la temperatura media es de 17.5-18.08 °C (Figura IV—19) y la precipitación media de 69.07-79.97 mm (Figura IV—20).

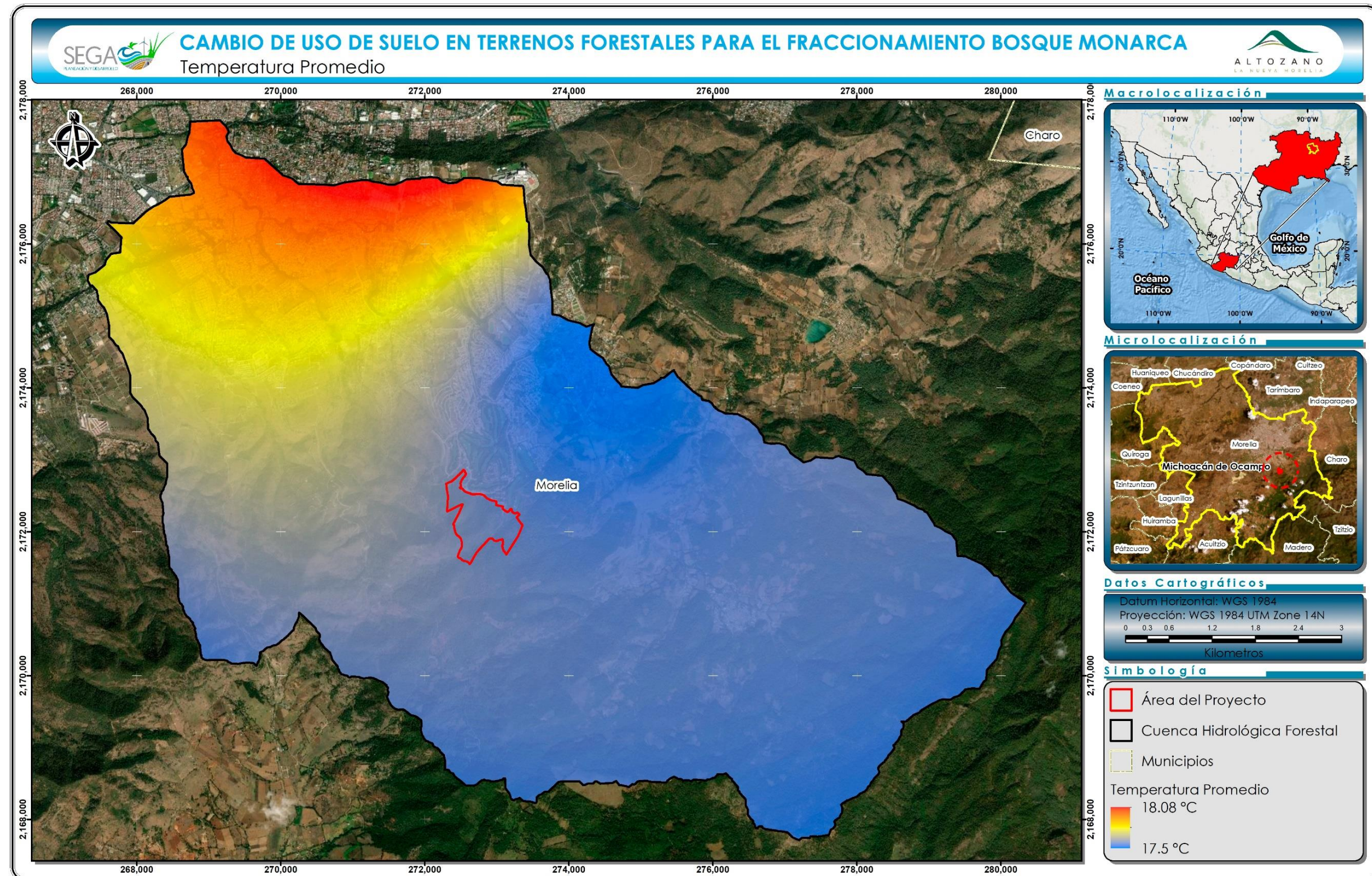


Figura IV—19. Temperatura promedio de la CHF

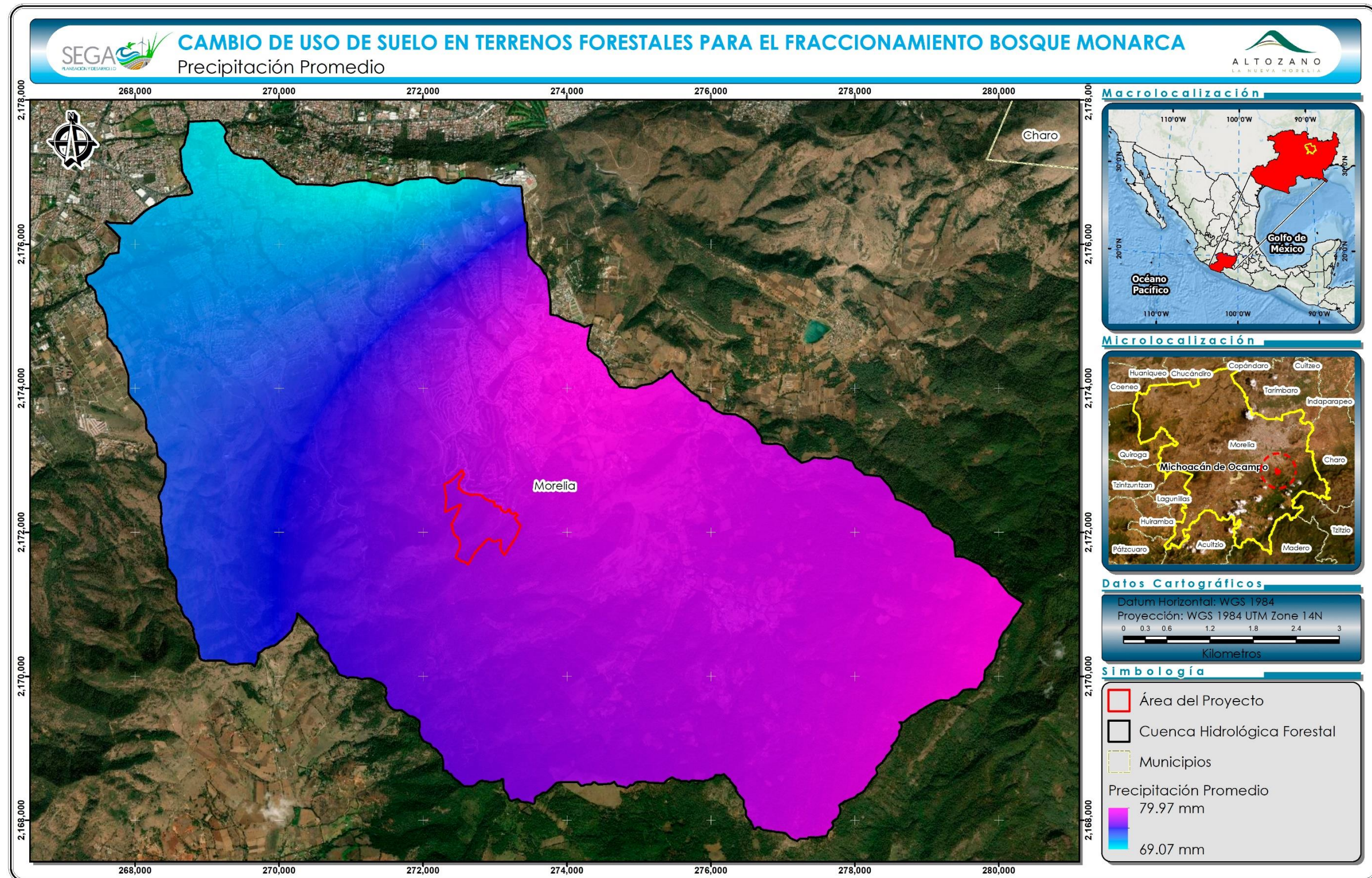


Figura IV—20. Precipitación promedio de la CHF

IV.2.3.1.2 Viento y radiación solar

Viento

El viento es un elemento climatológico definido como "el aire en movimiento" y se describe por dos características: 1) la dirección y 2) la velocidad. La dirección y velocidad del viento influyen sobre las dinámicas de dispersión de los contaminantes del aire, por lo que recabar datos sobre estos parámetros es fundamental para adoptar medidas más eficientes para la protección de la salud humana y del medio ambiente.

Con respecto a la dirección del viento, en Morelia dominan los vientos sur-suroeste, por lo que arrastran los contaminantes hacia el norte, resultando en una mejor calidad del aire en el sur de la ciudad donde se localiza el AP.

De acuerdo con los datos de la Estación Meteorológica del Posgrado de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Morelia, la velocidad del viento desde el primero de enero hasta el 6 de diciembre de 2022 fue:

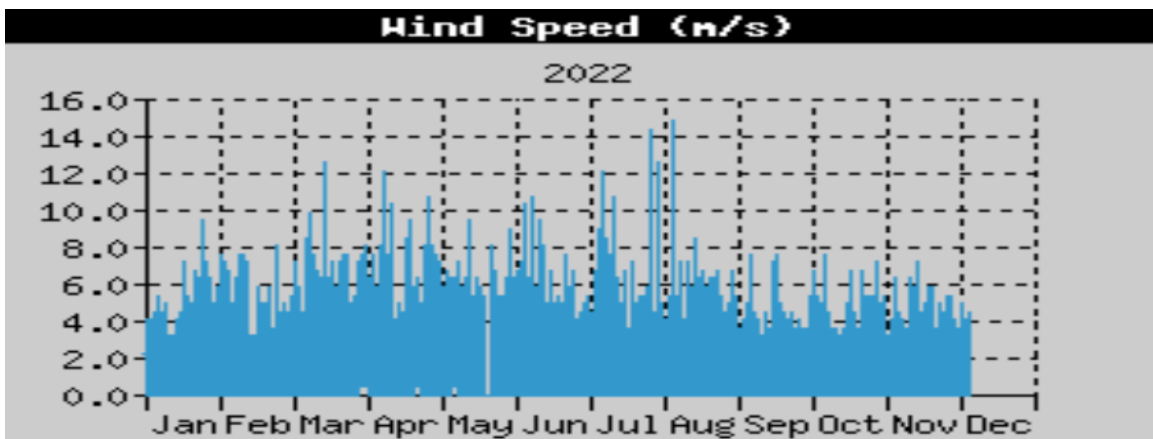


Figura IV—21. Velocidad del viento del 1º de enero al 6 de diciembre de 2022. Fuente: Estación Meteorológica del Posgrado de Ing. Electrónica del Instituto Tecnológico de Morelia (2022)

Como se puede observar en el gráfico anterior, la velocidad máxima del viento en Morelia en 2022 fue de aproximadamente 15 m/s, correspondiente a una ráfaga en el mes de agosto. Este dato se traduce en un valor de 7 en la escala de Beaufort (medida empírica de la intensidad del viento que se basaba originalmente en el comportamiento del mar, de las olas y del viento pero que fue adaptada posteriormente para observaciones terrestres), indicando que se trató de un viento fuerte que causó que todos los árboles se movieran fuertemente y que los habitantes de la ciudad tuvieron trabajo en moverse contra la dirección del viento (SEMAR, s.f.). No obstante, la mayoría de los vientos a lo largo del año fueron moderados.

Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Su importancia radica en que determina la dinámica de los procesos fotoquímicos atmosféricos y el clima, además de que puede influir sobre las tasas de formación de algunos contaminantes como el ozono y las partículas ultrafinas.

De acuerdo con el “Earth Science Enterprise Program” de la NASA, la ciudad de Morelia presenta una irradiación solar diaria promedio de 5,580 W/m² (Navarrete-González, 2019). Esto coloca a Morelia dentro de la media nacional, ya que el 90% del territorio mexicano presenta una radiación solar diaria de 5,000-6,000 W/m² (Autren, s.f.), superando la media global de 1,368 W/m² (Weier y Cahalan, 2003).

IV.2.3.1.3 Heladas y huracanes

Heladas

Las heladas se presentan cuando ocurre la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0°C (WMO, 1992). Estos eventos climáticos pueden generar importantes pérdidas económicas y agrícolas, además de afectar la salud de la población.

En México, la distribución de las heladas se manifiesta principalmente en dos grandes regiones: la primera y la más extensa está sobre las sierras Tarahumara, de Durango y Tepehuanes, que comprende a los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas; la segunda, aunque no de menor importancia, se localiza en la parte centro del país, limita con el Eje Neovolcánico, e incluye los Estados de Michoacán, Estado de México, Ciudad de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo (Matías-Ramírez, L. G. *et al.*, 2021).

Las heladas más intensas están asociadas al desplazamiento de las grandes masas polares que, desde finales del otoño, se desplazan de norte a sur sobre el país. Sin embargo, las heladas que ocurren en México durante los meses del verano son las que causan fuertes daños a la agricultura (Matías-Ramírez, L. G. *et al.*, 2021).

Con respecto a la CHF, 4,196.38 ha (60.13%) tienen una probabilidad baja de presentar heladas y 2,782.69 ha (39.87%) tienen una probabilidad moderada (Figura IV—22).

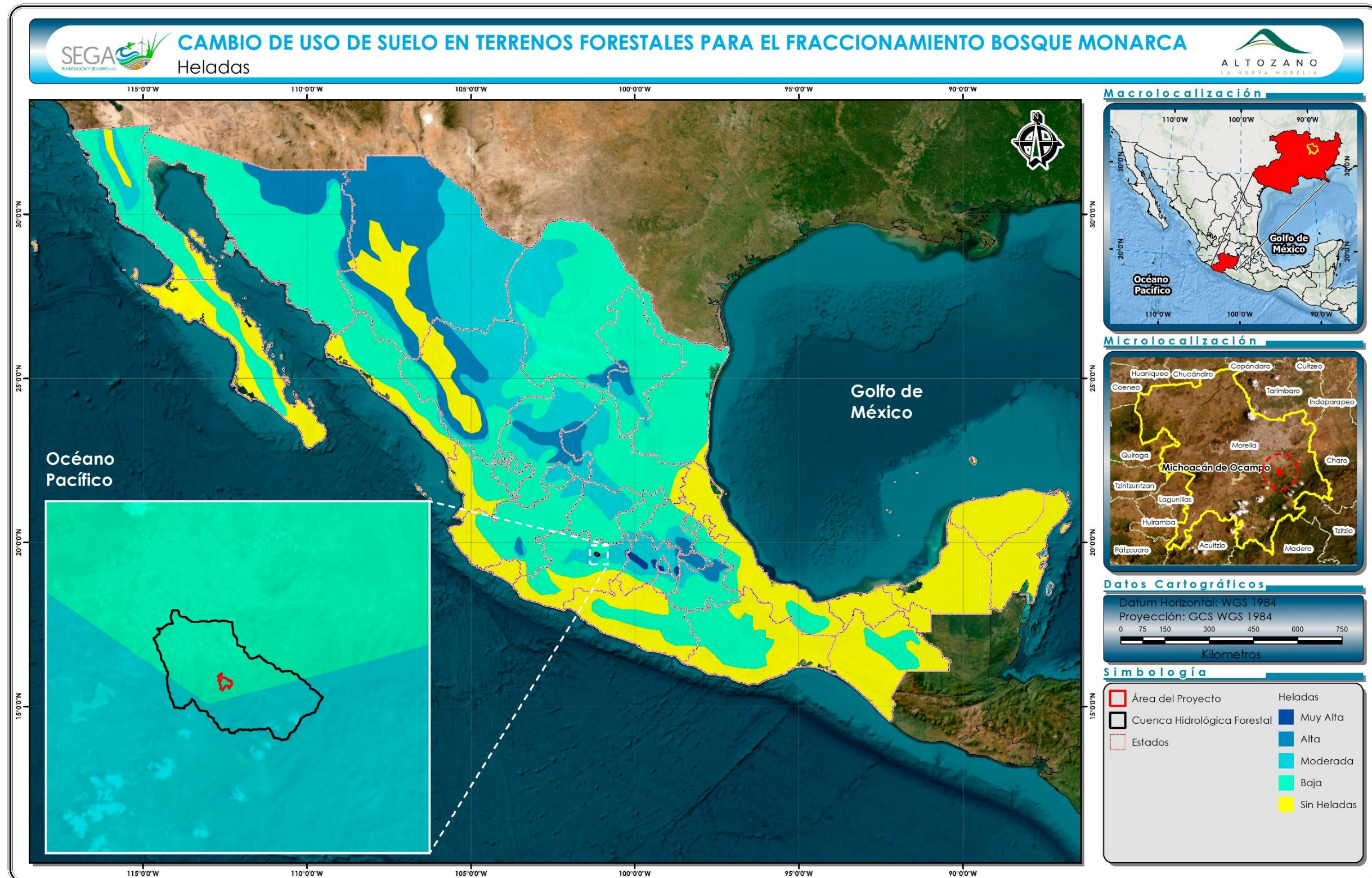


Figura IV—22. Probabilidad de heladas en la CHF

Huracanes

Por su ubicación geográfica, el Estado de Michoacán es propenso a ser afectado por huracanes que se forman en el Océano Pacífico. En la siguiente tabla, se observan los huracanes formados en el Pacífico que han afectado al estado de Michoacán en los últimos 50 años, siendo los de mayor categoría (Cinco) Willa (2018), Patricia (2015), Celia (2010) y Jimena (2009).

Tabla IV—11. Eventos meteorológicos extremos (huracanes) originados en el Océano Pacífico y reportados para el Estado de Michoacán en el período de 1971 al 2022

Año	Nombre	Categoría de impacto	Estados Afectados	Día de impacto	Vientos máximos km/h
2022	Roslyn	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, Dgo, Zac, Ags, Coah, NL, SLP	19 octubre	215
	Orelene	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Dgo, Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Gro, Zac, Ags	28 septiembre	215
	Kay	DT, TT, H1, H2	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS	4 septiembre	165
	Estelle	DT, TT, H1	Oax, Gro, Mich	15 julio	140
	Celia	DT, TT	Ver, Pue, Camp, Yuc, QRoo, Oax, Chis, Gro, Mich, Col, Nay, Jal	16 junio	100
	Blas	DT, TT, H1	BCS, Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Gto, Gro, Edomex, CDMX, Pue, Oax, Chis	14 junio	150
2021	Rick	DT, TT, H1, H2	Gro, Mich, Jal	22 octubre	165
	Olaf	DT, TT, H1, H2	Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS	7 septiembre	155
	Nora	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin	25 agosto	140
	Kevin	DT, TT	Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Gro, BCS	7 agosto	95
	Enrique	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS	25 junio	150
	Dolores	DT, TT	Dgo, Zac, Ags, Nay, Jal, Col, Mich, Gro, Oax	18 junio	110
	Blanca	DT, TT	Gro, Mich, Col, Jal, Nay	30 mayo	95
2020	Hernán	DT, TT	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Son, BCS	26 agosto	75
	Genevieve	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, Zac, Dgo, BCS, BC	16 agosto	215
	Cristina	DT, TT	BCS, Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Gro, Pue, Edomex,	6 julio	110

Año	Nombre	Categoría de impacto	Estados Afectados	Día de impacto	Vientos máximos km/h
			Mor, CDMX, Tlax, Ver, Oax, Chis		
2019	Priscilla	DT, TT	Gro, Mich, Col, Jal	20 octubre	65
	Narda	DT, TT	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, Son	28 septiembre	85
	Lorena	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, Son	17 septiembre	140
	Alvin	DT, TT, H1	Jal, Col, Mich, Gro, Gto	25 junio	120
2018	Xavier	DT, TT	Mich, Col, Jal	2 noviembre	95
	Willa	DT, TT, H1, H2, H3, H4, H5	Sin, Nay, Jal, Col, Mich, Dgo, Zac	20 octubre	195
	Vicente	DT, TT	Mich, Gro, Oax, Chis	19 octubre	75
	Sergio	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Chih, Son, BC, BCS, Mich, Gro, Oax	26 septiembre	220
	Ileana	DT, TT	Mich, Gro, Oax, Chis, Col, Jal, Nay	4 agosto	100
	Carlotta	DT, TT	Mich, Gro, Oax, Chis, Tlax, Tab, Ver, Pue, Edomex, CDMX, Mor, Col, Jal	14 junio	100
2017	Pilar	DT, TT	Mich, Gro, Oax, Col, Jal, Nay, Sin	23 septiembre	75
	Max	DT, TT, H1	Mich, Gro, Oax	13 septiembre	140
	Lidia	DT, TT	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, BC, Chih, Son, Zac, Dgo, Ags, Gto	29 agosto	105
	Dora	DT, TT, H1	Mich, Gro, Oax, Chis, CDMX, Sin, Tab, Ver, Pue, Edomex, Jal, Nay, Col	24 junio	150
	Beatriz	DT, TT	Mich, Gro, Oax, Chis, Camp, Tab, Ver, Pue, Edomex, CDMX, Mor	31 mayo	75
2016	Tina	DT, TT	Nay, Col, Jal, Mich	13 noviembre	65
	Newton	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, Chih, Son, BC, Zac, Dgo	4 septiembre	150
	Lester	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Nay, Col, Jal, Mich	24 agosto	220
	Javier	DT, TT	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, Dgo, Zac, Son, Ags	7 agosto	100

Año	Nombre	Categoría de impacto	Estados Afectados	Día de impacto	Vientos máximos km/h
2015	Sandra	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, Chi, Coah, Zac, Dgo	23 noviembre	130
	Rick	DT, TT	BCS, Sin, Nay, Col, Jal, Mich, Gro	18 noviembre	65
	Patricia	DT, TT, H1, H2, H3, H4, H5	Jal, Col, Mich, Gro, Zac, Sin, Chih, Nay, Dgo, Ags, Gto, Qro, Hgo, Edomex, CDMX, Mor, Tlax, Pue, Coah, NL, Tamps, SLP	20 octubre	325
	Marty	DT, TT, H1	Oax, Gro, Mich, Col, Jal	26 septiembre	130
	Dolores	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Col, Chs, Jal, Edomex, Mich, Mor, Nay, Oax, Pue, Ver, CDMX, Sin, BCS	11 julio	215
	Carlos	DT, TT, H1	Col, Chs, Gro, Jal, Edomex, Mich, Mor, Nay, Oax, Pue, Qro, Tlax, Ver, CDMX, Gto	10 junio	150
	Blanca	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS, BC, Son	31 mayo	220
2014	Vance	DT, TT, H1, H2	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, Son, BCS, Chih, Dgo, Zac, Ags	30 octubre	175
	Trudy	DT, TT	Oax, Gro, Mich, Chs	17 octubre	95
	Simon	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Jal, Nay, BCS, Sin, Dgo, Son, Mich	1 octubre	215
	Rachel	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal	24 agosto	140
	Polo	DT, TT, H1	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, BCS	16 septiembre	120
	Odile	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, Son, BC, BCS	10 septiembre	215
	Elida	DT, TT	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay	30 junio	75
2013	Raymond	DT, TT, H1, H2, H3	Oax, Gro, Mich, Col, Jal	19 octubre	205
	Manuel	DT, TT, H1	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin	13 septiembre	120
	Lorena	DT, TT	Col, Gro, Jal, Mich, Nay, Sin, BCS	4 septiembre	75
	Erick	DT, TT, H1	Col, Chs, Gro, Jal, Mich, Nay, Oax, Sin, BCS	4 julio	130
	Dalila	DT, TT, H1	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin	29 junio	120
	Cosme	DT, TT, H1	Col, Chs, Gro, Jal, Mich, Nay, Oax, Sin	23 junio	140
2012	Carlotta	DT, TT, H1, H2	Col, Chs, Gro, Hgo, Jal, Edomex, Mich, Mor, Nay,	13 junio	165

Año	Nombre	Categoría de impacto	Estados Afectados	Día de impacto	Vientos máximos km/h
			Oax, Pue, Qro, Tab, Tlax, Ver		
	Bud	DT, TT, H1, H2, H3	Gro, Mich, Col, Jal, Nay	21 mayo	185
2011	Jova	DT, TT, H1, H2, H3	Mich, Col, Jal, Nay	5 octubre	205
	Hilary	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Oax, Gro, Mich, Col, Jal	21 septiembre	230
	Depresión Tropical No. 8 del Océano Pacífico	DT	Mich, Col, Jal	31 agosto	55
	Eugene	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Oax, Gro, Mich, Col, Jal, BCS	31 julio	220
	Dora	DT, TT, H1, H2, H3, H4	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, Nay, Sin, BCS	18 julio	250
	Calvin	DT, TT, H1	Gro, Mich, Col, Jal	7 julio	130
	Adrián	DT, TT, H1, H2, H3, H4,	Gro, Mich, Col, BCS	7 junio	220
2010	Frank	DT, TT, H1	Chis, Oax, Gro, Mich, Col, Jal, BCS	21 agosto	150
	Estelle	DT, TT,	Gro, Mich, Col, Jal, BCS	5 agosto	100
	Celia	DT, TT, H1, H2, H3, H4, H5	Oax, Gro, Mich, Col	19 junio	260
2009	Jimena	DT, TT, H1, H2, H3, H4, H5.	Gro, Mich, Col, Jal, BCS	28 agosto	250
	Andrés		Gro, Mich, Col, Jal	21 junio	120
	E1	DT	Mich, Col, Son, Sin	18 junio	55
2008	Odile	TT	Gro, Mich, Col	11 octubre	100
	DT5E	DT	Mich	31 mayo	55
2006	Norman	DT	Col, Mich, Jal	15 octubre	55
2005	Dora	TT	Gro, Mich, Col	4 julio	65
2002	Julio	TT	Gro, Mich, Col, Jal	26 septiembre	65
2000	Norman	TT(DT)	Mich, Col, Jal, Sin	20 septiembre	75 (55)
1999	Greg	H1	Gro, Col, Mich, Jal, Sin, BCS, Son	8 septiembre.	120
1997	Pauline	H3 (H2)	Oax, Gro, Mich, Jal	8 octubre	195 (165)
1996	Hernan	H1 (DT)	Jal, Mich, Col, Nay	3 octubre	120 (45)

Año	Nombre	Categoría de impacto	Estados Afectados	Día de impacto	Vientos máximos km/h
	Boris	H1	Gro, Mich, Jal, Nay.	29 junio	148
	Alma	H2	Gro, Mich, Jal, Col	23 junio	160
1992	Winifred	H2	Mich, Col, Jal	9 octubre	175
	Virgil	H2	Mich, Col, Jal	3 octubre	175
1991	Ignacio	TT	Mich, Col, Gro	18 septiembre	95
1984	Odile	TT	Mich, Gro	22 septiembre	93
1979	Ignacio	TT	Col, Mich	30 octubre	100
	Andrés	H1	Mich, Col, Jal	4 junio	120
1978	Aletta	TT	Gro, Mich	30 mayo	85
1976	Madeline	H4	Gro, Mich	8 octubre	230
1974	Fifi	TT	Chis, Oax, Gro, Mich	19 septiembre	85
	Norma	TT	Gro, Mich	10 septiembre	85
1973	Bernice	TT	Gro, Mich	23 junio	85
1972	Annette	TT	Col, Mich	8 junio	65
1971	Bridget	TT	Oax, Gro, Mich, Col, Jal	17 junio	85
	Agatha	H1	Mich, Gro	24 mayo	140

(Categoría de Impacto: H1: Categoría 1, H2: Categoría 2, H3: Categoría 3, H4: Categoría 4, H5: Categoría 5, TT: Tormenta Tropical, DT: Depresión Tropical) reportados por la Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y SMN.

De acuerdo con la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés), en los últimos sesenta años, la trayectoria de tres huracanes ha pasado dentro de un radio de 100 km de distancia de la CHF, sin llegar a tocarla: Iva (1961), Annette (1972) y Debby (1988). Éste último fue el primer huracán de la temporada en el Atlántico de 1988, mientras que los huracanes Iva y Annette se originaron en el Pacífico (NOAA, 2023).

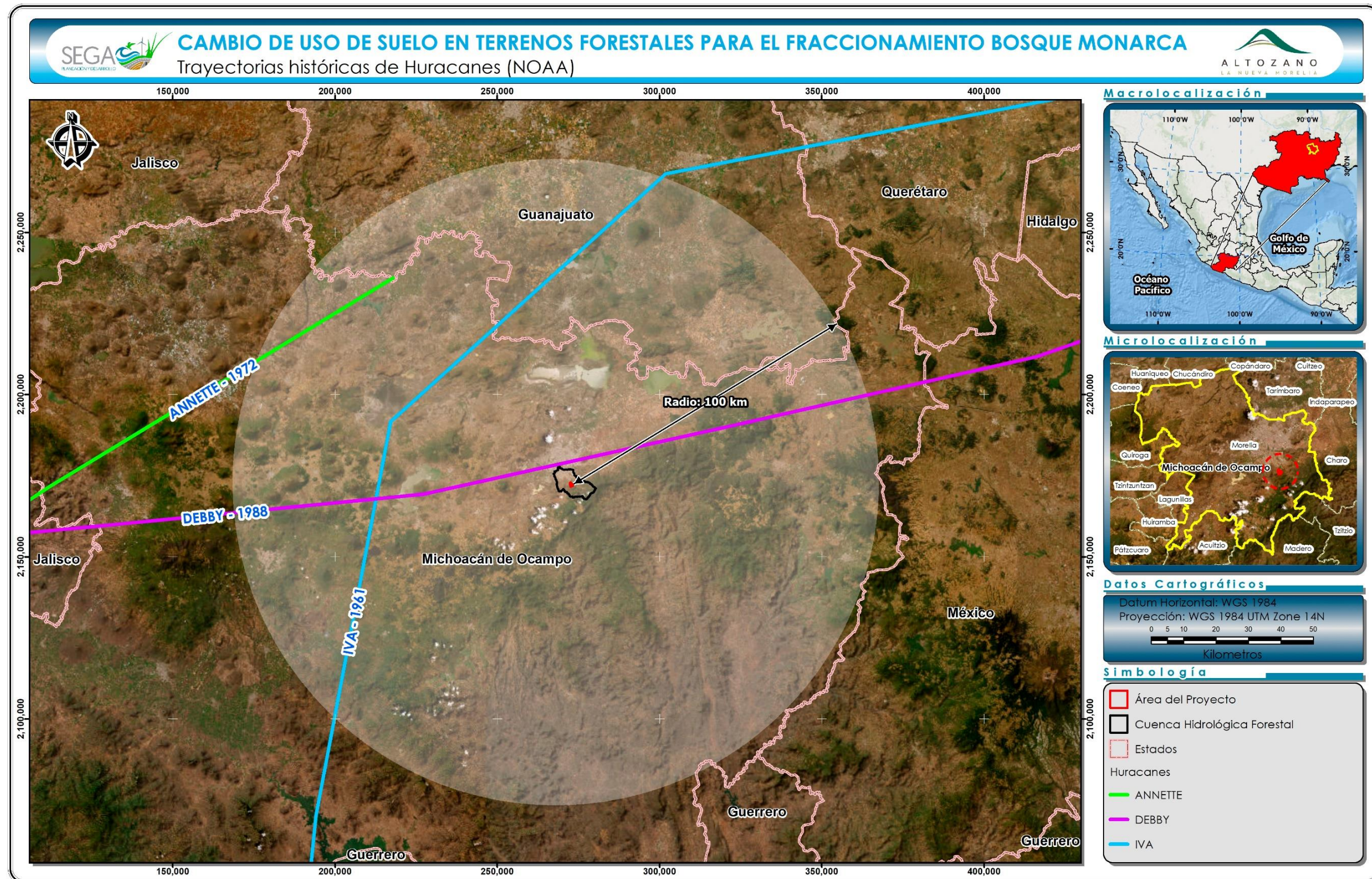


Figura IV—23. Trayectoria histórica de huracanes en la CHF

IV.2.3.2 Geomorfología

IV.2.3.2.1 Provincias y subprovincias fisiográficas

La CHF delimitada para este Proyecto cuenta con una superficie de 6,979.07 ha, y el tipo de vegetación natural presente corresponde al bosque de encino-pino y al bosque de encino. Se ubica al sureste de la Ciudad de Morelia, en el Estado de Michoacán de Ocampo, dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico o Cinturón Volcánico Transmexicano (Figura IV—24). De acuerdo con Israde-Alcántara y Garduño-Monroy (2004), esta provincia geológica configura un cinturón donde se ha alojado el vulcanismo más reciente de México generado hace 12 millones de años por la subducción de la Placa de Cocos (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, 2010) (Figura IV—25).

El Cinturón Volcánico Transmexicano colinda al norte con la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central, la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte; al sur, con la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo Sur. Por el oeste llega al Océano Pacífico y por el este al Golfo de México. Abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Colima, Puebla y Veracruz, así como todo el estado de Tlaxcala y la Ciudad de México (INEGI, 1992).

La provincia se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente. La integran grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas (Aguilar-Murillo, 2012).

Presenta también la cadena de grandes estrato-volcanes denominada propiamente "Eje Neovolcánico" o "Cinturón Volcánico Transmexicano", integrado por: Volcán de Colima, Tancítaro, Zinaltécatl (Nevado de Toluca), Popocatepetl, Iztaccíhuatl,

Matlacuétl (Malinche) y Citlaltépetl (Pico de Orizaba), que atraviesan el país casi en línea recta, más o menos sobre el paralelo 19 (CONAGUA, 2015a). Otro rasgo esencial de la provincia es la existencia de las amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos (Pátzcuaro, Cuitzeo, Texcoco, el Carmen, etc.) o por depósitos de lagos antiguos (Zumpango, Chalco, Xochimilco, diversos llanos en el Bajío Guanajuatense, etc.). Estos lagos se han formado por bloqueo del drenaje original, debido a lavas u otros productos volcánicos, o por el afallamiento, que es otro rasgo característico de la provincia (INEGI, 1992).

El clima dominante de la provincia es templado subhúmedo, que pasa a semicálido hacia el poniente y a semiseco al norte. En las altas cumbres se presentan climas semifríos subhúmedos y, en los picos más elevados (Iztaccíhuatl, Popocatepetl, y Citlaltépetl), climas muy fríos, al grado de que en ellos se presentan los pocos glaciales de la región intertropical del mundo. En áreas reducidas de los extremos este y oeste de la provincia, las condiciones climáticas son cálidas subhúmedas y la vegetación es sumamente diversa (INEGI, 1992).

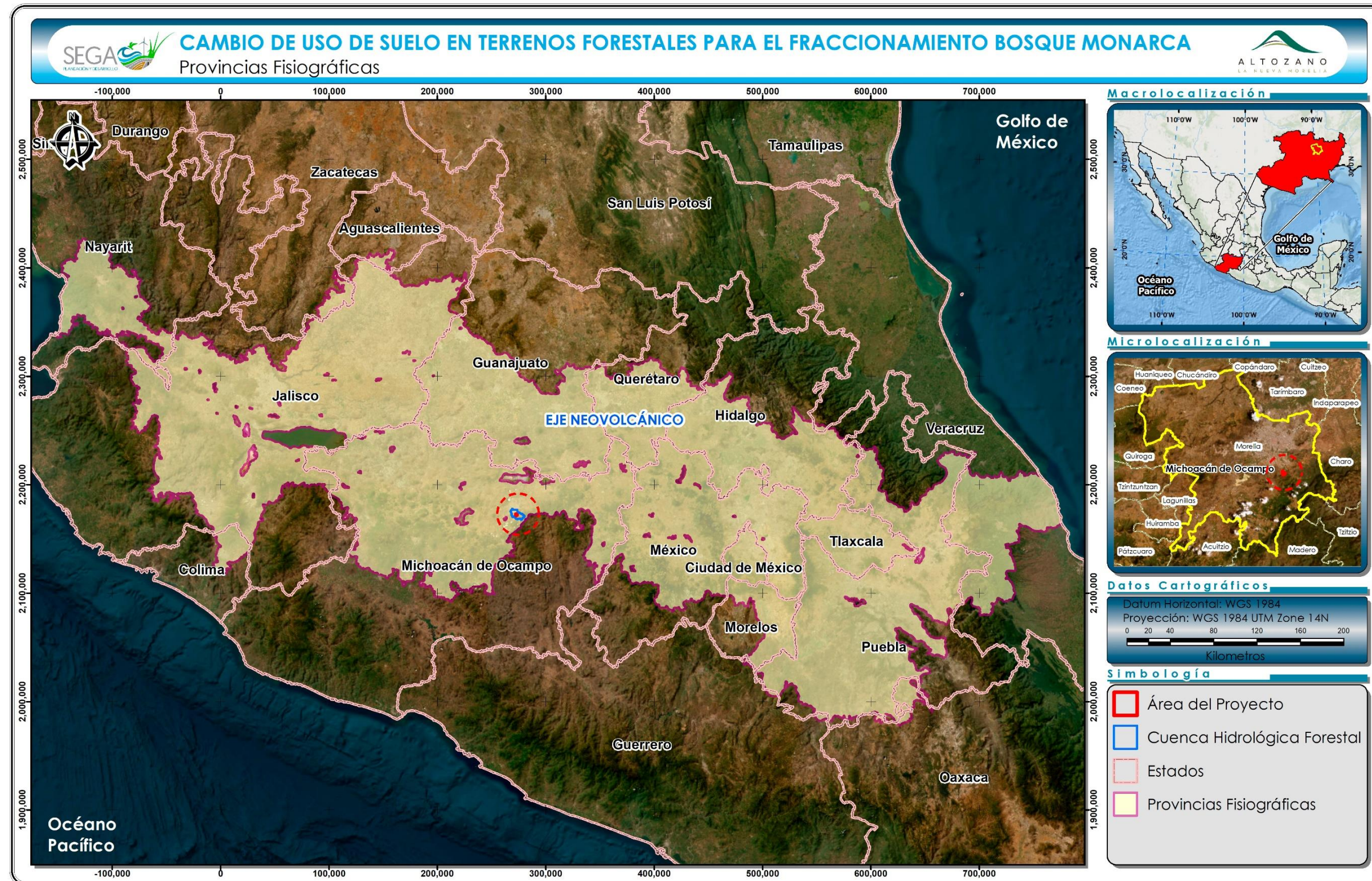


Figura IV—24. Provincia fisiográfica en la que está contenida la CHF



Figura IV—25. Placas tectónicas de México

De acuerdo con los Datos Vectoriales Fisiográficos del Contiguo Nacional Serie I escala 1:1,000,000, la CHF se ubica dentro de **dos subprovincias fisiográficas: Mil Cumbres y Sierras y Bajíos Michoacanos** (INEGI, 2001). Ésta última es la que ocupa una mayor extensión territorial dentro del área de estudio (Figura IV—26):

Tabla IV—12. Superficies de la CHF por Subprovincia fisiográfica

Subprovincia	Superficie (ha)	Porcentaje
Sierras y Bajíos Michoacanos	689.55	9.88
Mil Cumbres	6,289.52	90.12
Total	6,979.07	100.00

Subprovincia de las Sierras y Bajíos Michoacanos

Esta subprovincia se localiza en el corazón de la Cuenca del Río Lerma, y se extiende desde La Piedad de Cavadas, Michoacán, hasta Acámbaro, Guanajuato. En el oriente, las efusiones volcánicas generaron por bloqueo de drenaje los lagos de Yuriria y Cuitzeo (CONAGUA, 2015b). En esta región, que representa el 10.68% de la superficie estatal, los suelos son aluviales y residuales, desarrollados a partir de basaltos, brechas, tobas, andesitas y riolitas originadas en los periodos Terciario y Cuaternario. Entre los tipos de suelo más importantes de la región, se puede señalar a los Vertisoles, Feozems, Luvisoles y Andosoles (Reyes-Torres, 2011).

Subprovincia de Mil Cumbres

Es relativamente de poca extensión. Constituye una región accidentada y complicada por la diversidad de sus geofomas, como son: sierras volcánicas complejas, mesetas lávicas escalonadas, lomeríos basálticos y el valle por el cual el Río Lerma se dirige al norte, hacia la presa Solís (CONAGUA, 2015c).

Esta subprovincia presenta agrestes paisajes formados por bosques de coníferas en una compleja topografía. Clima y geología condicionan la formación de suelos

cuyo origen volcánico es dominante para los Andosoles y residual para Litosol, Regosol y suelos rojos arcillosos (CONAGUA, 2015b).

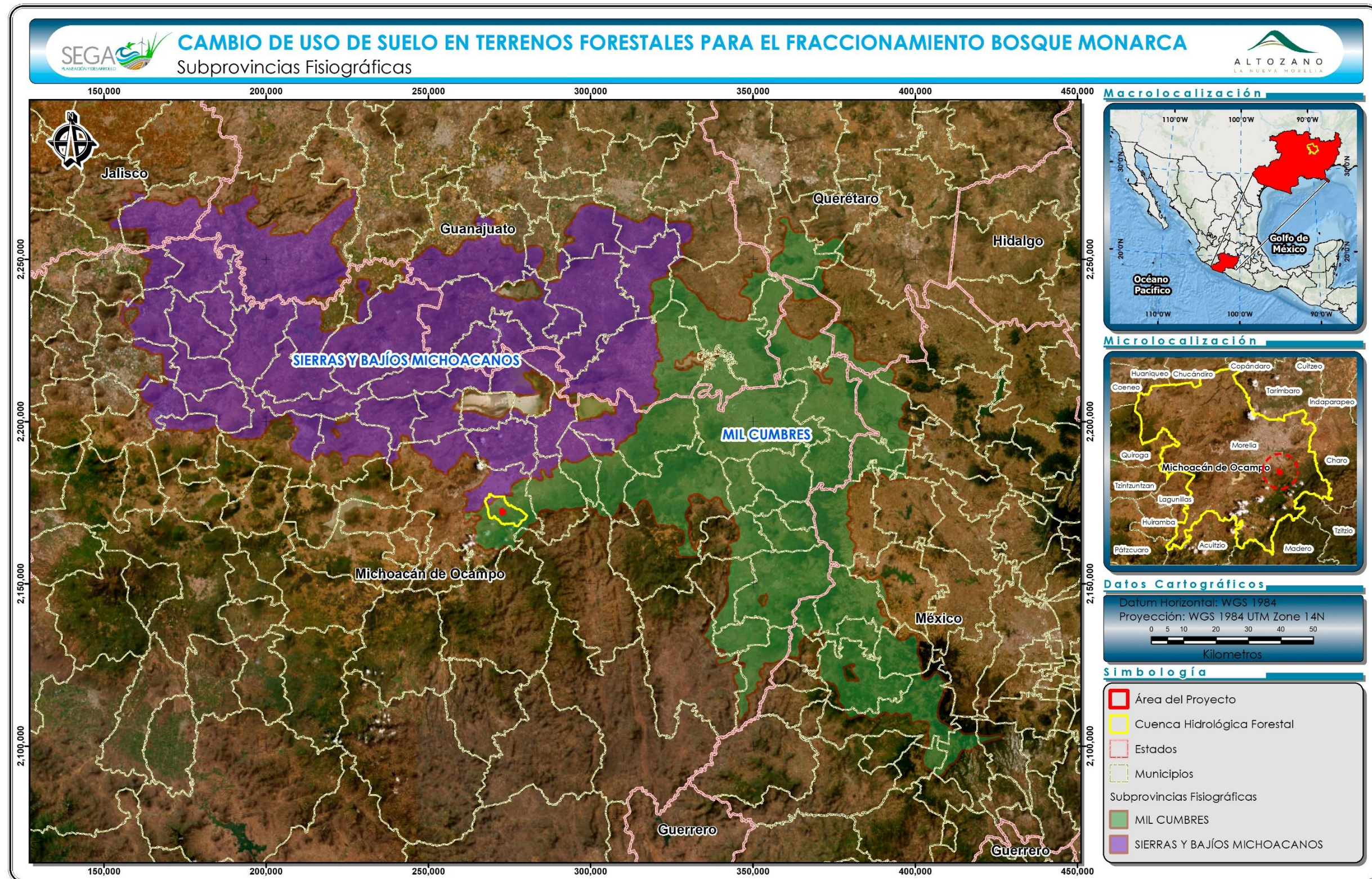


Figura IV—26. Subprovincias fisiográficas en las que está contenida la CHF

IV.2.3.2.2 Geología

Según Garduño-Monroy *et al.* (2014), se han identificado las siguientes unidades estratigráficas en la Ciudad de Morelia:

1. **Andesitas de Mil-Cumbres del Mioceno medio-superior (>12 Ma):** Esta unidad se caracteriza por un paquete de lavas andesíticas gris-verdosas intensamente alteradas y fracturadas con presencia de vetillas de calcita o de calcedonia (Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 2005). Aflora en la cañada del Río Chiquito, en el sector sureste de la ciudad, donde flujos piroclásticos blancos y niveles soldados color vino sobreyacen las andesitas; en la zona de Ocolusen, se observan intercalaciones con brechas y productos piroclásticos alterados de color rojo-amarillo. Se desconoce el espesor exacto de esta unidad dado que nunca ha sido atravesada por los pozos profundos, pero se cree que supera los 200 m (Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 2005). Se observan texturas porfídicas, afíricas y vítreas.

2. **Flujos piroclásticos ignimbríticos del Mioceno (Cantera de Morelia):** Es el conjunto de los productos piroclásticos de composición riolítica generalmente de color rosa, ricos en líticos de andesitas y pómez. Su espesor es de 200 metros y se clasifica como una roca piroclástica denominada ignimbrita. Es posible subdividir esta unidad en varios horizontes, descritos de abajo hacia arriba (Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 2005):
 - 1) Brecha de rezago y flujos piroclásticos juveniles muy fracturados y alterados, de más de 10 m de espesor, observables cerca del edificio volcánico de la caldera de Atécuaro. Este horizonte es bien visible en la carretera Atécuaro-Morelia y se presenta compuesto por lavas vítreas oscuras.
 - 2) Ignimbrita muy soldada de color rojo vino, aflorantes en la zona del Club Campestre.
 - 3) Fiammes oscuros y líticos.

- 4) Ignimbrita blanca con presencia de grandes pómez, mal soldada. Aflora a lo largo del escarpe de la falla La Paloma.
 - 5) Capa de un flujo de matriz arenosa con pómez amarillo claro de mm de diámetro.
 - 6) Flujo piroclástico color rosa de líticos de andesita e ignimbritas en una matriz rica en pómez amarillo claro o blancas. Tiene más de 40 m de espesor.
 - 7) Capa compuesta por flujos piroclásticos blancos o grises con fragmentos de pómez grandes. Es la capa más espesa de la unidad junto con la basal.
 - 8) Nivel de flujos piroclásticos con matriz arenosa, pómez milimétrica de color claro, todo mezclado con clastos muy bien redondeados de tipo fluvial, donde se distinguen clastos de andesitas, dacitas e ignimbritas; sus diámetros van de 1 cm a 20 cm. Se presenta en la zona de La Paloma.
 - 9) Ignimbrita color rojo o vino, muy soldada, con fiammes y líticos más oscuros. Para este horizonte se ha estimado una edad de 12 Ma.
 - 10) Ignimbrita blanca con micas, líticos y fragmentos de pómez. Esta capa, más resistente a la erosión, se observa en la cima de la loma de Santa María y en las actuales obras del Tecnológico de Monterrey y, junto con la capa inferior, es la que controla la morfología del área de Morelia.
3. **Complejo volcánico miocénico del Cerro Punhuato:** Es una secuencia de rocas constituida por derrames de lava y brechas andesíticas y dacíticas, a veces soldadas, que por su estructura y morfología se asocia a un complejo de domos. Este complejo presenta una estructura de herradura abierta hacia el Oeste, y los productos asociados forman un abanico al oriente de la ciudad. Se considera que esta unidad data del Mioceno, y subyace a los sedimentos lacustres del Mioceno superior-Plioceno (Israde-Alcántara, 1995). En los cortes del camino a Tres Marías, se distinguen lavas andesíticas muy fracturadas, brechas de colapso de domos de tipo dacítica o andesítica, intercaladas a flujos piroclásticos. Afectando a estas unidades y a suelos recientes, se observan fallas de dirección E-W con planos subverticales.

4. **Secuencia fluvio-lacustre del Mioceno-Plioceno:** Esta secuencia aflora en la parte sur y oriente de Morelia, donde se caracteriza por limos y arcillas; tiene un espesor hasta de 60 metros y presenta un basculamiento de 5° hacia el Sur. Hacia la Huerta, la secuencia se compone de cenizas volcánicas con matriz arcillosa alternadas con niveles arcillo-limosos. Todo esto está coronado por un depósito piroclástico de caída aérea y de color amarillo, llamado “Alegría” (Israde-Alcántara, 1995), que puso fin a la antigua zona lacustre de Morelia (Garduño-Monroy, 1999). Hacia el libramiento norte y a la altura del Río Grande hay conglomerados y niveles de arenas y limos, afectados por uno de los más importantes fallamientos de Morelia, la falla Central Camionera. En la zona industrial, hacia la región de Charo, la secuencia fluvio-lacustre está caracterizada por arcillas, limos cafés y cenizas blancas y sobreyace a las brechas y lavas del complejo volcánico del Punhuato. En la región de Charo a esta secuencia se le asigna una edad que abarca desde el Mioceno tardío hasta el Pleistoceno (Israde-Alcántara y Garduño-Monroy, 1999; 2005).
5. **Secuencia volcánica pleistocénica-holocénica del Corredor Tarasco:** Es la unidad más reciente y corresponde a los productos del vulcanismo monogenético del Cinturón Volcánico Transmexicano. Son lavas andesíticas y, eventualmente, andesítico-basálticas que provienen de los volcanes Quinceo, Las Tetillas o del Cerro El Águila. El aparato de estos volcanes tiene una base de 10 km de diámetro y más de 800 m de altura (la punta del volcán El Quinceo se encuentra a 2720 m.s.n.m. mientras que la sub-cuenca tiene una altura de 1980-1990 msnm). El volcán El Quinceo fue fechado en 500,000 años y ha tenido reactivaciones en el Holoceno. El volcán Las Tetillas, al igual que El Quinceo, es de tipo escudo, pero es más joven y presenta una colada que cubre el sector norte del Quinceo. En el sector de Tarímbaro, las lavas de ambos volcanes están afectadas por fallas (falla Tarímbaro) con dirección E-O y ENE-OSO. Dentro de este vulcanismo se encuentra el cerro El Águila, que también es un volcán tipo semiescudo y desplazado por fallas E-O.

Para el caso específico de la CHF, las rocas presentes son de tipo ígnea extrusiva (Figura IV—27). Las rocas ígneas extrusivas se forman a partir de un enfriamiento muy rápido como el que ocurre en una erupción volcánica, donde el magma es lanzado hacia la superficie. Ahí, el contraste térmico es muy alto y la disipación del calor es muy rápida, originando una roca muy compacta y con cristales muy pequeños rodeados de material vítreo, o sólo vidrio. Estas rocas son fácilmente reconocidas por la presencia del vidrio volcánico, por su textura muy fina o por presentar agujeros (vesículas), producto del escape de gases durante el enfriamiento (SGM, 2020).

La CHF presenta tres tipos de rocas ígneas extrusivas: toba ácida, andesita-brecha volcánica intermedia y dacita-brecha volcánica ácida. Predomina la andesita-brecha volcánica intermedia, seguida por la toba ácida y la dacita-brecha volcánica ácida.

Tabla IV—13. Geología de la CHF

Clase	Tipo	Clave	Superficie (ha)	%
Ígnea extrusiva	Toba ácida	Ts(Ta)	1,653.87	23.70
Ígnea extrusiva	Andesita-Brecha volcánica intermedia	Ts(A-Bvi)	3,770.00	54.02
Ígnea extrusiva	Dacita-Brecha volcánica ácida	Ts(Da-Bva)	1,555.20	22.28
TOTAL			6,979.07	

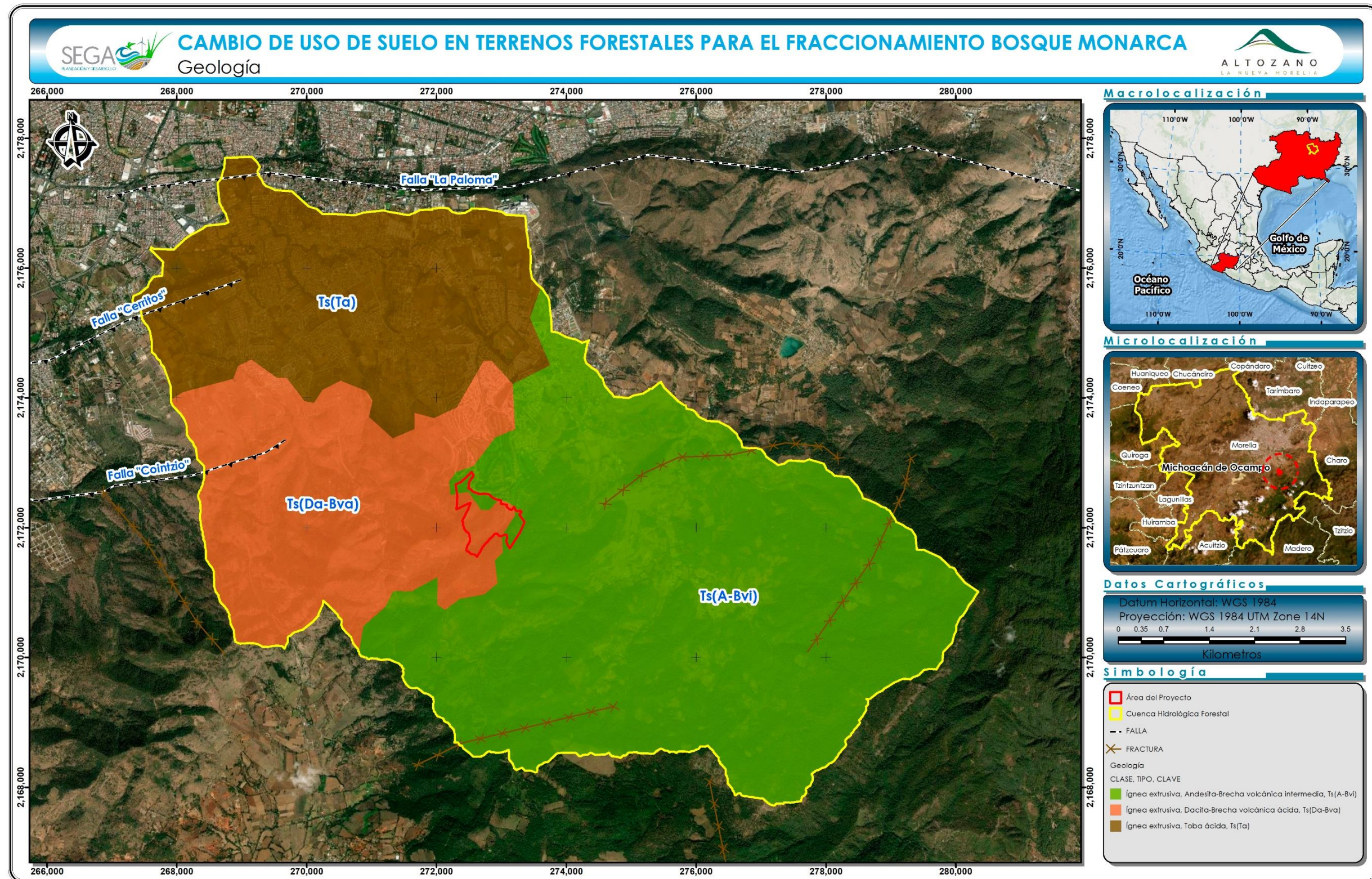


Figura IV—27. Geología de la CHF

IV.2.3.2.3 Sistema de fallas y fracturas

De acuerdo con Garduño-Monroy *et al.* (2001), la parte norte de Michoacán se caracteriza por una alta actividad sísmica y volcánica. En esta región, que pertenece al Cinturón Volcánico Transmexicano, han ocurrido algunos de los sismos históricos más violentos en el Centro de México (Garduño-Monroy *et al.*, 1998) y existen más de 1,000 volcanes monogénicos en lo que se ha llamado el campo volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985).

La ciudad de Morelia, localizada al norte de Michoacán, está severamente afectada por fallamiento continental asociado al Sistema de Fallas Morelia-Acambay, así como por procesos relacionados a la subsidencia y *creep*, los cuales han dañado significativamente la infraestructura de la ciudad (Garduño-Monroy *et al.*, 2001; Ávila-Olivera y Garduño-Monroy, 2008; Farina *et al.*, 2008; Cigna *et al.*, 2012; Figueroa-Miranda *et al.*, 2020; Soria-Caballero *et al.*, 2021).

Desde 1983, en Morelia y en otras Ciudades del norte y centro de México se empezaron a apreciar problemas de hundimientos diferenciales a lo largo de trazas lineales, ocasionando daños importantes en obras civiles (Martínez-Reyes y Nieto Samaniego, 1990; Trujillo-Candelaria, 1985; Garduño-Monroy *et al.*, 1999 y Lermo-Samaniego *et al.* 1996). Dichos hundimientos definen trazas rectas en la superficie con direcciones paralelas a sistemas de fallas regionales. En la Ciudad de Morelia, las zonas dañadas son preferencialmente de dirección NE-SO, pero también se observan fallas con dirección E-O que están generando problemas de inestabilidad de taludes (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998). Suter *et al.* (1995) consideran que estas estructuras forman parte de la zona de falla Chapala-Tula, con movimientos históricos como los ocurridos en las depresiones de Chapala, Cuitzeo y Acambay en 1568 y 1912.

Una falla geológica es una línea de fractura a lo largo de la cual una sección de la corteza terrestre se ha desplazado con respecto a otra (Garduño-Monroy y Arreygue-Rocha, 1999). De acuerdo con su *geometría* y su génesis, las fallas de la

Ciudad de Morelia pueden ser agrupadas en dos: las fallas geológicas que se han reactivado por la actividad humana y las fallas que pueden ser clasificadas como sísmicamente activas, las cuales también podrían estar asociadas a hundimientos o a inestabilidad de taludes (Garduño-Monroy y Arreygue-Rocha, 1999). Entre las primeras, se cuenta la falla de la Central Camionera, la de la colonia Chapultepec y la de Torremolinos; la segunda clase está representada por la falla de La Colina y la de La Paloma.

Por consiguiente, en virtud de su origen geológico, las fallas y fracturas constituyen condicionantes físicas para el desarrollo de la Ciudad de Morelia incluso dentro del área urbana actual. Destacan por su importancia la falla La Paloma en la ladera norte de la loma de Santa María que corre de oriente a poniente desde la salida a Mil cumbres hasta la salida a Pátzcuaro; otra falla importante se localiza desde la Colonia Industrial, bordeando al Centro Histórico, hasta la zona deportiva de la Colonia INDECO. También existe una falla que atraviesa las colonias Chapultepec Sur, Chapultepec Oriente y Nueva Chapultepec. Dentro del área urbana se encuentran otras cuatro fallas que afectan colonias como Tenencia Morelos, Mariano Escobedo, INFONAVIT los Manantiales, Socialista y La Colina, entre otras (PDUCPM, 2010).

Al sur de Morelia, en el escarpe de Santa María, las fallas E-O dan lugar a varios desniveles que son evidentes por formar escalones de ignimbritas (Cantera de Morelia), los cuales están asociados con pequeños deslizamientos del terreno. En el sector suroriental de la Ciudad, se pueden observar anillos de deslizamientos en masa que pueden estar relacionados con sismos y que han provocado la inestabilidad en esos taludes. El Periférico sur de Morelia está afectado por esta problemática.

Se han encontrado fracturas de más de 3 m de ancho por 3 m de profundidad a lo largo del escarpe de Santa María, que pueden seguir por varias decenas de metros. Dichas fracturas son paralelas a la falla E-O (Arreygue *et al.*, 1998 y Arreygue-Rocha, 1999).

De acuerdo con la Serie I (1:250,000) del INEGI (1983), la CHF es atravesada por las fallas La Paloma, Cerritos y Cointzio, así como por tres fracturas (Figura IV—27).

La falla La Paloma atraviesa la porción norte de la CHF, forma parte del Sistema de Fallas Morelia-Acambay, y está formada por la Ignimbrita de Morelia. Entre esta mesa y la depresión de Morelia existe un desnivel de más de 200 m, provocado por una falla de dirección E-O. El escarpe de la falla La Paloma tiene una expresión sobresaliente hacia el oriente, mientras que su altura va disminuyendo hacia el poniente (Astiz- Delgado, 1980; Suter *et al.*, 1992, 1996).

La falla Cerritos pertenece a la porción oeste del Sistema de Fallas Morelia-Acambay, ubicada al suroeste de la ciudad de Morelia. Es una falla normal con una ligera componente lateral izquierda, una longitud de 12 km y un relieve topográfico bien definido de 130 ± 5 m. Muestra un rumbo ENE-OSO (255°) y un echado de 76° hacia el NNO. Se trata de una estructura tectónicamente activa, relativamente joven y con índices geomórficos que indican mayor actividad en su sector oriental. Los estudios realizados sugieren movimiento activo vertical (levantamiento y subsidencia, respectivamente) a lo largo de esta falla (Soria-Caballero *et al.*, 2021).

La falla Cointzio es normal y tiene un rumbo NE-SO hasta E-O. Se alinea a partir de la población de Cointzio y continua al occidente hasta la población Joya de Buenavista, donde sufre una pequeña deflexión al NE-SO. Esta falla presenta un escarpe de más 130 metros y sobre ella se presentan los manantiales de Cointzio y San Antonio Parangare (Ballina-López y Herrera-Franco, 2008).

Debe aclararse que la presencia de fallas no imposibilita el desmonte de la vegetación en el Predio. Asimismo, es importante señalar el desmonte en ningún momento incrementará el riesgo de sismicidad alguna, ni acelerará la actividad de estas condiciones geológicas.

IV.2.3.3 Suelo

IV.2.3.3.1 Marco teórico

El suelo, un sistema trifásico

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, 1941). 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 uno de los principales almacenes de carbono, sólo superado por los mares y océanos.

El suelo es un sistema disperso, donde están presentes las tres fases:

- *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 y no viva (biomasa).
- *Líquida*: Se compone principalmente por el agua que entra y se conserva en el suelo.
- *Gaseosa*: Se compone principalmente de vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), oxígeno y algunos elementos que tienen una fase gaseosa como el nitrógeno.

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. Estas propiedades no se mantienen constantes, y generalmente varían de acuerdo con la profundidad del suelo.

Propiedades físicas del suelo

- **Textura**

Dentro de la parte mineral de la fase sólida del suelo, todas las partículas que tienen un diámetro mayor de 2 mm se consideran gravas y por ello no entran en el análisis granulométrico del suelo. Por ende, la textura del suelo es la proporción relativa de arena, limo y arcilla en él. Las partículas del suelo se pueden clasificar granulométricamente de la siguiente manera:

Tabla IV—14. Clasificación granulométrica del suelo

Fracción granulométrica	USDA	SICS
	Diámetro (mm)	
• 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
• <u>Arena muy fina</u>	<u>0.10-0.05</u>	
• <u>Limo</u>	<u>0.05-0.002</u>	<u>0.02-0.002</u>
• Arcilla	<0.002	<0.002

De acuerdo con la proporción de cada partícula presente en el suelo, se establecen 12 clases texturales propuestas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Dependiendo de qué partículas son las dominantes, el suelo adquiere características específicas en cuanto a fertilidad, retención de humedad, capacidad de infiltración del agua, velocidad de circulación del agua y del aire.

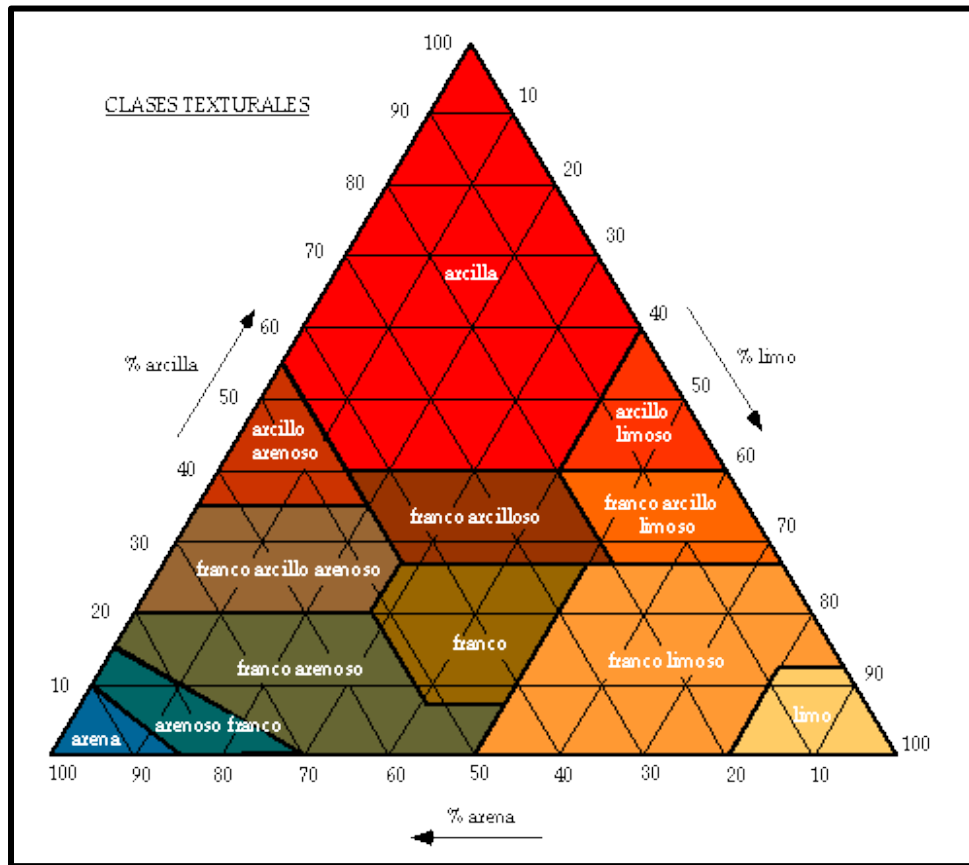


Figura IV—28. Triángulo de las Texturas (USDA, 1969)

- **Estructura**

La estructura es una propiedad edáfica que permite diferenciar el suelo del material geológico. Debido a que la masa del suelo no es continua, se desarrollan espacios o poros que permiten la comunicación a lo largo y ancho del suelo. Estos poros permiten la transferencia de fluidos (aire y agua), que los microorganismos lleven a cabo sus actividades, y que se desarrollen las raíces.

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.

Al igual que la textura, la estructura del suelo controla o influye sobre una serie de propiedades y comportamientos del suelo como:

- a) La infiltración del agua y del aire al interior del perfil
- b) La circulación del agua y del aire dentro del suelo
- c) La resistencia o susceptibilidad a la erosión
- d) El crecimiento de las raíces de las plantas que sobre él se desarrollan

Cuando un suelo no desarrolla agregados se le denomina masivo o disperso. Se reconocen seis tipos principales tipos de agregados del suelo o peds que influyen diferencialmente sobre la infiltración y circulación del agua y del aire (Figura IV—29).

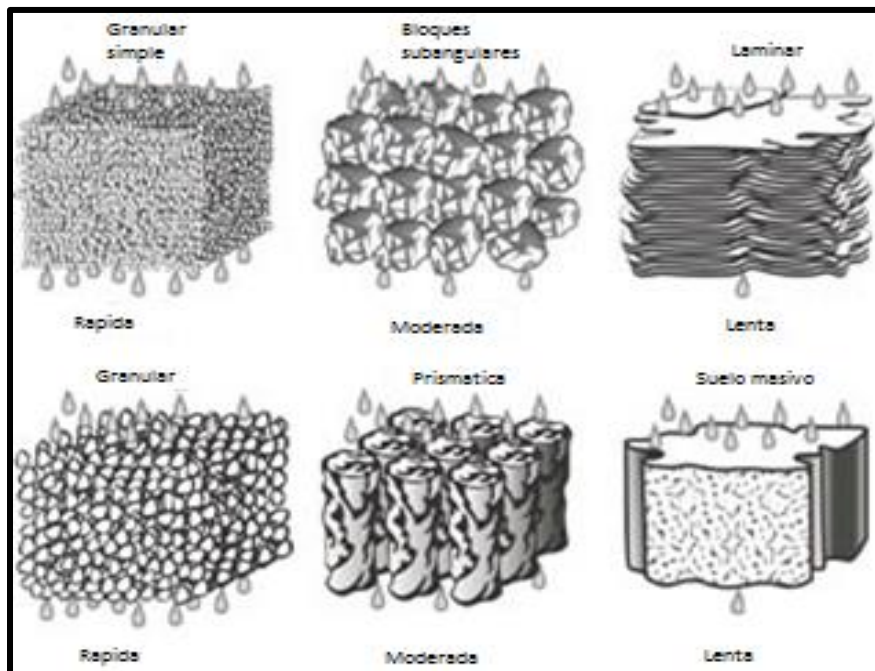


Figura IV—29. Influencia de la estructura del suelo en la infiltración del agua

De igual manera es importante la estabilidad que tengan estos peds, la cual depende de la presencia de sustancias que funcionen como agregantes o que sirvan como pegamento 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. Como se observa en la figura anterior, la estructura de tipo granular facilita la infiltración y circulación del agua y del aire, mientras que la circulación en suelos sin estructura (masivos) o con estructura del tipo laminar 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 poco favorable como la laminar, por lo que es importante conservar los materiales que funcionan como agregantes.

- **Densidad aparente-porosidad**

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 espacio poroso (aunque, en términos prácticos, el aire no tiene peso), de ahí que la densidad del suelo reciba el término de densidad aparente. Si se elimina el volumen ocupado por el espacio poroso, entonces la densidad del suelo se denomina densidad real.

La densidad del suelo está directamente relacionada a la textura y la estructura del suelo e indica, de manera indirecta, el grado de compactación del suelo; valores altos de la densidad aparente indican mayor compactación. Esto permite inferir las dificultades para la emergencia de las plantas, el crecimiento de la raíz y la circulación del agua y del aire.

La densidad aparente del suelo indica también, de manera indirecta, su porosidad. La presencia de poros en el suelo es importante ya que por ahí circula el agua y el aire. Además de la cantidad de poros, es necesario conocer el tamaño y la distribución de éstos, que pueden clasificarse como microporos (retención de agua) y macroporos (circulación de aire). Sin embargo, la densidad aparente no indica el tamaño de los poros ni la conexión entre ellos, siendo esta información 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.

- **Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo constituye un sistema complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrada por diversos grupos de sustancias. Se compone de vegetales, animales y microorganismos vivos, sus restos, y las sustancias resultantes de su degradación físico-química. Normalmente representa del 1 al 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 de la presencia de especies caducifolias o perennes, por ejemplo).

En suelos agrícolas, la materia orgánica suele representar del 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 un mayor contenido en materia orgánica, y el contenido va disminuyendo progresivamente con la profundidad.

La materia orgánica del suelo se caracteriza por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que condicionan a su vez las propiedades del suelo:

- 1) Propiedades físicas:

- a) El humus tiene mayor capacidad de retención de agua que la arcilla, por lo que juega un papel muy importante en la economía del agua en el suelo.
- b) 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.

- c) Favorece la penetración de las raíces en el suelo.
- d) Disminuye la erodabilidad del suelo, ya que los restos orgánicos depositados sobre la superficie del suelo lo protegen de los efectos de la erosión hídrica y eólica. La agregación de las partículas las protege también de la erosión.
- e) Disminuye el riesgo de formación de costra superficial, lo que favorece la infiltración del agua.

- **Infiltración**

El agua de lluvia que llega al suelo puede tener diferentes destinos: escorrentía, evaporación e infiltración.

La Infiltración es el flujo del agua desde la superficie del suelo hacia la zona de raíces y, posteriormente, hacia capas más profundas, mientras dura el aporte de agua. El agua penetra en el suelo por los poros, grietas y orificios entre sus partículas y agregados. Se produce un frente de humedecimiento del terreno que inicialmente avanza con gran velocidad pero que disminuye con el paso del tiempo.

La velocidad de infiltración depende principalmente de la porosidad y permeabilidad del suelo. Esta permeabilidad depende, a su vez, de su textura, su estructura, de la materia orgánica existente y de las prácticas efectuadas.

Hay que distinguir la infiltración instantánea, I_i , que es la cantidad de agua que penetra en una unidad de tiempo, y la infiltración acumulada I_a , que es la suma de infiltraciones instantáneas, medidas en un periodo de tiempo t .

$$I_a = \int I_i dt$$

La infiltración instantánea inicialmente es elevada y progresivamente va disminuyendo a medida que se van llenando los intersticios del suelo con el agua aportada, hasta llegar a un valor asintótico, correspondiente a la conductividad de saturación K_s .

Tabla IV—15. Infiltración instantánea (permeabilidad) en mm/hr según la textura del suelo

Tipo de suelo	I_i (mm/hr)
Arcilloso	4,0
Arcillo - limoso	5,0
Franco – arcilloso	6,5
Franco – limoso	7,5
Limoso	8,0
Franco	9,0
Limo – arenoso	11,0
Areno – limoso	14,0
Franco – arenoso	16,0
Arenoso – franco	18,0
Arenoso	20 o más

El perfil de suelo

El suelo es un cuerpo natural que forma parte fundamental del ecosistema y su estudio debe iniciarse con su observación detallada en campo. Para cualquier estudio, agronómico, ambiental, arquitectónico, ingenieril, u otro, deben seleccionarse y estudiarse 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 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 con la presencia de diferencias en:

- 1) Color
- 2) Textura

- 3) Estructura
- 4) Diferencias en propiedades asociadas, como plasticidad, adhesividad, dureza, etc.

El suelo está delimitado en la parte superior por la superficie del terreno y, de manera lateral, con otro suelo, roca o sedimentos, o, 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), que 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 lo que se denominan horizontes genéticos. Estos horizontes presentan cierta variabilidad en su morfología, pero existen horizontes semejantes, lo que hace posible el desarrollo de sistemas de clasificación de suelos con base en características similares.

Dokuchaev (padre de la edafología) fue el primero que utilizó letras del alfabeto latino para designar los horizontes del suelo, de tal manera que los horizontes mayores o principales se identifican con las siguientes letras mayúsculas del alfabeto latino: O, A, B, E, C, R; recientemente, se decidió utilizar las letras H y W, como se observa en la siguiente figura:

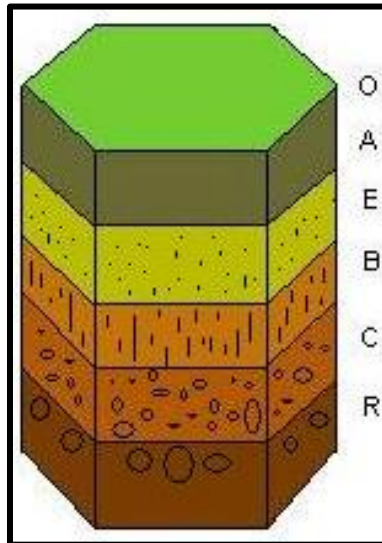


Figura IV—30. Representación esquemática de los distintos horizontes que conforman el perfil del suelo

Horizonte O. Horizonte orgánico de un suelo mineral, se presenta en la parte superior del suelo en condiciones aeróbicas. Contiene 20% o más de carbono orgánico, y se presenta típicamente en suelos de bosque.

Horizonte A. Horizonte mineral con acumulación de materia orgánica formado en la parte superior del suelo o debajo de un horizonte O. También se designa como horizonte A cualquier horizonte en una superficie afectada por laboreo o pastoreo.

Horizonte E. Horizonte mineral eluvial de color claro y texturas gruesas debido a la pérdida de materiales como materia orgánica, óxidos de hierro y aluminio, y a las arcillas. Se encuentra siempre debajo de un horizonte A y encima de un horizonte B.

Horizonte B. Horizonte mineral donde hay acumulación de materiales procedentes del horizonte E, por lo que presenta colores oscuros y texturas más finas que el resto de los horizontes.

Horizonte C. Horizonte mineral; se trata de roca o sedimento que presenta señales de intemperismo. Puede consistir en material consolidado o no consolidado (cenizas volcánicas, sedimentos aluviales, etc.).

Horizonte R. Roca consolidada subyacente demasiado dura para romperse con las manos, por lo que se requiere de herramientas para poder fragmentarla.

Horizonte W. En zonas donde hay problemas de drenaje o inundación, el límite inferior del suelo está determinado por la presencia de agua.

Horizonte H. Horizonte orgánico formado por la acumulación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Se presenta en zonas con problemas de inundación constante o congelamiento de la parte superficial del suelo.

Cabe mencionar que ningún suelo reúne todos los horizontes descritos anteriormente. No obstante, con base en los horizontes que sí están presentes en cada suelo y en las características secundarias observadas en el perfil, se llevan a cabo las clasificaciones de los suelos. En México, de manera oficial, se utiliza el sistema de clasificación de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Este sistema es conocido como Leyenda de suelos de la FAO de 1974, se compone de 28 Unidades y 108 Subunidades, y ha sido actualizado con base en el conocimiento más completo y reciente del que se dispone respecto al funcionamiento y características del suelo.

De manera paralela, se suele ocupar el sistema de clasificación americano conocido como Soil Taxonomy. Este sistema consiste en 6 niveles jerárquicos: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie. La Soil Taxonomy se compone de 12 Órdenes de Suelo.

IV.2.3.3.2 Tipos de suelo en la CHF

Según la capa Edafología Serie II 250 del INEGI (1:250,000), los tipos de suelo que se presentan en la CHF son el Luvisol y Leptosol (la Zona Urbana no se considera un tipo de suelo). La superficie ocupada por cada tipo de suelo y su proporción correspondiente dentro de la CHF se presenta en la siguiente tabla.

Tabla IV—16. Superficie de los tipos de suelo en la CHF

Tipo de suelo	Clave - WRB	Superficie (ha)	Proporción dentro de la CHF (%)
Zona urbana	N/A, ZU	250.086512	3.58
Leptosol	LPhuu/2	15.755672	0.23
Luvisol	LVdylen+CMdy/3	1532.44758	96.19
	LVcr+PHlen+CMlen/3	4777.372453	
	LVcr+ANdyvi+ANumlen/3	403.408246	
		6979.07	100

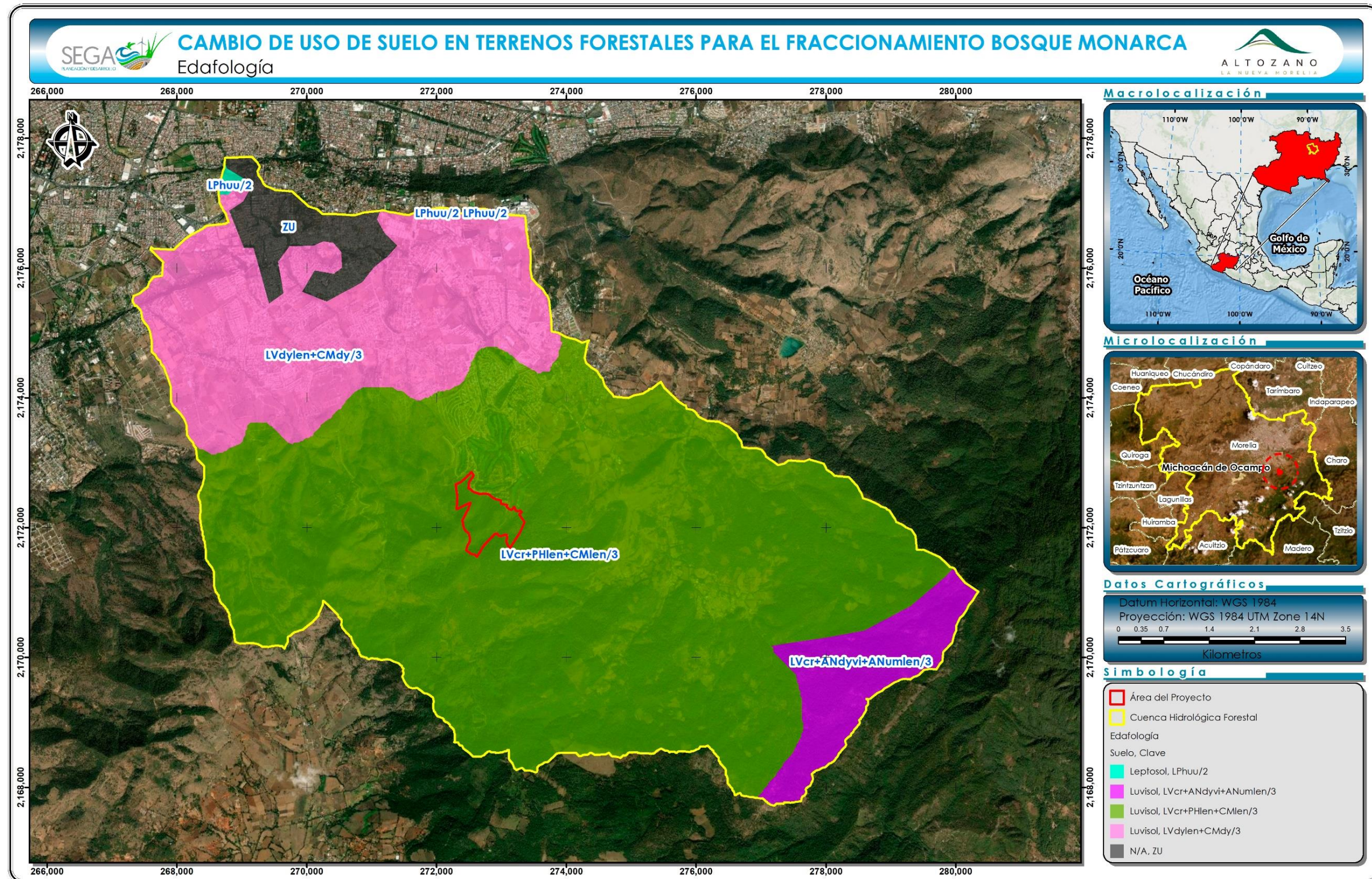


Figura IV—31. Tipos de suelo en la CHF

- **Descripción de los tipos de suelo presentes en la CHF**

- **Luvisol:** Es el tipo de suelo mejor representado en el área, se caracteriza por su color rojizo o amarillento y es altamente erodable por lo fino de su textura. Se forma a partir de una gran variedad de materiales no consolidados, tales como las terrazas aluviales o los depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales. Es muy común en climas templados y fríos o cálidos húmedos con marcada estacionalidad de lluvia y sequía, y se encuentra dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado, sobre todo para la producción de granos pequeños, forrajes y caña de azúcar (SEMARNAT, s.f.).

El luvisol se distribuye prácticamente a lo largo de toda la CHF y se desarrolla principalmente sobre ignimbritas. En la microcuenca delimitada para la CHF, este tipo de suelo soporta una vegetación heterogénea que comprende bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, bosque cultivado, pastizal inducido, pastizal cultivado, agricultura de temporal anual y agricultura de riego anual.

- **Leptosol:** Estos suelos son extremadamente jóvenes y se caracterizan por su espesor reducido (profundidad menor a 25 cm). Usualmente, se presentan en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevadas pendientes. Se encuentran en todas las zonas climáticas y, particularmente, en áreas fuertemente erosionadas. En general, se considera que tienen un bajo potencial para la agricultura debido a que su escasa profundidad los vuelve muy áridos y el calcio que contienen puede llegar a inmovilizar los nutrientes minerales (Ibáñez, 2010; Universidad de Extremadura, s.f.). Este tipo de suelo se encuentra en un área muy reducida al noroeste de la CHF, colindando con la zona urbana y con los luvisoles.

IV.2.3.3 Erosión hídrica en la CHF

La pérdida de suelo por erosión hídrica deriva en un grave problema medioambiental a nivel global ya que contribuye intensamente a la pérdida de productividad y biodiversidad de los suelos en todo el planeta. Los territorios mexicanos, debido al relieve, climatología y tipos y manejo de suelos se ven, en su mayoría, afectados por este proceso. En el presente apartado se analizan mediante la implementación de la ecuación universal de pérdidas de suelo revisada (RUSLE) en un SIG los niveles de erosión potencial en la CHF donde se desarrollará el Proyecto. Para este ejercicio se tomó como base el trabajo realizado por Martínez (2005), Montes-León *et al.* (2011), así como el publicado por Bolaños *et al.* (2016).

No existe información específica sobre el grado de erosión a nivel de la CHF; 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 este DTU-A un modelo con base en la ecuación RUSLE y representadas gráficamente en un SIG.

De acuerdo con Mannaerts (1999), el RUSLE puede ser usado apropiadamente para:

- Predecir pérdida de suelo promedio a largo plazo de condiciones de campo específicas, usando un sistema específico de manejo.
- Para predecir erosión entre surcos y en surcos, en pastos, cultivos y sitios en construcción.
- La pérdida de suelo calculada por el modelo es la cantidad de sedimento perdido por el perfil, no la cantidad de sedimento que deja la cuenca o el terreno.
- 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 área de deposición, como en las pendientes cóncavas y cerca de los límites del terreno.

- Para estimar las tasas de erosión que son removidas del suelo, de partes críticas del paisaje y que guían a la elección de las prácticas de control de la erosión hasta un nivel de pérdida de suelo tolerable.

La ecuación universal de pérdida de suelo revisada tiene la siguiente expresión matemática (Mannaerts 1999):

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

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 (cobertura vegetal), adimensional

El método para determinar la pérdida de suelo requirió de la preparación de cuatro mapas intermedios (uno por cada factor) que se mencionan a continuación, mismos que fueron multiplicados mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS), para obtener un mapa final de las áreas potenciales con riesgo de erosión hídrica.

- **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.

Para el mapa de erosión hídrica se utilizaron cuatro rangos para clasificar el grado de pérdida de suelo, los cuales van desde una pérdida de suelo nula, de menos de 10 t ha⁻¹ a⁻¹, a alta, de más de 200 t ha⁻¹ a⁻¹ (Tabla IV—17).

Tabla IV—17. Clasificación de los rangos de erosión hídrica, aplicando la ecuación RUSLE, para la interpretación de los mapas

Clasificación	Rango de pérdida de suelo (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
Nulo	El rango equivale a una pérdida de suelo de menos de 10.
Bajo	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 10.1 y 50.
Medio	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 50.1 y 200.
Alto	El rango equivale a una pérdida de suelo mayor de 200.

A través de la aplicación de la metodología descrita anteriormente, se elaboraron los mapas para la estimación de cada uno de los factores de la ecuación RUSLE (Figura IV—32). Finalmente, mediante una multiplicación de los cuatro mapas resultantes y a través de un SIG, se obtuvo una representación gráfica que expresa la erosión hídrica potencial en la CHF, la cual se muestra en la Figura IV—33.

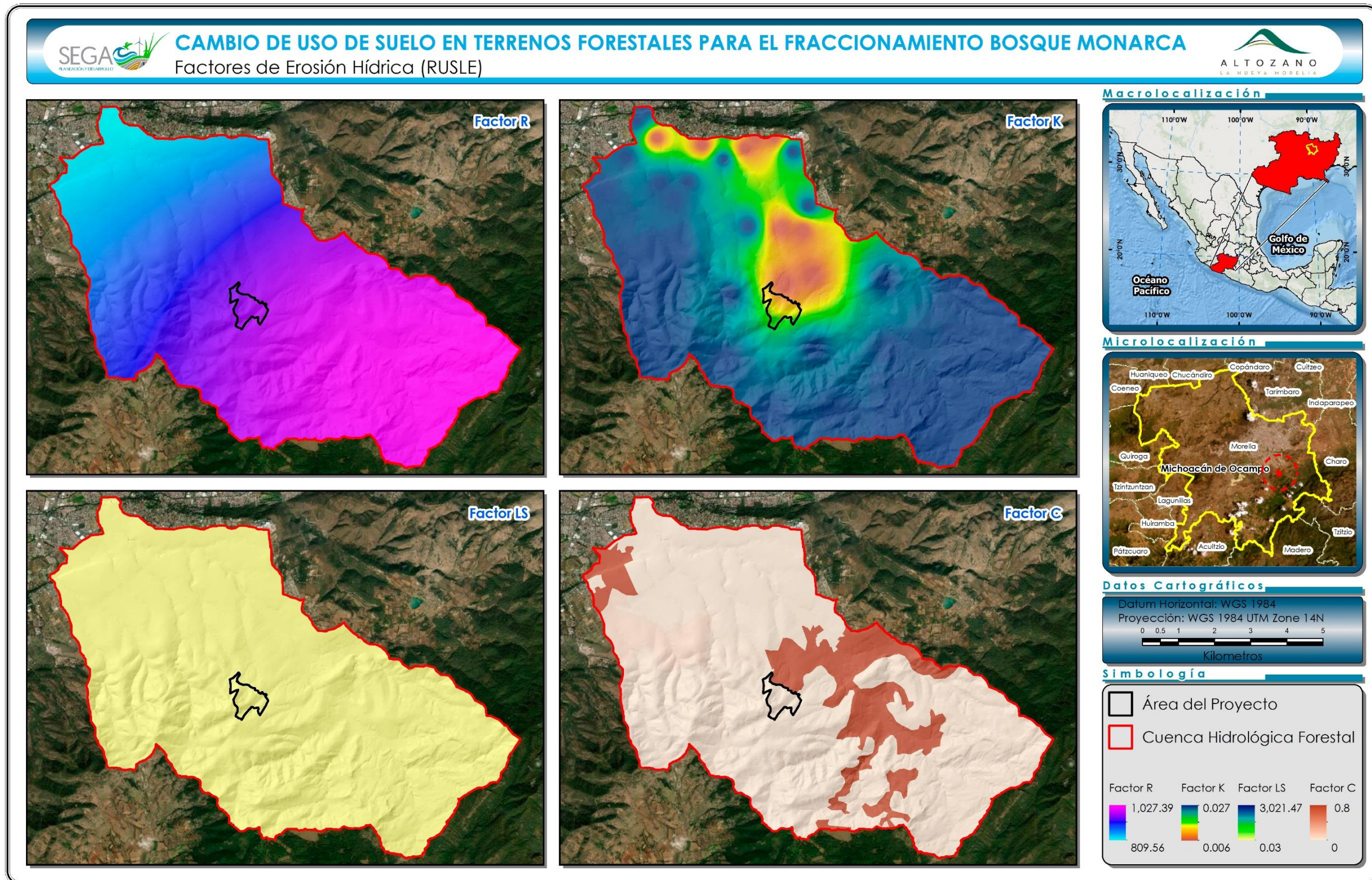


Figura IV—32. Mapas para los factores generados con la herramienta “Análisis de Erosión Hídrica” para estimar la erosión potencial en la CHF del proyecto

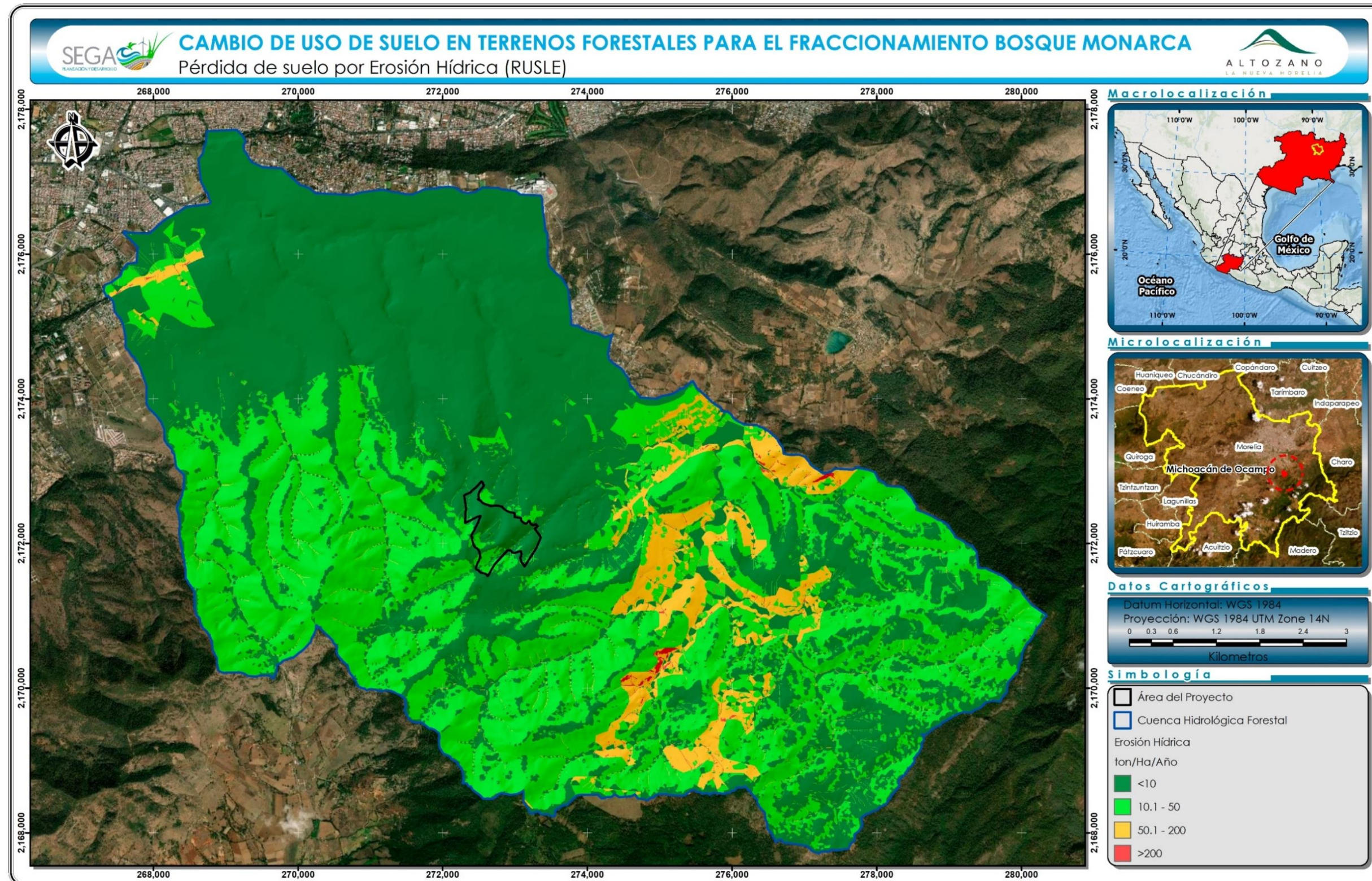


Figura IV—33. Mapa de la pérdida de suelo hídrica potencial en la CHF y área del proyecto

De los resultados obtenidos a nivel de la CHF, la erosión hídrica potencial “nula” (< 10 t ha⁻¹ a⁻¹) es la que predominó, representando el 51.47% de la superficie total (Tabla IV—18). A ésta le siguen la categoría “baja” (entre 10.1 - 50 t ha⁻¹ a⁻¹) con 42.37% y la categoría “media” (50.1-200 t ha⁻¹ a⁻¹) con 5.87%. Es de resaltar que sólo 19.75 hectáreas (0.28%) de las 6,979.07 ha de la CHF presentan un potencial de pérdida de suelo “alta” por arriba de las 200 t ha⁻¹ a⁻¹.

Tabla IV—18. Erosión hídrica potencial estimada para la CHF

Rango	Clasificación	CHF	
Nivel Erosión, t/ha/año		Superficie (Ha)	Proporción (%)
< 10	Nulo	3,592.28	51.47
10.1 - 50	Baja	2,957.14	42.37
50.1 - 200	Media	409.91	5.87
> 200	Alto	19.75	0.28
Total		6,979.07	100.00

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 de la CHF delimitada se encuentra en rangos menores a 50 t ha⁻¹ a⁻¹ (categorías de “nula” a “baja”).

IV.2.3.4 Agua

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

Los recursos hidrológicos superficiales en el Estado de Michoacán son abundantes y son los que más se aprovechan, ya que los subterráneos aún se encuentran en una etapa de explotación. Sin embargo, en algunas sierras afloran los acuíferos subterráneos en forma de manantiales; éstos se integran a escurrimientos superficiales que son canalizados hacia las zonas de riego o de uso doméstico.

IV.2.3.4.1 Regiones hidrográficas

Son áreas territoriales conformadas en función de sus características orográficas e hidrográficas, con el fin de agrupar la información hidrográfica y de calidad de agua. Constituyen agrupaciones de varias cuencas hidrográficas con niveles de escurrimiento superficial muy similares. En la hidrografía del Estado de Michoacán se encuentran áreas que forman parte de seis regiones hidrológicas.

Para el caso específico del proyecto, la CHF se encuentra dentro de la **Región "Lerma-Chapala-Santiago"**. Esta región cubre una superficie aproximada de 14,818.25 km². La parte correspondiente al estado de Michoacán constituye una región alta que se caracteriza por tener zonas planas y amplias, que basculan ligeramente hacia el noroeste. Estos valles se encuentran separados por elevaciones que corresponden a estructuras volcánicas, cuyas altitudes varían entre los 1,600 y 2,000 m.

Existen amplias llanuras de inundación alrededor de los principales cuerpos de agua como Cuitzeo, Chapala y Pátzcuaro, entre otros, que confirman la reducción del nivel de las aguas; esta situación se observa en todos los cuerpos de agua del país con una tendencia a desaparecer (Álvarez-Solórzano y López-Vidal, 1998).

IV.2.3.4.2 Subregiones hidrográficas

Una subregión hidrográfica es el área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río. Son reconocidas como la unidad territorial más adecuada para la gestión de los recursos hídricos dado que cuentan con una serie de atributos que las hacen una unidad básica a considerar en la gestión del desarrollo. La cuenca hidrográfica es una excelente unidad espacial para la planeación, por su permanencia en el tiempo y por la integralidad que le confiere a ese espacio geográfico.

La Región "Lerma-Chapala-Santiago" se divide en varias cuencas hidrográficas, como son:

- Río Lerma-Toluca
- Río Lerma-Salamanca
- Río Lerma-Chapala
- Lago de Chapala
- **Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Laguna de Yuriria**

En esta última cuenca se ubica la CHF, y comprende una superficie de 4,269.59 km² en el estado de Michoacán (Figura IV—34). El Lago de Pátzcuaro, el de Cuitzeo y La Laguna de Yuriria ligan su origen al sistema volcánico que fue afectado por fallas. Durante largos periodos de erosión, las amplias depresiones han sido azolvadas, reflejándose principalmente en el Lago de Cuitzeo.

Respecto a las subcuencas hidrográficas, la CHF está comprendida dentro de la **subcuenca Lago de Cuitzeo** (Figura IV—35), que es una subcuenca cerrada y ocupa un área de 3.847.61 km².

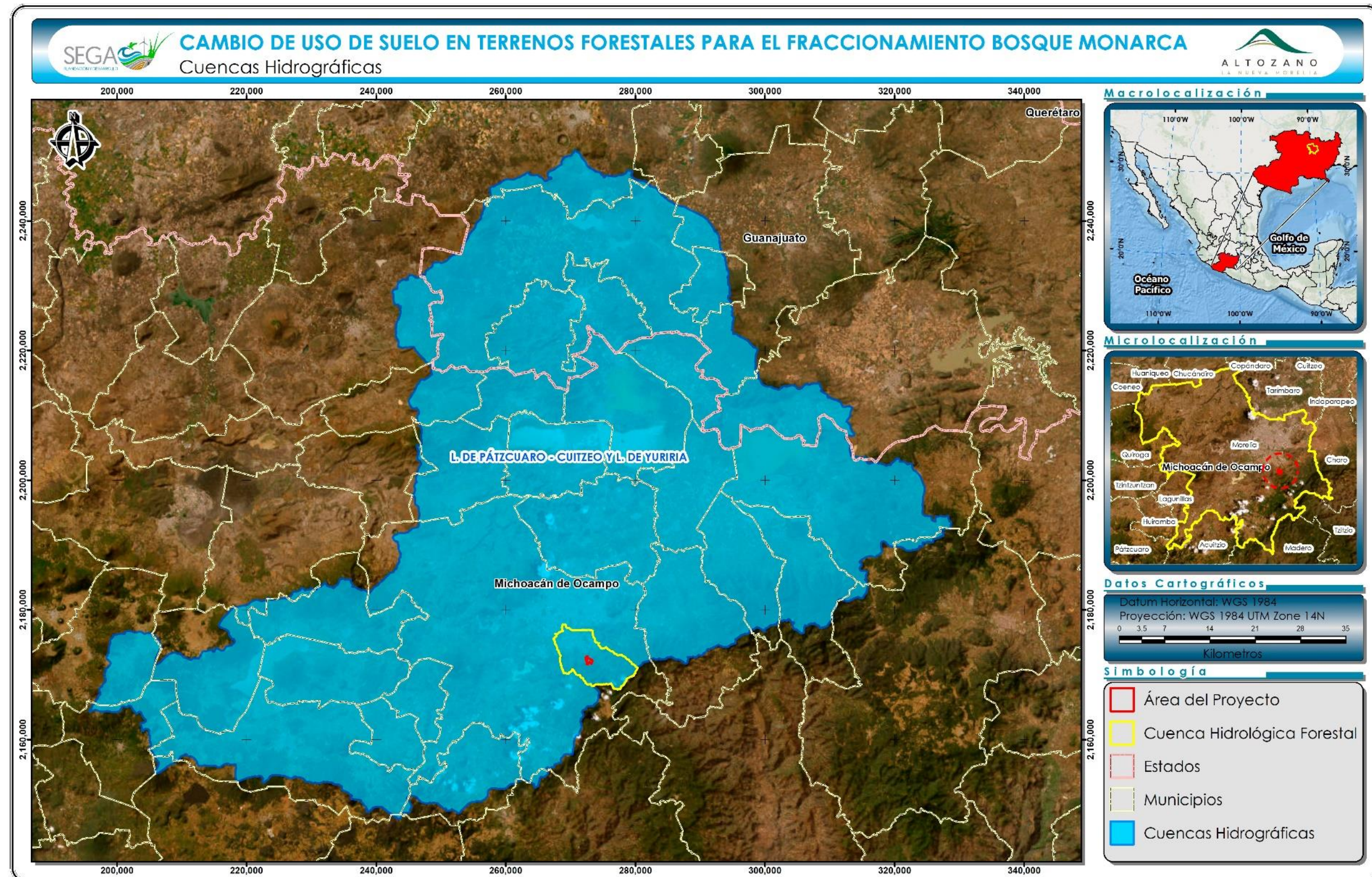


Figura IV—34. Cuenas hidrográficas en las que se encuentra la CHF

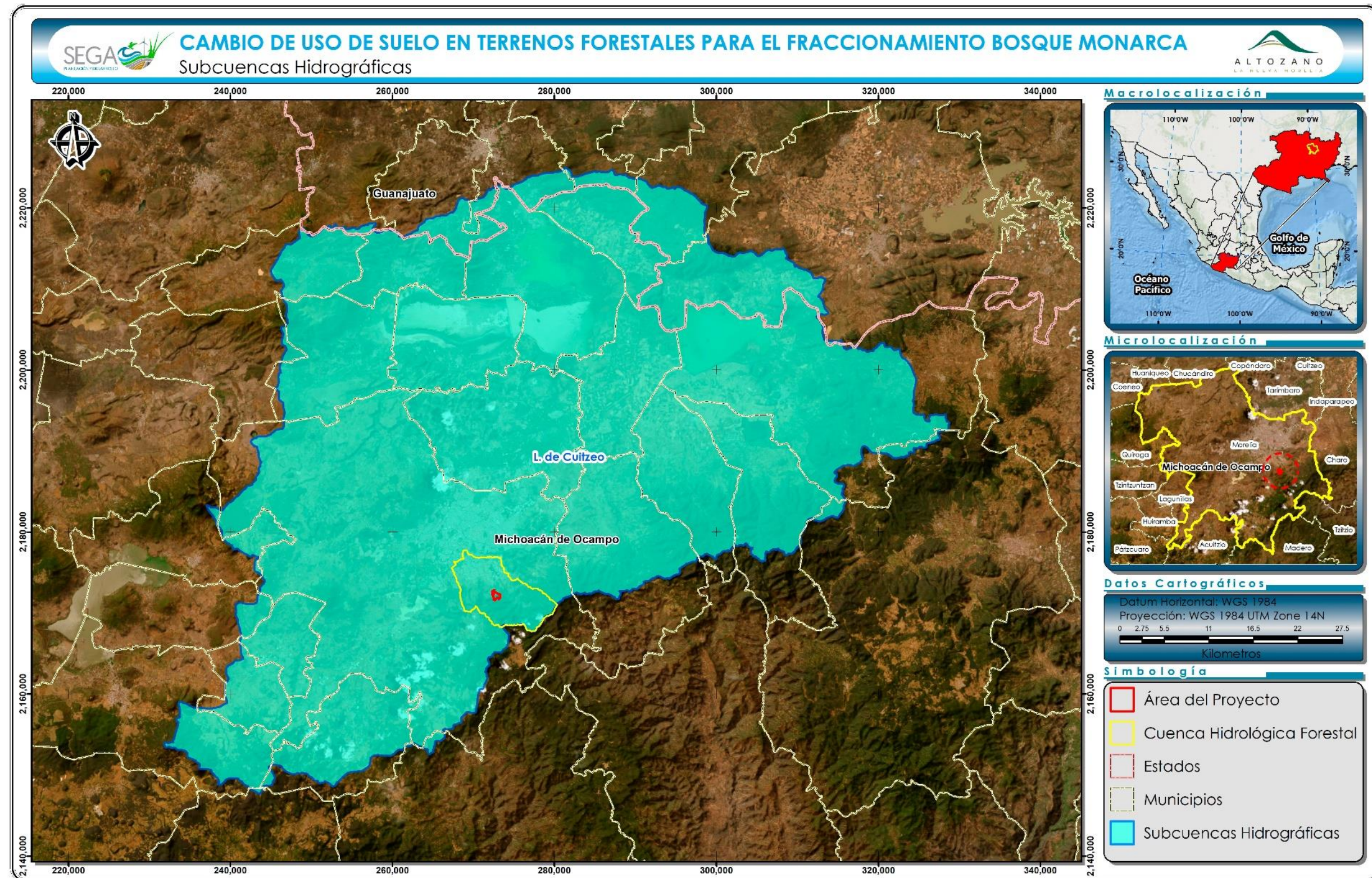


Figura IV—35. Subcuencas hidrográficas en las que se encuentra la CHF

En la superficie de la CHF se distribuyen seis **microcuencas** (Figura IV—36): **Morelia, Morelos, Río Chiquito, El Palmar, Atécuaro y Tumbisca**. La superficie de la CHF comprendida dentro de cada microcuenca se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV—19. Microcuencas de la CHF

Microcuenca	Superficie (ha)	Superficie (%)
Morelia	2172.160085	31.12
Morelos	1302.850609	18.67
Río Chiquito	3486.100720	49.95
El Palmar	1.697368	0.02
Atécuaro	2.969816	0.04
Tumbisca	13.291870	0.19

Entre estas microcuencas destaca la del Río Chiquito, que se encuentra en su totalidad dentro de Morelia, y cuyo río principal contribuye al abastecimiento de agua superficial para la ciudad (INIRENA y UMSNH, 2006). Actualmente, el 30% de la población moreliana habita en esta microcuenca, por lo que se llevan a cabo múltiples actividades económicas dentro de ella (forestales y agropecuarias en la parte alta, y comerciales en la parte baja). En términos ecológicos, la microcuenca del Río Chiquito es de gran importancia puesto que comprende cinco de las ocho áreas naturales protegidas del municipio, por lo que cuenta con una gran riqueza biológica y, sobre todo, de endemismos (IMPLAN, s.f). Este ecosistema presenta diversos impactos antropogénicos, incluyendo cambios en su estructura física y una disminución de la calidad del agua y de la condición de las riberas y de los sustratos del cauce como producto de descargas rurales y urbanas (Piñón-Flores *et al.*, 2014).

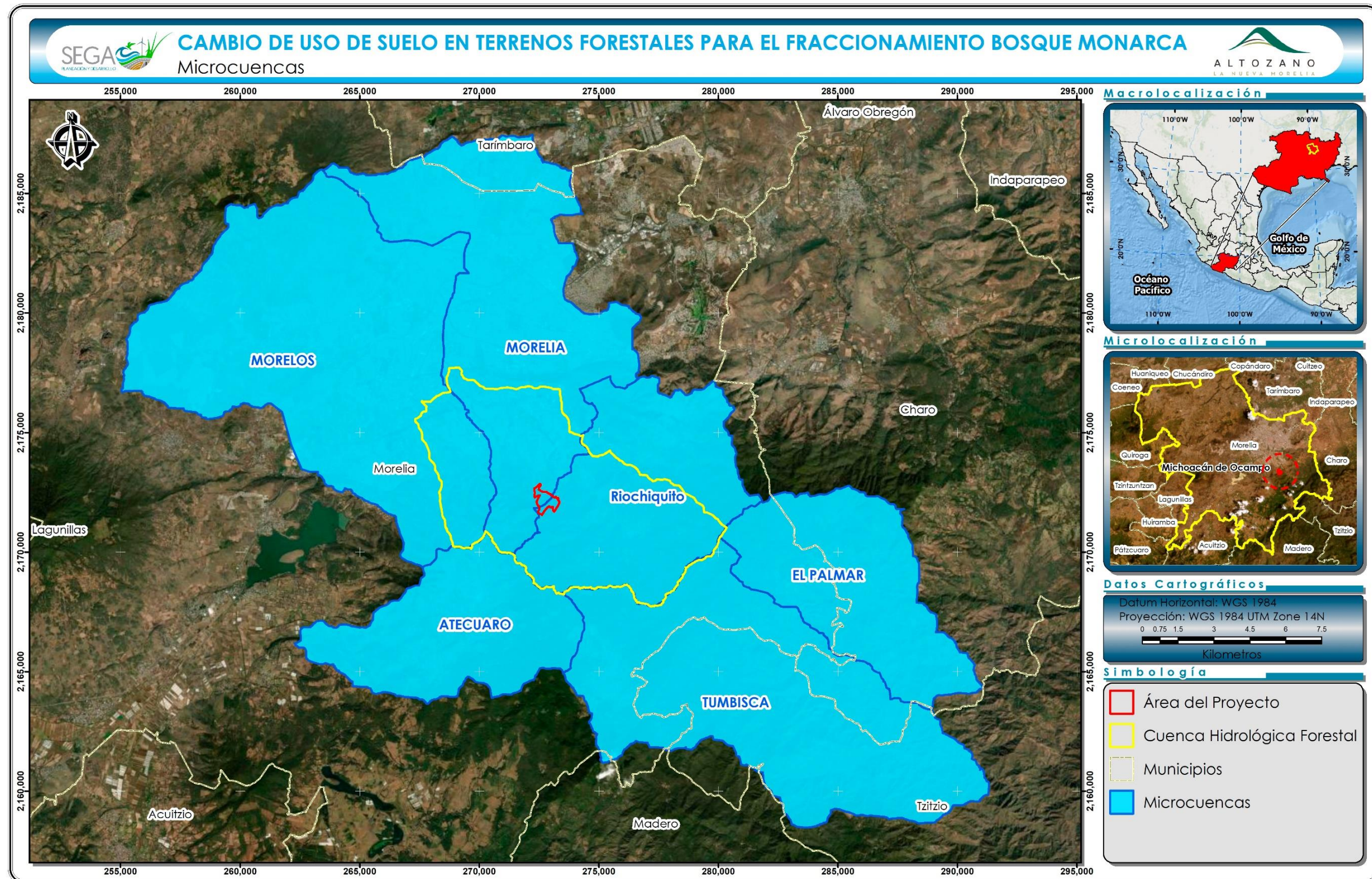


Figura IV—36. Microcuencas hidrográficas en las que se encuentra la CHF

IV.2.3.4.3 Hidrología superficial

En la cuenca cerrada de Lago de Cuitzeo, donde está comprendida la CHF, se encuentra El Río Grande de Morelia, que escurre en dirección noreste, y el Río Queréndaro; ambos descargan sus aguas directamente al Lago de Cuitzeo.

El Río Grande nace en la parte sureste de Acuitzio y tiene un trayecto de 26.0 km con rumbo norte 21° hasta Morelia. Su principal afluente es el Río Chiquito, que confluye con el Río Grande en la parte oeste de la Ciudad de Morelia. El Río Grande atraviesa la Ciudad de Morelia y desemboca en el lago de Cuitzeo. Los principales escurrimientos que alimentan al Río Grande son el Arroyo de Lagunillas, y los arroyos de Tirio y de la Barranca de San Pedro (Oseguera-Toledo, 2015).

El Arroyo Los Pirules es otra corriente superficial de importancia y se localiza al oriente de la Ciudad de Morelia. Éste nace en una pequeña cordillera formada por los cerros Coronilla Grande y el Guajolote, así como en el puerto de Venado. El Arroyo continúa al norte por la carretera Morelia-Mil Cumbres, pasando por el poblado Los Pirules hasta la compuerta, cruzando la carretera Morelia-Charo, y desembocando en el Río Grande a la altura de Atapaneo. Este arroyo tiene un área de cuenca de 13.3 km² y una longitud de 7.8 km, con un desnivel de 380 m y una pendiente de 4.8% con un flujo promedio de 7.96 m³/s. A lo largo de su trayectoria recibe afluentes que nacen entre los cerros de Punhuato y Prieto, así como de la Loma de Gallina y el Cerro Colorado (Oseguera-Toledo, 2015).

El Arroyo Blanco nace en el cerro del Punhuato y descarga su agua al arroyo los Pirules antes de cruzar la carretera Morelia-Charo. Su cuenca forma el Cerro Prieto y el Cerro Blanco; el área de la cuenca es de 2.8 km², con una longitud de 4 km, un desnivel de 380 m, y un flujo promedio de 5.15 m³/s (Oseguera-Toledo, 2015).

Los arroyos comprendidos dentro de la CHF son: La Higuera, Loma Larga, El Guayabito, La Joya, La Tinaja y Río Chiquito (Figura IV—37).

Los embalses o cuerpos de agua cercanos a la CHF son la Presa de Loma Caliente, ubicada a 22.0 km al suroeste de Morelia, la Presa de Cointzio (la más importante del municipio), ubicada a 11.0 km al suroeste de la Ciudad, la Presa la Mintzita, ubicada a 8.0 km al suroeste de la Ciudad, y el Lago de Cuitzeo, ubicado a 39.0 km al norte de la Ciudad (Oseguera-Toledo, 2015).

Adicionalmente, en el municipio de Morelia afloran más de 70 manantiales, siendo el de la Mintzita el más grande. También son importantes los manantiales de aguas termales que son aprovechados como balnearios, figurando Cointzio, El Ejido, El Edén y Las Garzas (Oseguera-Toledo, 2015).

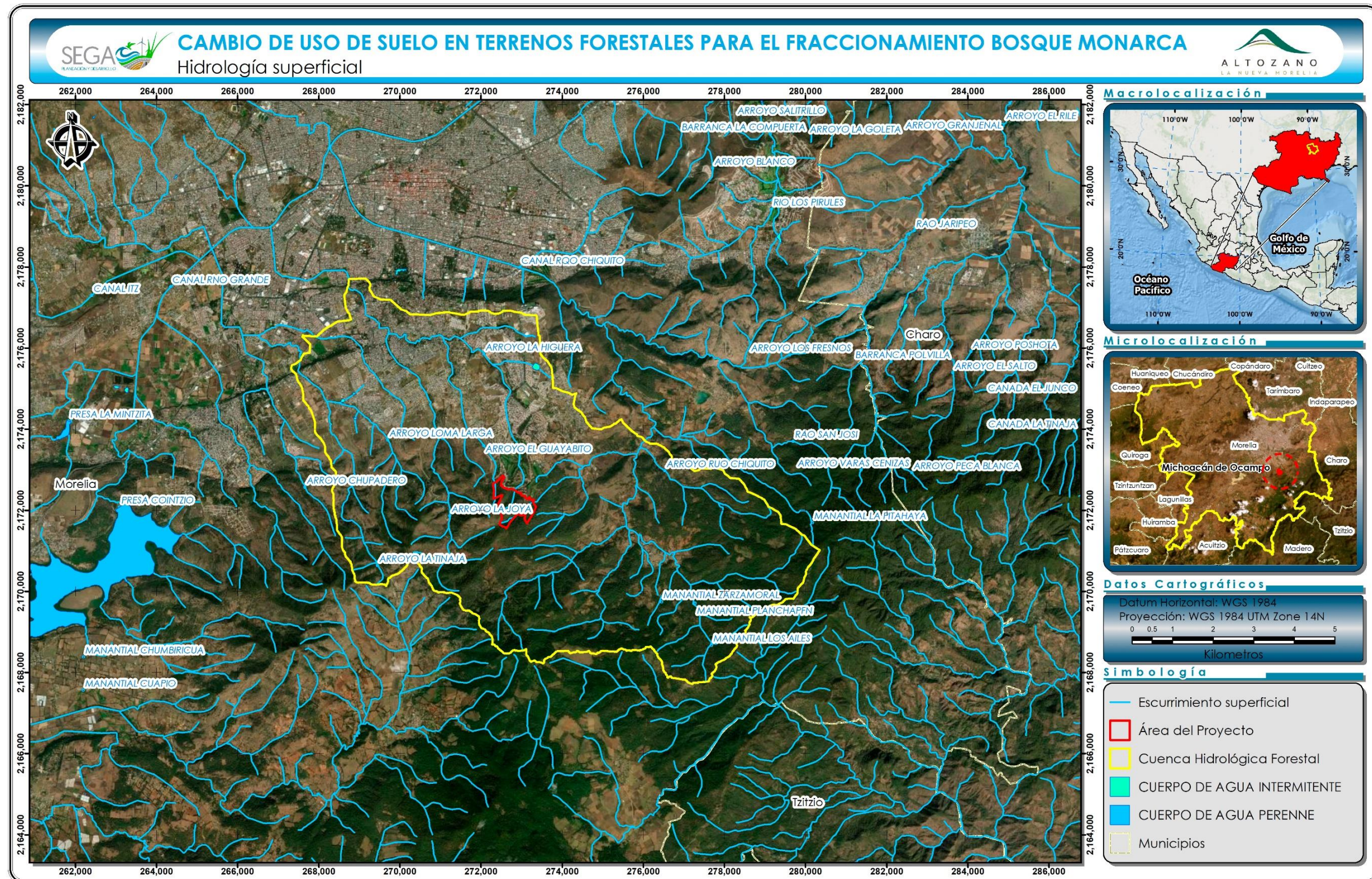


Figura IV—37. Hidrología superficial de la CHF

IV.2.3.4.4 Hidrología subterránea

De acuerdo con el Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (2004) y con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia (2010), las principales fuentes subterráneas que contribuyen al suministro de agua a la Ciudad de Morelia son 87 pozos profundos y tres manantiales: La Higuera, El Salto, San Miguel. Junto con otras dos fuentes superficiales —La Mintzita y la presa de Cointzio—, son responsables de la producción total de 3,146 l/s (Tabla IV—20).

Tabla IV—20. Fuentes de abastecimiento de agua para la Ciudad de Morelia

Fuente de abastecimiento	Gasto Medio Extraído l.p.s.	Volumen hm ³ /año	% de la producción total
Subterránea			
Pozos profundos	1,080.68	34.08	34.34
Manantial San Miguel	131.23	4.14	4.17
Manantial El Salto	17.77	0.56	0.56
Manantial La Higuera	41.04	1.29	1.30
Suma subterránea	1,270.72	40.07	40.38
Superficial			
La Mintzita	1,041.11	32.83	33.09
Cointzio	834.87	26.33	26.53
Suma superficial	1,875.98	59.16	59.62
Total	3,146.70	99.23	100.00

La CHF se encuentra sobre dos acuíferos: Morelia-Queréndaro (que cubre la mayor parte de la CHF) y Huetamo (Figura IV—38). El acuífero Morelia-Queréndaro se ubica en el noreste de Michoacán, entre los paralelos 19° 26' y 20° 08' de latitud norte y los meridianos 100° 38' y 101° 29' de longitud oeste, y abarca una superficie aproximada de 3,510 km². Es heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia

de sedimentos arcillosos en la porción aledaña al lago de Cuitzeo. De acuerdo con los resultados reportados en el censo realizado en el año 2007, se registraron 986 pozos y 23 manantiales en este acuífero, cuyo uso principal es agrícola (53.69%), seguido de público urbano (40.21%) y, en menor medida, los demás usos (6.1%) (CONAGUA, 2020). Tiene un déficit de disponibilidad de agua subterránea de 10.2 hm³, un volumen de extracción de 169.0 hm³ y un volumen de recarga media de 286.6 hm³ (CONAGUA, 2022).

El acuífero de Huetamo es de tipo libre heterogéneo, comprende una superficie aproximada de 5,912 km², y se localiza en el este del estado de Michoacán, en el límite con el Estado de México (CONAGUA, 2020). Tiene una disponibilidad de agua subterránea de 2.7 hm³; su volumen de extracción es de 19.7 hm³ y su recarga media es de 219.8 hm³ (CONAGUA, 2022).

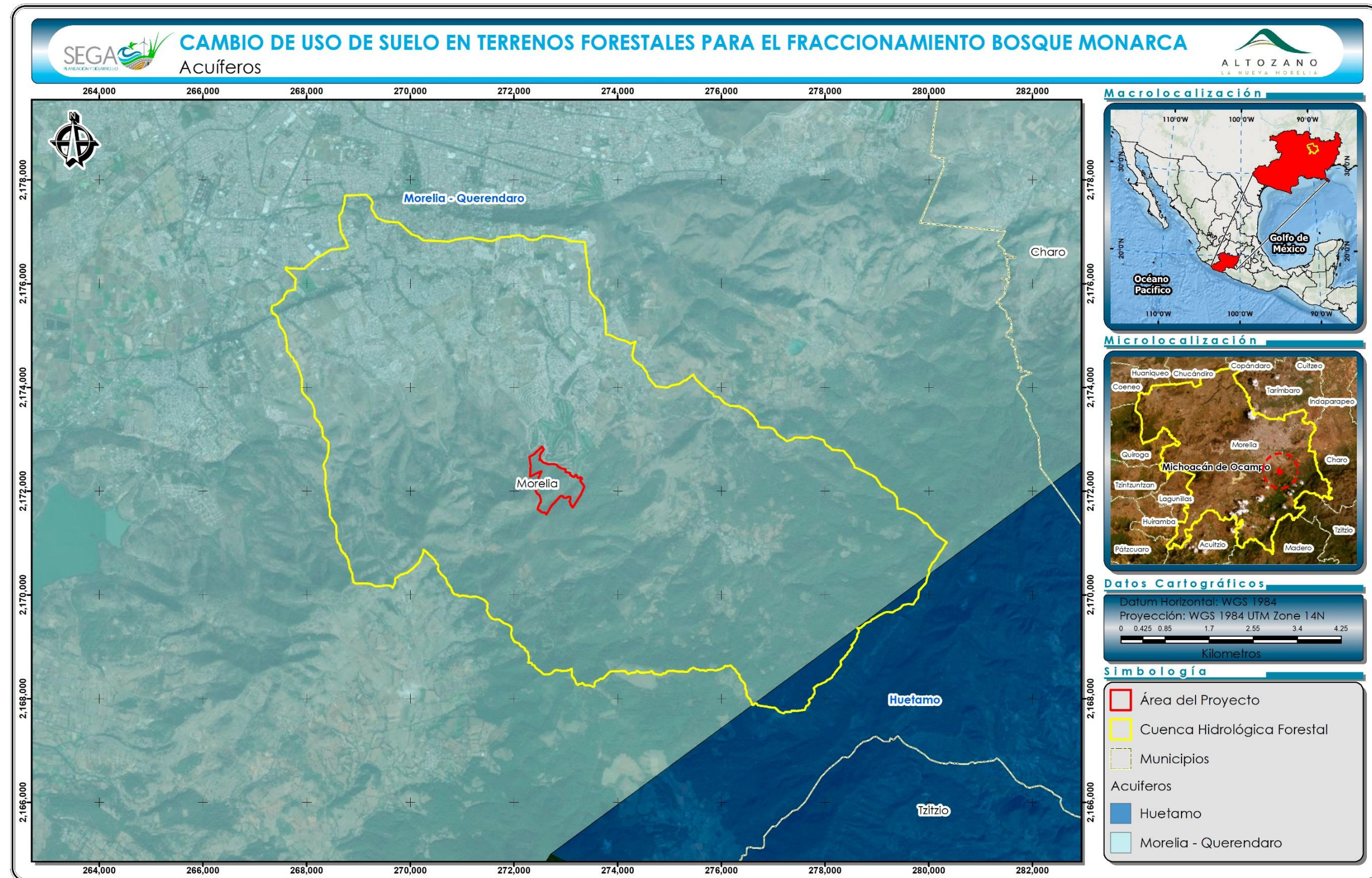


Figura IV—38. Acuíferos de la CHF

IV.2.3.4.5 Disponibilidad actual del agua

De acuerdo con la CONAGUA (2022), la cuenca hidrológica Lago de Cuitzeo presenta un déficit de disponibilidad media anual de 31.529 hm³. Su volumen medio anual de escurrimiento natural es de 488.540 hm³ y su volumen de extracción de agua superficial es de 177.715 hm³.

En toda el área de las 24 cuencas hidrológicas que pertenecen parcial o completamente a Michoacán, se genera un escurrimiento virgen de 17,250.1 hm³/año; de este volumen, 9,874.4 hm³/año corresponden a la parte de Michoacán (57.2%). Este escurrimiento se concentra en gran medida en los meses de junio a noviembre (82.7%). La cuenca Lago de Cuitzeo tiene un escurrimiento total de 452.6 hm³/año, del cual 416.3 hm³/año corresponden al estado de Michoacán.

La disponibilidad de agua, de acuerdo con la Región Hidrológica a la que pertenece el Estado de Michoacán, es de 1,900 m³/habitante/año (CONAGUA, 2000). Según esta Comisión, la tendencia nacional en la disponibilidad del recurso ha y seguirá variando drásticamente con el tiempo. La siguiente tabla muestra la disponibilidad del agua con el paso del tiempo.

Tabla IV—21. Disponibilidad histórica y proyectada de recursos hídricos en Michoacán

Año	m ³ /hab/año	Disponibilidad
1955	11,500	Alta
1999	4,900	Media
2025	3,500	Baja

De acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México del INEGI, el estado de Michoacán contaba con 690 tomas de agua para el abastecimiento público en 2014. En 2013, el volumen del agua suministrada para Michoacán fue de 150,059,000 m³. De este volumen,

122,457,000 m³ correspondieron a tomas domésticas, 20,655,000 m³ a comerciales, 4,562,000 m³ a industriales, 1,652,000 m³ a servicios públicos y 733,000 m³ a pipas.

El municipio de Morelia, en particular, presenta escasez generalizada de agua y sus ríos sostienen una creciente contaminación causada principalmente por los desechos sólidos y las aguas residuales. En cuanto a las aguas subterráneas que se explotan, se puede mencionar que una parte de la población cuenta con obras de abastecimiento para consumo humano del tipo pozo profundo, pero sin tener un control efectivo y eficiente de los volúmenes obtenidos, ni tampoco de las zonas de recarga de los acuíferos que se explotan.

Aunado a esto, de acuerdo con el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOAPAS), de los 1,900 km de tuberías en el municipio, poco más de 1000 km ya no son completamente funcionales, lo que genera fuga de agua se pierde en el subsuelo. Asimismo, existen cerca de 10 mil tomas clandestinas en la ciudad de Morelia (OOAPAS, 2022).

Cabe mencionar que **el Proyecto de “Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca” trata específicamente del desmonte de la vegetación forestal para poder llevar a cabo la urbanización de un fraccionamiento residencial, pero no así de la construcción de la infraestructura urbana, ni mucho menos de la construcción u operación de las viviendas. Por consiguiente, el presente proyecto que se somete al procedimiento de evaluación no implicará más consumo de agua que la requerida por el personal encargado de ejecutar las actividades de CUSTF.** Sin embargo, dado que los bosques son necesarios para la captación e infiltración del agua, se ha propuesto como una medida para no comprometer la disponibilidad de agua de los habitantes de Morelia, la reforestación de una superficie de 17.34 ha. El Programa de reforestación forma parte del Plan de Manejo Ambiental incluido en el Anexo III del presente DTU-A.

IV.2.3.4.6 Calidad del agua

El agua es una de las fuentes más importantes para el desarrollo de las zonas urbanas, agrícolas e industriales, y los cambios en su calidad y cantidad son resultado de las actividades productivas del hombre. En el caso específico de Morelia, el crecimiento demográfico del municipio de Morelia y la intensificación de las actividades productivas han ocasionado que los sistemas para el abasto de agua potable sean cada vez más escasos y la calidad de ésta sea cada vez menor.

Por siglos, el ser humano ha dispuesto de sus desechos desalojando las aguas contaminadas en cuerpos de agua, cuyo destino final generalmente son los ríos y lagos, provocando un desequilibrio importante en los ecosistemas.

Con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento se han establecido normas para regular la calidad de agua residual que descargan los cuerpos de agua. Estas Normas Oficiales Mexicanas son la NOM-001-SEMARNAT-2021, la NOM-002-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes.

Con base en esta disposición se han realizado diversos análisis de calidad de agua en Morelia, obteniéndose resultados de la calidad de las aguas residuales emitidas por distintos giros de actividades productivas (Tabla IV—22).

A partir de estos análisis, se puede observar que la calidad del agua de la Ciudad de Morelia en 2005-2006 cumple con las Normas Oficiales Mexicanas con respecto al pH, la temperatura y los sólidos sedimentables. No obstante, rebasa los límites máximos permitidos para la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos totales y los coliformes fecales. Las grasas y aceites en las aguas residuales de los hospitales, talleres mecánicos e industrias de alimentos también rebasan los límites permitidos por las NOM. Cabe mencionar que la NOM-001-SEMARNAT fue actualizada después de que se realizara el muestreo, por lo que estos nuevos

valores de los límites máximos permitidos son los que se reportan en la tabla anterior.

Es importante resaltar que el proyecto de “*Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca*” no afectará la calidad del agua de Morelia porque se dispondrá adecuadamente de los residuos generados por la remoción de la vegetación forestal según lo establecido en el “Programa de manejo integral de residuos”, con el fin de evitar cualquier tipo posible de contaminación para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Aunado a esto, las actividades de desmonte se llevarán a cabo sólo en las superficies que serán desarrolladas inmediatamente para evitar que se erosione el suelo y que los sedimentos contaminen cualquier cuerpo de agua cercano.

Tabla IV–22. Análisis de calidad de agua residual en la Ciudad de Morelia, Michoacán (2005-2006)

Parámetros	Central camionera	Hoteles	Hospitales	Taller mecánico	Alimentos	Educativo	Límites máximos NOM (Prom. Mensual)
Potencial Hidrógeno	7.34	7.49	6.97	7.59	7.71	6.78	6 a 9
Temperatura (°C)	19.5	25.04	23.2	20.4	19.42	24.5	35
Conductividad (µmhos/cm)	945	546.08	339.092	631.17	1949.75	845	-----
Demanda química de oxígeno (mg/L)	161	225.01	330.4	573.465	3384.84	166.715	Ríos, arroyos, canales: 150
							Embalses, lagos y laguna: 100
							Zonas marinas mexicanas: 85
							Riego de áreas verdes: 60
							Infiltración y otros riegos: 150
Cárstico: 60							
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	229.1	226.75	356.56	519.49	1581.1	302.5	Ríos, arroyos, canales: 60
							Embalses, lagos y laguna: 20
							Zonas marinas mexicanas: 20
							Riego de áreas verdes: 30
							Infiltración y otros riegos: 100
Cárstico: 20							
Sólidos sedimentables (ml/L)	4.5	3.078	3.14	2.57	3.41	3.0	5
Grasas y aceites (mg/L)	34.97	31.98	65.74	133.72	1442.03	13.39	50
Coliformes fecales (Nmp/100mL)	190,000	542,9111.3	1,048,202.4	176,825.45	3,632,059.7	2	Servicios al público con contacto directo: 240
							Servicios al público con contacto indirecto u ocasional: 1,000

IV.2.3.5 Aire

IV.2.3.5.1 Marco teórico

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra y se compone por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) aproximadamente, y por gases traza entre los que destacan los gases de efecto invernadero (GEI) como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano y el ozono, entre otros (1%). La mezcla de gases que forma la atmósfera recibe genéricamente el nombre de aire.

La calidad de aire de una región está determinada, entre otros factores, por sus condiciones climáticas, sus características fisiográficas las actividades económicas asociadas a la quema de combustibles fósiles que se llevan a cabo dentro de ella, y la movilidad de los ciudadanos y mercancías (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático del Gobierno del Estado de Michoacán, 2013). Se puede ver comprometida por distintos contaminantes, los cuales se pueden clasificar como naturales y antropogénicos según su origen, y como primarios y secundarios dependiendo de si se vierten directamente a la atmósfera o no.

Los contaminantes primarios son vertidos directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión e incluyen, entre otros:

- Monóxido de carbono (CO): Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera y proviene principalmente de los vehículos. Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono, y se oxida generando dióxido de carbono (CO₂).
- Óxidos de azufre (SO_x): Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO_x forman aerosoles con la humedad ambiente, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x): Se producen durante la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, el carbón y las quemas de madera. La producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas también contribuyen significativamente a las emisiones de NO_x. El NO se oxida formando NO₂, el cual es precursor del esmog fotoquímico.
- Partículas: Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm (PM10) y las de fracción respirable más pequeña (PM2,5).

Por su parte, los contaminantes secundarios son aquéllos que se generan indirectamente como resultado de la transformación de los contaminantes primarios en la atmósfera. Entre estos contaminantes destacan:

- Ozono (O₃): El ozono troposférico tiene carácter oxidante, reactivo, corrosivo y tóxico, por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.
- Lluvia ácida: Es la precipitación de ácidos formados en la atmósfera como resultado de la contaminación por dióxido de azufre y NO_x. Al entrar en contacto con el agua, estos contaminantes forman ácido sulfúrico y nítrico respectivamente, ocasionando que el pH de la lluvia resultante sea inferior a 5.
- Contaminación fotoquímica: Es una mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios.

La contaminación del aire puede ocasionar graves problemas de salud a la población, principalmente a las personas de la tercera edad, los niños y los asmáticos. Entre las afecciones más comunes que se reportan como consecuencia de las concentraciones elevadas de contaminantes del aire se encuentran: bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía arritmias, infartos e incluso la muerte (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Cambio

Climático del Gobierno del Estado de Michoacán, 2013). Por consiguiente, con el fin de cuidar de la salud de la población, es fundamental llevar a cabo el monitoreo regular de la calidad del aire.

En México, existen distintas normas oficiales que regulan los valores límites permitidos de los principales contaminantes del aire:

Tabla IV—23. Valores límites de contaminantes atmosféricos permitidos por Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire Ambiente

Contaminante	Valor límite Indicador con el que se evalúa	Norma Oficial Mexicana
Partículas PM10	24 h año 1: 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOM-025-SSA1-2021
	24 h año 3: 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	24 h año 5: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 1: 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 3: 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 5: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Partículas PM2.5	24 h año 1: 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	24 h año 3: 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	24 h año 5: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 1: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 3: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Anual año 5: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Ozono (O_3)	1 hora año 1: 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.090 ppm	NOM-020-SSA1-2021
	1 hora año 3: 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.090 ppm	
	1 hora año 5: 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.090 ppm	
	8 horas año 1: 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.065 ppm	
	8 horas año 3: 118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.060 ppm	
	8 horas año 5: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.051 ppm	
Dióxido de azufre (SO_2)	1 hora: 0.075 ppm	NOM-022-SSA1-2019
	24 h: 0.04 ppm	
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	1 hora: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.106 ppm	NOM-023-SSA1-2021
	Anual: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 0.021 ppm	
Monóxido de carbono (CO)	1 hora: 30,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 26.0 ppm	NOM-021-SSA1-2021
	8 horas: 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 9.00 ppm	
Plomo (Pb)	Anual: 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOM-026-SSA1-2021

Fuente: Elaboración propia con información de las NOM.

Aunado a esto, contamos con el SINAICA, que consiste en una serie de programas informáticos que permiten recabar, transmitir y publicar la información de calidad del aire que se genera en las estaciones de monitoreo ubicadas en las diversas entidades federativas que disponen de la infraestructura adecuada para tal tipo de medición. La información proviene de Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire (SMCA) que son manejados por diferentes órdenes de gobierno, estatal y municipal. Las mediciones de calidad del aire de los SMCA se pueden consultar como datos crudos de calidad del aire y de variables meteorológicas en tiempo real, así como indicadores de calidad del aire (INECC, 2022).

El SINAICA permite comparar datos históricos y actualizados de las concentraciones de los principales contaminantes del aire con los límites máximos permitidos por las distintas Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad del aire. Los contaminantes criterio que se incluyen son:

- Partículas suspendidas PM10 y PM2.5
- Ozono (O₃)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Monóxido de carbono (CO)

IV.2.3.5.2 Calidad del aire de Morelia

El Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el estado de Michoacán 2015 – 2024 se diseñó con el objetivo de reducir la emisión de contaminantes atmosféricos en el estado y mejorar así la calidad de vida de la población. Este programa integra medidas y acciones bajo seis líneas estratégicas en tres ejes transversales (“Fortalecimiento Institucional”, “Comunicación y Educación Ambiental”, y “Salud”) y tres líneas estratégicas de fuentes emisoras (“Industria”, “Vehículos automotores”, y “Comercios y Servicios”). Estas medidas fueron

establecidas a partir del diagnóstico técnico en materia de calidad del aire realizado en el estado de Michoacán (Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán).

Para el caso particular de Morelia, El H. Ayuntamiento de esta ciudad, la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado, y La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo establecieron en el año del 2006 el Programa Permanente de Monitoreo Atmosférico por medio de la Unidad de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de Morelia (UNIMAT). Con este programa, pretendían mantener informada a la población urbana moreliana sobre la calidad del aire que respiran. La UNIMAT se encuentra ubicada en la azotea de Palacio Municipal (Clave ECH), y mide monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno y partículas suspendidas menores a 10 micras. Además, se unificó el ICAM (Índice de Calidad del Aire de Morelia), clasificado de la siguiente manera: 0-100 Buena; 101-200 No Satisfactoria; 201-300 Mala; y de 301-500 Muy Mala. A finales de 2008, la estación de monitoreo del Palacio Municipal se incorporó al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) del Instituto Nacional de Ecología. Posteriormente, en 2013, se incorporaron otras dos estaciones de monitoreo al SINAICA: la del edificio de posgrado de Ingeniería Mecánica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Clave ECU) y la del Laboratorio estatal de Salud (Clave LAB).

Un análisis de los registros de concentraciones de contaminantes a la atmósfera realizado como parte del diagnóstico técnico previo al desarrollo del Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de Michoacán 2015 – 2024 indicó que la concentración de ozono ha rebasado el límite permitido por la norma algunos días en Morelia; no obstante, el resto de los contaminantes no presentaban valores sobre la norma.

Asimismo, al evaluar el desempeño del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire para la Zona Metropolitana de Morelia, se concluyó que éste cumplía con el mínimo aceptable:

Tabla IV—24. Evaluación del desempeño del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire para la Zona Metropolitana de Morelia

Parámetro evaluado	Desempeño por parámetro				Desempeño global
	Muy bueno	Bueno	Mínimo aceptable	Requiere atención	
Frecuencia de las auditorías					Mínimo aceptable
2 equipos de monitoreo	PM ₁₀				
	O ₃				
	CO				
	NO ₂				
	SO ₂				
Trazabilidad de los equipos de calibración					
Porcentaje de datos validados (2013-2014)	PM ₁₀				
	O ₃				
	CO				
	NO ₂				
	SO ₂				
Procedimiento de validación de los datos					
Oportunidad en la validación de los datos					
Difusión de la información					

Fuente: Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán. Elaborada para el ProAire del Estado de Michoacán a partir de las bitácoras de auditoría del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire para la Zona Metropolitana de Morelia, bajo las Guías de Monitoreo de INECC.

No obstante, a pesar de lo establecido en el programa antes mencionado, la operación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en Morelia ha sido discontinua o incluso se ha interrumpido indefinidamente, por lo que sus registros se encuentran incompletos y/o desactualizados. Esto dificulta establecer un patrón de comportamiento de los contaminantes del aire de esta ciudad. El ozono es el único contaminante para el cual se cuenta con registros del periodo 2007-2014 en la base de datos del SINAICA, como se puede observar en las Tablas IV-25 a IV-28. Por ende, se necesita que éstas reanuden su operación para poder hacer un diagnóstico adecuado de la calidad del aire de la ciudad.

El proyecto de “*Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca*” implica la remoción de vegetación de bosque de encino en una superficie de 17.16 hectáreas, lo cual tiene un efecto negativo sobre la calidad del aire debido a que los árboles contribuyen a la remoción directa de los contaminantes del aire mediante la absorción estomática (Nowak *et al.*, 2014). Para que este importante servicio ecosistémico no se vea comprometido, se propone la reforestación de una superficie de 17.34 ha como parte de las medidas de compensación asociadas al proyecto.

Tabla IV—25. Estadística descriptiva del promedio diario de O₃ en Morelia por año (2007-2014)

Estación	Año	Primer dato	Último dato	Valor mínimo	Promedio	Desviación estandar	Varianza	Valor máximo	Datos válidos	Datos esperados	Porcentaje de datos
Todas las estaciones	2008	2008-01-01	2008-12-31	0.007	0.046	0.020	0.00	0.109	198	1095	54.25%
Todas las estaciones	2009	2009-01-01	2009-12-31	0.005	0.037	0.011	0.00	0.065	299	1098	81.69%
Todas las estaciones	2010	2010-01-01	2010-12-31	0.021	0.051	0.017	0.00	0.100	70	1095	19.18%
Todas las estaciones	2011	2011-01-01	2011-12-31	0.007	0.038	0.018	0.00	0.104	253	1095	69.32%
Todas las estaciones	2012	2012-01-01	2012-12-31	0.000	0.024	0.011	0.00	0.062	346	1095	94.79%
Todas las estaciones	2013	2013-01-01	2013-12-31	0.002	0.028	0.011	0.00	0.073	266	1098	72.68%
Todas las estaciones	2014	2014-01-01	2014-12-31	0.006	0.020	0.008	0.00	0.045	218	1095	59.73%

Fuente: SINAICA, 2022.

Tabla IV—26. Estadística descriptiva del promedio diario de SO₂ en Morelia por año (2014)

Estación	Año	Primer dato	Último dato	Valor mínimo	Promedio	Desviación estandar	Varianza	Valor máximo	Datos válidos	Datos esperados	Porcentaje de datos
Todas las estaciones	2014	2014-02-17	2014-12-31	0.001	0.004	0.002	0.00	0.011	140	1095	38.36%

Fuente: SINAICA, 2022.

Tabla IV— 27. Estadística descriptiva del promedio diario de NO₂ en Morelia por año (2014)

Estación	Año	Primer dato	Último dato	Valor mínimo	Promedio	Desviación estandar	Varianza	Valor máximo	Datos válidos	Datos esperados	Porcentaje de datos
Todas las estaciones	2014	2014-01-17	2014-12-31	0.005	0.019	0.007	0.00	0.041	215	1098	58.74%

Fuente: SINAICA, 2022

Tabla IV—28. Estadística descriptiva del promedio diario de CO en Morelia por año (2014)

Estación	Año	Primer dato	Último dato	Valor mínimo	Promedio	Desviación estandar	Varianza	Valor máximo	Datos válidos	Datos esperados	Porcentaje de datos
Todas las estaciones	2014	2014-02-15	2014-12-31	0.03	0.44	0.32	0.10	1.91	263	1098	71.86%

Fuente: SINAICA, 2022

IV.2.4 Medio biótico

IV.2.4.1 Usos de suelo y vegetación

IV.2.4.1.1 Metodología

Para determinar los diferentes usos de suelo y/o vegetación que se desarrollan en la CHF definida para el proyecto, se consideraron los siguientes pasos:

1. Revisión de información en la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF): Utilizando la CHF delimitada para el presente proyecto, se realizó en primera instancia una clasificación de usos de suelo y/o vegetación con base en la información vectorial que reporta la Serie VII de INEGI (INEGI, 2021).
2. Recorridos de corroboración dentro de la CHF: Se realizaron recorridos en campo, apoyados de un GPS Garmin marca 62s por la superficie de la CHF para confirmar y determinar la existencia o no de diferentes asociaciones vegetales y usos de suelo (Clasificación supervisada).
3. Clasificación final de Uso de Suelo y Vegetación de la CHF: Se sobrepusieron los usos de suelo y/o vegetación que reporta la Serie VII de INEGI para la CHF 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 la CHF.
4. Levantamiento de información en campo: Una vez identificadas las superficies que ocupa cada uno de los usos de suelo y vegetación presentes en la CHF, se levantaron al azar sitios de muestreo circulares de 17.84 m de radio (0.1 ha) en campo para obtener información sobre las características de la estructura y composición de cada uno de los usos de suelo identificados como forestales. Para cuantificar la vegetación arbustiva y herbácea en cada sitio de muestreo se utilizaron cuadros empotrados de 4x4 m para medir la

vegetación arbustiva y de 1x1 m para la vegetación herbácea (las características del muestreo en campo se detallan más adelante). Para los usos no forestales, únicamente se realizaron recorridos prospectivos para la identificación de aquellos individuos vegetales que pudieran estar presentes (especies ruderales, aisladas o remanentes) y se tomó registro fotográfico de cada uso de suelo identificado.

IV.2.4.1.2 Elección del sistema de muestreo

En los estudios ecológicos el diseño de muestreo es la parte que requiere mayor cuidado, ya que determina el éxito potencial de un experimento y representa la base para el eventual análisis e interpretación precisa de los datos (Ramírez, 2006). De manera que, para que un muestreo sea lo suficientemente representativo y confiable, debe estar bien diseñado. Por lo tanto, la muestra a tomarse debe considerar la mayor variabilidad existente en toda una población estadística (Balzarini *et al.*, 2011). 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).

A su vez, el tipo de muestreo y diseño determinan el análisis estadístico que será utilizado en el estudio (Balzarini *et al.*, 2011; Mostacedo y Fredericksen, 2000). No obstante, antes de pensar en el diseño y forma de muestreo, se requiere comprender las diferencias entre los conceptos: muestras y poblaciones. De acuerdo con Ramírez (2006), una población es la unidad de la cual se quiere obtener cierta información, mientras que una muestra es una porción de la población que es seleccionada por el investigador, a partir de la cual se busca inferir información de la población en su conjunto.

Para los estudios ecológicos y forestales se han propuesto diversos tipos de muestreo que son simples de utilizar y con los que se obtienen resultados

confiables, tales como: muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado y muestreo sistemático (Balzarini *et al.*, 2011; Mostacedo y Fredericksen, 2000; Ramírez, 2006).

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.

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. Una ventaja de este tipo de muestreo, a diferencia del muestreo aleatorio, es que se puede planificar en el mismo lugar donde se realizará el estudio, y la aplicación del diseño es más rápida.

Con base en los sistemas de muestreo expuestos, la información que presenta INEGI (Serie VII INEGI, 2021) y aquella obtenida a partir de imágenes satelitales, se cuenta con información previa de los usos de suelo y vegetación presentes en la CHF del proyecto. Por lo tanto, es posible determinar que el diseño de muestreo más adecuado para esta información es el denominado “aleatorio estratificado”, dado que se puede subdividir a la población (comunidades vegetales) conforme a los diferentes tipos de vegetación, de acuerdo con las características ecológicas y

florísticas que los diferencian. Así, este tipo de muestreo será dirigido sobre aquellas superficies de la CHF cubiertas con vegetación forestal con características florísticas y estructurales homogéneas, ya que es perfectamente aplicable por las siguientes razones:

1. Se cuenta con información previa del uso de suelo y vegetación presentada por INEGI Serie VII, la cual fue corregida a detalle mediante una imagen de satélite de alta resolución y los datos colectados de los recorridos de campo realizados para la definición de la CHF del proyecto. De manera que, previo a la elección del diseño de muestreo, se tuvo conocimiento de las asociaciones vegetales presentes en la CHF, lo que permitió clasificarlas con base en su similitud en parámetros estructurales y de composición.
2. Con la estratificación de los usos de suelo y/o vegetación, el diseño propuesto implica el registro de información únicamente de aquellas superficies cubiertas por asociaciones vegetales, evitando un esfuerzo de muestreo mayor o en áreas en las cuales de antemano se sabe que no existe información a recopilar.
3. El hecho de aleatorizar los puntos de colecta en cada estrato definido garantiza un menor error de muestreo debido a que permite capturar una mayor variabilidad de información por estrato, a la vez que disminuye el sesgo generado al elegir *a priori* cada punto sin conocimiento previo al inicio de los trabajos de levantamiento de información en campo, como ocurre con el muestreo sistemático o dirigido.

En la Tabla IV—29 y en la Figura IV—39 se presentan las coordenadas UTM y la ubicación de los sitios de muestreo de la CHF donde se levantó la información de campo.

Tabla IV—29. Coordenadas UTM Zona 14 N de los sitios de muestreo de la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF)

Sitio	X	Y	Vegetación y/o Uso de Suelo
1	274,581	2,171,954	Bosque de Encino
2	273,708	2,170,279	Bosque de Encino-Pino
3	272,535	2,171,458	Bosque de Encino
4	271,561	2,171,570	Bosque de Encino
5	269,293	2,170,974	Bosque de Encino
6	273,126	2,170,255	Bosque de Encino-Pino
7	277,314	2,169,571	Bosque de Encino-Pino
8	276,091	2,173,267	Bosque de Encino
9	275,381	2,170,330	Bosque de Encino-Pino
10	269,432	2,172,470	Bosque de Encino
11	271,474	2,172,951	Bosque de Encino
12	274,387	2,170,822	Bosque de Encino
13	271,846	2,169,955	Bosque de Encino
14	269,117	2,171,709	Bosque de Encino

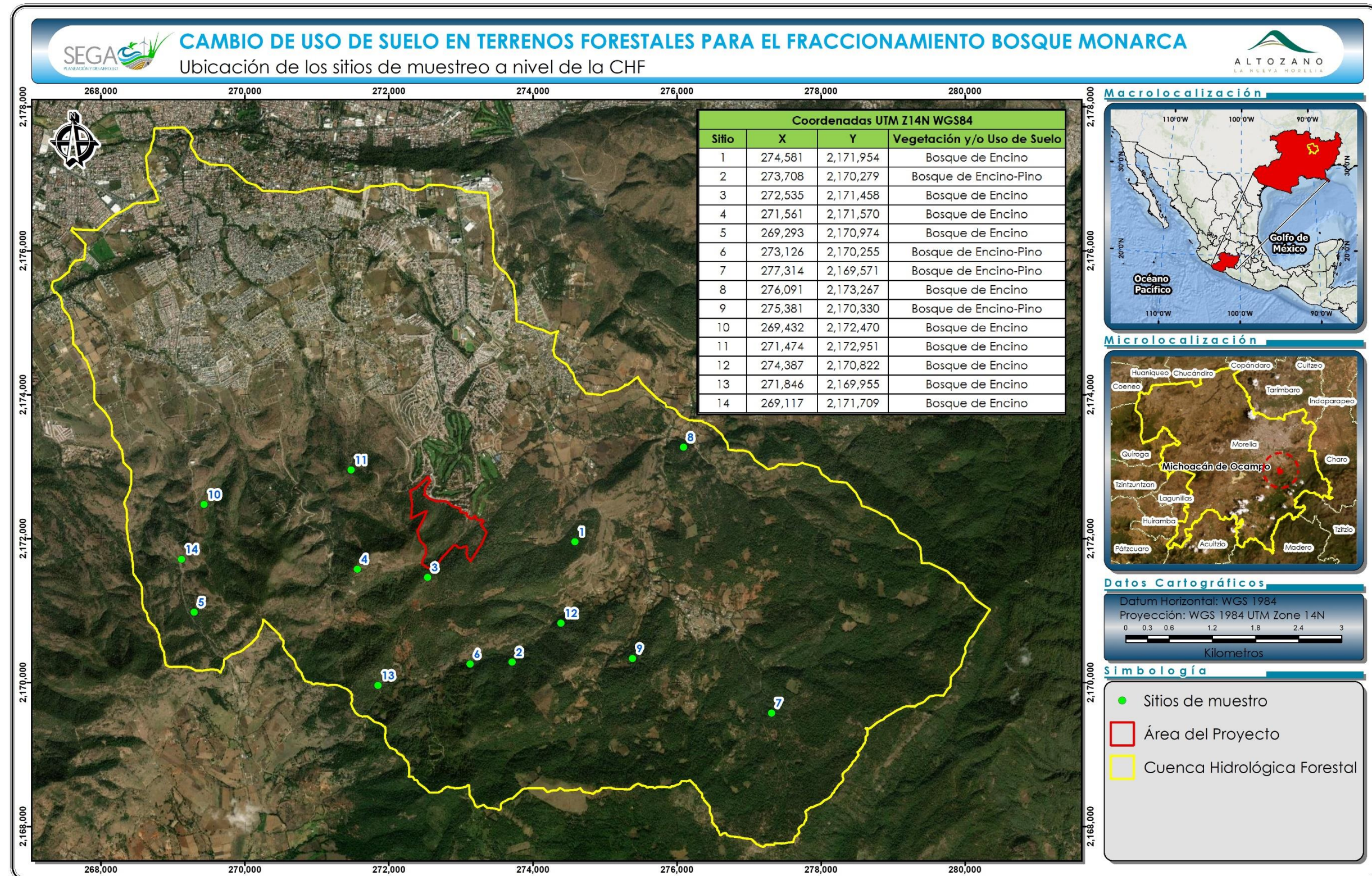


Figura IV—39. Ubicación de los sitios de muestreo a nivel de la CHF

IV.2.4.1.3 Representatividad del esfuerzo de muestreo

En un inventario forestal, registrar la riqueza total de especies presentes en un área determinada es complicado, lo cual representa un grave problema metodológico dado que la riqueza es considerada el principal descriptor de la biodiversidad (Magurran, 2004; Magurran y McGill, 2011). De hecho, la riqueza de especies observada dentro de cada hábitat (diversidad alfa) es notablemente dependiente del tamaño de muestra (Colwell y Coddington, 1994; Colwell *et al.*, 2004). Es por ello que las curvas de acumulación de especies son una técnica estadísticamente robusta y confiable para determinar el esfuerzo de muestreo requerido para capturar la riqueza potencial esperada que habita en una determinada región. Así, dichas curvas representan gráficamente el número de especies observadas como función de alguna medida del esfuerzo de muestreo requerido para registrarlas en el inventario.

Además, este tipo de curvas, también denominadas curvas de colecta de especies son consideradas una potente metodología para estandarizar las estimaciones de la riqueza obtenida en trabajos ecológico-forestales que han empleado distintas metodologías y/o diferentes niveles de esfuerzo (Colwell *et al.*, 2004). Son también una herramienta muy útil para planificar el esfuerzo de muestreo que se debe invertir en el trabajo del inventario en campo. El uso de curvas de acumulación de especies es recomendable para inventarios ambientales (flora y fauna) debido a las dificultades de muestreo de estos grupos taxonómicos y al elevado porcentaje de especies potenciales raras que se pueden registrar (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

En resumen, de acuerdo con Jiménez-Valverde y Hortal (2003), las curvas de acumulación permiten: 1) dar fiabilidad a los inventarios biológicos y posibilitar su comparación, 2) una mejor planificación del trabajo de muestreo, tras estimar el esfuerzo requerido para conseguir inventarios confiables, y 3) extrapolar el número

de especies observado en un inventario para estimar el total de especies que estarían presentes en la zona.

Una vez mencionadas las ventajas de las curvas de acumulación, se procedió a determinar la representatividad del muestreo realizado en la CHF (especies observadas vs especies potencialmente esperadas en el área) mediante este método numérico (Colwell *et al.*, 2004). Cabe precisar que, en una curva de acumulación de especies observadas, la incorporación de nuevos taxa al inventario se relaciona en alguna medida con el esfuerzo de muestreo (Magurran y McGill, 2011). De manera que, a mayor esfuerzo de muestreo, mayor número de especies colectadas (riqueza observada).

Al inicio del trabajo de campo, se colectan sobre todo especies comunes y la adición de especies al inventario se produce rápidamente; por tanto, la pendiente de la curva de acumulación comienza siendo elevada (comportamiento exponencial). A medida que prosigue el muestreo, las especies colectadas generalmente son raras, lo que hace crecer el inventario a un ritmo más lento y la pendiente de la curva va tomando una forma asintótica. Cuando la curva se estabiliza (inclinación de la pendiente a cero grados), se puede establecer que, teóricamente, el número de especies encontradas en la zona estudiada es cercano a la riqueza potencial esperada (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Colwell *et al.*, 2004); es decir, el esfuerzo de muestreo ha sido suficiente para registrar la riqueza total de una zona.

En consecuencia, para comprobar que el esfuerzo de muestreo mediante las curvas de acumulación de especies estimó con precisión el número total de taxa existentes en la CHF, se observó la tendencia de la curva y sus intervalos de confianza a una significancia estadística del 95% ($p \leq 0.05$), y se calcularon también algunos estimadores no paramétricos. Estos estimadores son algoritmos que emplean proporciones de especies raras para estimar la riqueza total bajo el supuesto de que, cuantas más especies raras haya, mayor será el número de especies que quedan por aparecer en el inventario. Estos estimadores tienen su base estadística

en la matemática de las técnicas de estimación del número de clases a partir de muestras y de las técnicas de captura-recaptura (Magurran y McGill, 2011). De acuerdo con Colwell *et al.* (2004), para considerar estadísticamente confiable la eficiencia del muestreo obtenida mediante la proyección de la riqueza estimada con los estimadores no paramétricos, ésta debe ser superior al 80% de la riqueza observada. Para el cálculo de estos estimadores, se utilizó el Software “EstimateS 9.1” (Colwell, 2013) y se graficaron únicamente aquellos estimadores con mejor ajuste y que reflejaron la riqueza real con menor sesgo (ACE, Chao 1 y Bootstrap).

Los resultados muestran que la riqueza de especies observada para la CHF del proyecto consistió en 39 taxa registrados en 14 sitios de muestreo, mientras que la riqueza potencial estimada para cada uno de los indicadores utilizados se presenta en la siguiente tabla.

Tabla IV—30. Resultados de los estimadores no paramétricos de riqueza potencial utilizados para la CHF del proyecto

Sitios de muestreo	Especies observadas	Especies esperadas		
		ACE	Chao 1	Bootstrap
1	7.56	8.12	8.29	7.01
2	12.25	14.13	14.59	14.11
3	16.09	18.4	19.56	18.69
4	19.35	21.9	23.29	22.65
5	22.22	25.46	26.76	26.67
6	24.79	28.03	28.66	29.83
7	27.12	30.24	30.89	32.26
8	29.24	32.17	32.55	34.86
9	31.19	33.83	34.26	36.97
10	32.99	36	36.79	39.45
11	34.65	37.83	38.77	41.7
12	36.2	39.51	39.99	43.83
13	37.64	40.49	40.83	45.25
14	39	41.76	42.12	46.84

También se aprecia que la curva de acumulación de la riqueza observada se encuentra dentro de los intervalos de confianza ($\alpha=0.05$), por lo cual se puede tener certeza de que el muestreo fue significativo.

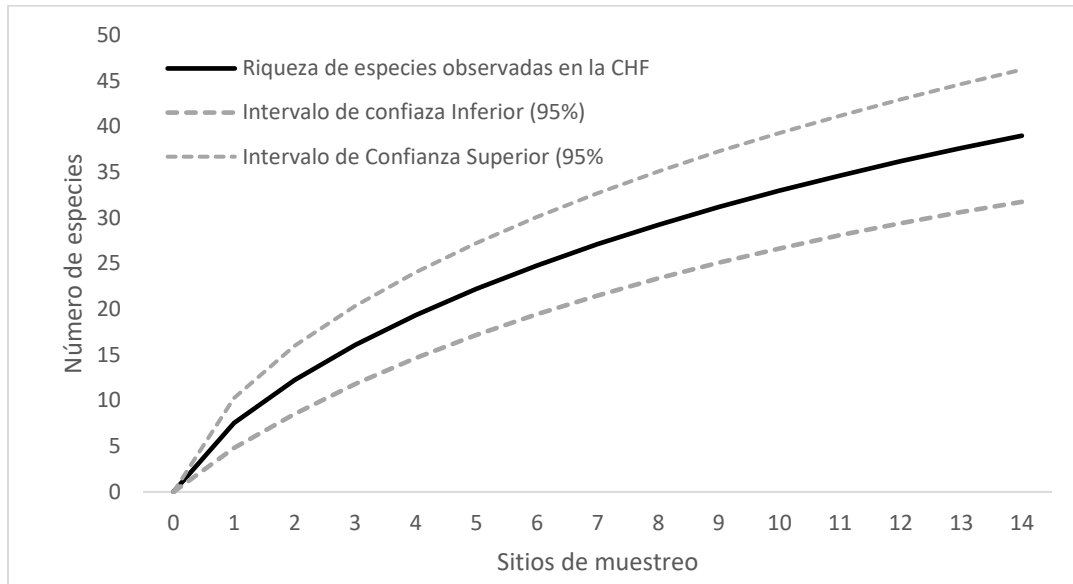


Figura IV—40. Curva de acumulación de especies observadas e intervalos de confianza al 95% para la CHF

La tendencia de las curvas de acumulación de especies realizada para la CHF permite señalar que, con los puntos de muestreo establecidos, se tiene una representatividad promedio del 89.7% de las especies potencialmente esperadas. Esto sustenta que el esfuerzo de muestreo realizado en este estudio fue robusto y estadísticamente confiable, de manera que registró un número adecuado de las especies que alberga la CHF (Tabla IV—31 y Figura IV—41).

Tabla IV—31. Eficiencia del esfuerzo de muestreo en la CHF delimitada para el proyecto

Estimador de riqueza	Especies		Eficiencia del muestreo (%)
	Observadas	Esperadas	
ACE	39	41.76	93.4
Chao 1	39	42.12	92.6
Bootstrap	39	46.84	83.3
Promedio			89.7

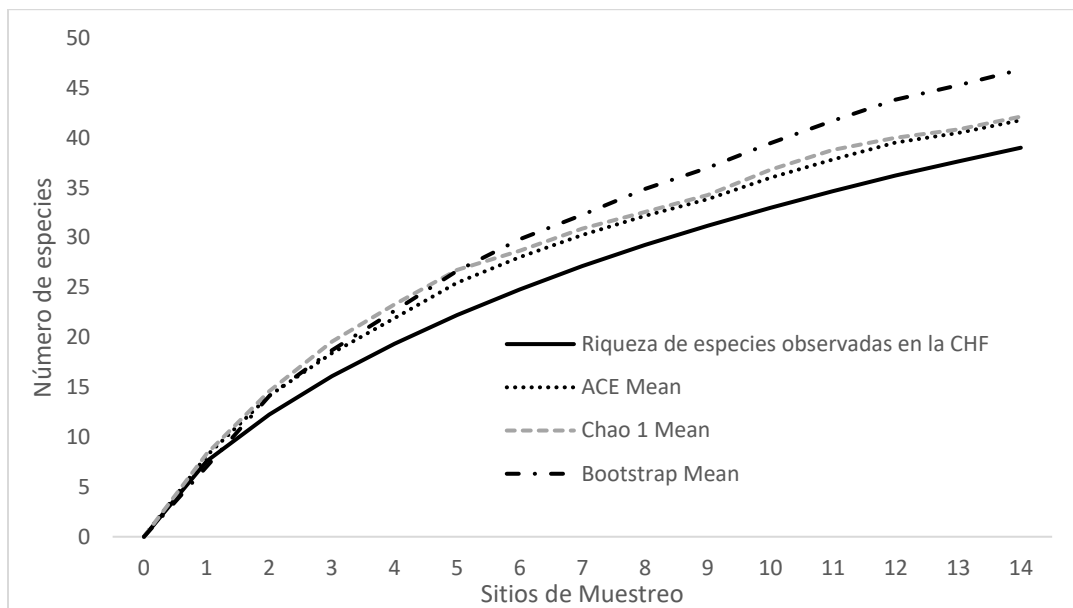


Figura IV—41. Curva de acumulación de especies observadas y esperadas para la CHF mediante estimadores no paramétricos

IV.2.4.1.4 Tamaño y forma de los sitios de muestreo

De acuerdo con Mostacedo y Fredericksen (2000) y Ramírez (2006), los sitios de muestreo pueden tener la forma que más convenga en función de las posibilidades y tiempo disponibles. Las tres formas que más se han utilizado en inventarios forestales son sitios con dimensiones cuadradas, rectangulares y circulares.

Los tamaños más adecuados para un sitio de muestreo generalmente están en función del objetivo del estudio. Dado que en la CHF del proyecto se encuentran

superficies cubiertas con Vegetación Forestal de bosque de encino-pino y bosque de encino, se decidió utilizar los siguientes tamaños de muestra para obtener una mayor fiabilidad estadística (Inventario Nacional Forestal y de Suelos, 2015).

- 1) **Estrato superior o arbóreo:** sitios circulares de 1,000 m² (17.84 m de radio) para el muestreo de especies con diámetro normal (diámetro registrado a 1.30 m sobre el nivel del suelo) igual o mayor a 7.5 cm. Los atributos que se consideraron fueron: nombre común, nombre científico, diámetro normal, altura de fuste limpio y altura total.
- 2) **Estrato medio o arbustivo:** sitios cuadrados de 16 m² (4 x 4 m) anidados en el punto central del sitio circular utilizado para levantar información correspondiente al estrato superior (arbóreo). Los atributos que se consideraron fueron: nombre común, nombre científico, altura total y diámetro de copa (máximo y mínimo).
- 3) **Estrato inferior o herbáceo:** sitios cuadrados de 1 m² (1 x 1 m) anidados en el punto central del sitio establecido para levantar información correspondiente al estrato superior (arbóreo). Los atributos que se consideraron fueron: nombre común, nombre científico, altura y diámetro de copa (máximo y mínimo).

En la siguiente figura se muestran fotografías de los métodos de muestreo utilizados para el levantamiento de datos dasométricos. De izquierda a derecha y de arriba a abajo se aprecia el marcaje y medición de diámetro normal, la identificación del centro de los sitios de muestreo y la colecta de especies para su posterior, la toma de datos y la delimitación de los sitios de muestreo y dos vistas de los individuos marcados para su posterior verificación.





Figura IV—42. Métodos de muestreo utilizados para el levantamiento de datos dasométricos

De acuerdo con la información estructural de las especies que se desarrollan en las asociaciones de vegetación identificadas para la CHF, se realizó una clasificación por estratos: superior (arbóreo), medio (arbustivo) e inferior (herbáceo). No obstante, cabe precisar que existe una baja tasa de recambio de especies entre estratos, de manera que algunos taxa del estrato arbustivo se encuentran en estado juvenil y en transición a convertirse en árboles y ser parte del estrato arbóreo; lo mismo sucede en el estrato herbáceo, en el cual se entremezclan algunas especies de crecimiento herbáceo con renuevos de las especies del estrato arbóreo y arbustivo (regeneración). Por lo tanto, dentro de los datos mostrados en este estudio se pueden encontrar individuos de las mismas especies en los diferentes estratos estudiados.

IV.2.4.1.5 Análisis de la información

Especies en riesgo: La revisión del estatus de especies bajo categorías de protección se realizó conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Modificación del Anexo Normativo III en 2019). Con los resultados obtenidos del levantamiento de información florística, se registraron **dos especies enlistadas en esta norma**

(NOM-059-SEMARNAT-2010) para la CHF: *Cupressus lusitanica* Mill. bajo el estatus de “Sujeta a Protección Especial” (Pr) y *Tilia americana* L. var. mexicana bajo el estatus de “En Peligro de Extinción” (P), ésta última considerada endémica para el país.

También se calcularon algunos parámetros ecológicos por asociación vegetal para poder explicar la estructura y composición de especies presentes en la CHF delimitada para el proyecto, esto a través de:

Estructura de la vegetación: Para analizar la estructura por tipo de vegetación, se calculó la densidad arbórea y el área basal por hectárea; además, se presentan los valores promedio para el diámetro y la altura. Esta información se obtuvo únicamente para el estrato superior (arbóreo) debido a que es el único que presenta información del diámetro normal para el cálculo del área basal.

Determinación taxonómica del material vegetal: Se consultó literatura especializada (McVaugh, 1985; Rzedowski, 2018, Villaseñor 2016) para conocer la riqueza vegetal registrada para el área de estudio previo a la salida de campo. Con base en la lista florística generada a partir de dicha revisión y el material botánico presente en la CHF, se logró identificar en campo a los individuos registrados a nivel de especie y, en los casos en los que únicamente se logró identificar a nivel de género, se procedió a coleccionar material para su posterior determinación en el Herbario Hortorio “CHAPA” del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. El sistema nomenclatural utilizado se basó en Tropicos.org del Missouri Botanical Garden <http://www.tropicos.org>.

Riqueza de especies: Contabilizada como el número total de taxa registrados en los sitios de muestreo (S).

Diversidad de especies: La diversidad considera tanto el número de especies como la proporción (repartición) de individuos de cada especie (abundancia relativa o equidad) existente en un lugar determinado (Magurran, 2004). Se decidió utilizar el

Índice de Shannon-Wiener (H') ya que es uno de los estimadores más comunes y citados en la literatura. Además, es un índice no paramétrico que se basa en la abundancia proporcional de especies y, por lo tanto, muestra mayor sensibilidad a las alteraciones en la abundancia de especies con menor densidad, también llamadas raras (Shannon y Weaver, 1964; Moreno, 2001). Este índice se representa como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0 y 5: valores inferiores a 2 se consideran bajos, superiores a 3 son altos, en tanto algunos ecosistemas considerados muy ricos pueden alcanzar valores de 5 o más (Magurran, 2004; Magurran y McGill, 2011).

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

donde:

S= número de especies (riqueza observada de especies);

P_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie i): n_i/N .

También se obtuvo la Equidad de Pielou (J'), la cual compara el índice Shannon-Wiener contra la distribución de individuos entre las especies observadas que deberían maximizar la diversidad; de manera que si H' es el índice Shannon-Wiener observado, el valor máximo que este índice podría tomar es el $\log(S)$, donde S es el número total de especies en el hábitat (Magurran y McGill, 2011). Para obtener estos estadígrafos se empleó el programa “Species Diversity and Richness 4.1.2” (Seaby y Henderson, 2007).

Densidad absoluta y relativa (D_a y D_r): La densidad es un parámetro que permite conocer la abundancia de una especie, principalmente cuando las formas de crecimiento facilitan el conteo independiente de cada individuo. La densidad absoluta es el número de individuos de una especie “ i ” presente en un área determinada (individuos por unidad de superficie); para este caso, se consideró al

nivel de hectárea tipo. La densidad relativa se refiere a la proporción en número de individuos de una especie con relación a la densidad total, expresada en porcentaje.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de individuos de la especie } n}{\text{Área muestreada}}$$

Dominancia (Dom): La dominancia es considerada como el área que ocupa una especie, mientras que la Dominancia relativa (Dor) es el área que ocupa una especie con relación al resto de las especies. Es una medida que se expresa en porcentaje, y se calculó a partir de la estimación del área basal para individuos arbóreos y mediante la cobertura de copa para individuos arbustivos y herbáceos.

$$\text{Dominancia} = \frac{\text{AB de la especie } n}{\text{Sumatoria del AB de todas las especies}}$$

Área Basal (AB): Refiere al diámetro del tronco a 1.30 m de altura. Se mide el tronco principal del árbol y cada rama igual o mayor a 7.5 centímetros de diámetro, y se suman todas ellas para calcular el valor del individuo en la unidad de muestreo.

$$\text{Área Basal: } AB = \frac{\pi}{4} DN^2$$

Frecuencia (F): La frecuencia se define como la probabilidad de encontrar una especie en una unidad de muestreo, es decir, es el número de unidades de muestreo en la que una especie está presente. Por tanto, la Frecuencia relativa (Fr) pondera el número de veces en que es encontrada una especie con relación al resto de las especies y es una medida porcentual.

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Número de ocurrencia de la especie } n}{\text{Número total de sitios muestreados}}$$

Índice de Valor de importancia (IVI): El índice de valor de importancia es el parámetro que mide el valor estructural de las especies con base en tres parámetros: dominancia relativa (ya sea en forma de cobertura o área), densidad relativa y frecuencia relativa. El índice de valor de importancia (IVI) es la suma de estos tres parámetros, calculado en forma total (300%) y relativo (100%) (Curtis y McIntosh, 1951; Begon *et al.*, 2005).

IV.2.4.1.6 Resultados

Dentro de la CHF definida para el proyecto, se diferenciaron ocho unidades de uso de suelo y/o vegetación. La superficie ocupada por cada tipo de uso de suelo y su proporción correspondiente dentro de la CHF se presenta en la siguiente tabla, mientras que su ubicación espacial se presenta en la figura siguiente.

Para la identificación y descripción de los usos de suelo y vegetación en la CHF se usó como base la serie VII de usos de suelo y vegetación de INEGI (INEGI, 2021), la cual considera tres fases sucesionales (vegetación secundaria) para los tipos de vegetación: “Vegetación Secundaria herbácea”, “Vegetación Secundaria arbustiva” y “Vegetación Secundaria arbórea”. Sin embargo, para términos de este estudio, se unificaron todas las fases por tipo de vegetación registrado y estas fases fueron descritas en cada uno de los tipos de vegetación que presentaran esta condición. Aunado a lo anterior y como parte de los resultados de este estudio, también se rectificaron algunos límites de los tipos de vegetación registrados en campo y se pudo detectar la presencia/ausencia de algunos tipos de vegetación. Esto se debe a que la escala más fina de muestreo permitió delimitar con mayor precisión la escala espacial de los usos de suelo identificados, por lo que diferencias en las superficies y/o la ausencia de algún tipo de vegetación pueden ser evidentes al compararlos con la capa de uso de suelo y vegetación Serie VII de INEGI (INEGI, 2021).

Tabla IV—32. Superficie dentro de la CHF por uso de suelo y/o vegetación identificado y porcentaje con respecto a la superficie total de la CHF

N o	Tipo de Uso de Suelo y Vegetación	Clave	Presencia de fase sucesional	Superficie		
				m ²	ha	%
1	Agricultura de riego anual	ARA	N/A	615,036.00	61.50	0.88
2	Agricultura de temporal anual	ATA	N/A	8,963,440.00	896.34	12.84
3	Asentamientos humanos	AH	N/A	16,126,800.00	1,612.68	23.11
4	Bosque cultivado	BC	N/A	982,270.00	98.23	1.41
5	Bosque de encino	BE	Vegetación Secundaria Arbustiva	19,036,800.00	1,903.68	27.28
6	Bosque de encino-pino	BEP	Sin presencia	19,083,700.00	1,908.37	27.34
7	Pastizal cultivado	PC	N/A	1,170,740.00	117.07	1.68
8	Pastizal inducido	PI	N/A	3,812,030.00	381.20	5.46
Total				69,790,816.00	6,979.08	100

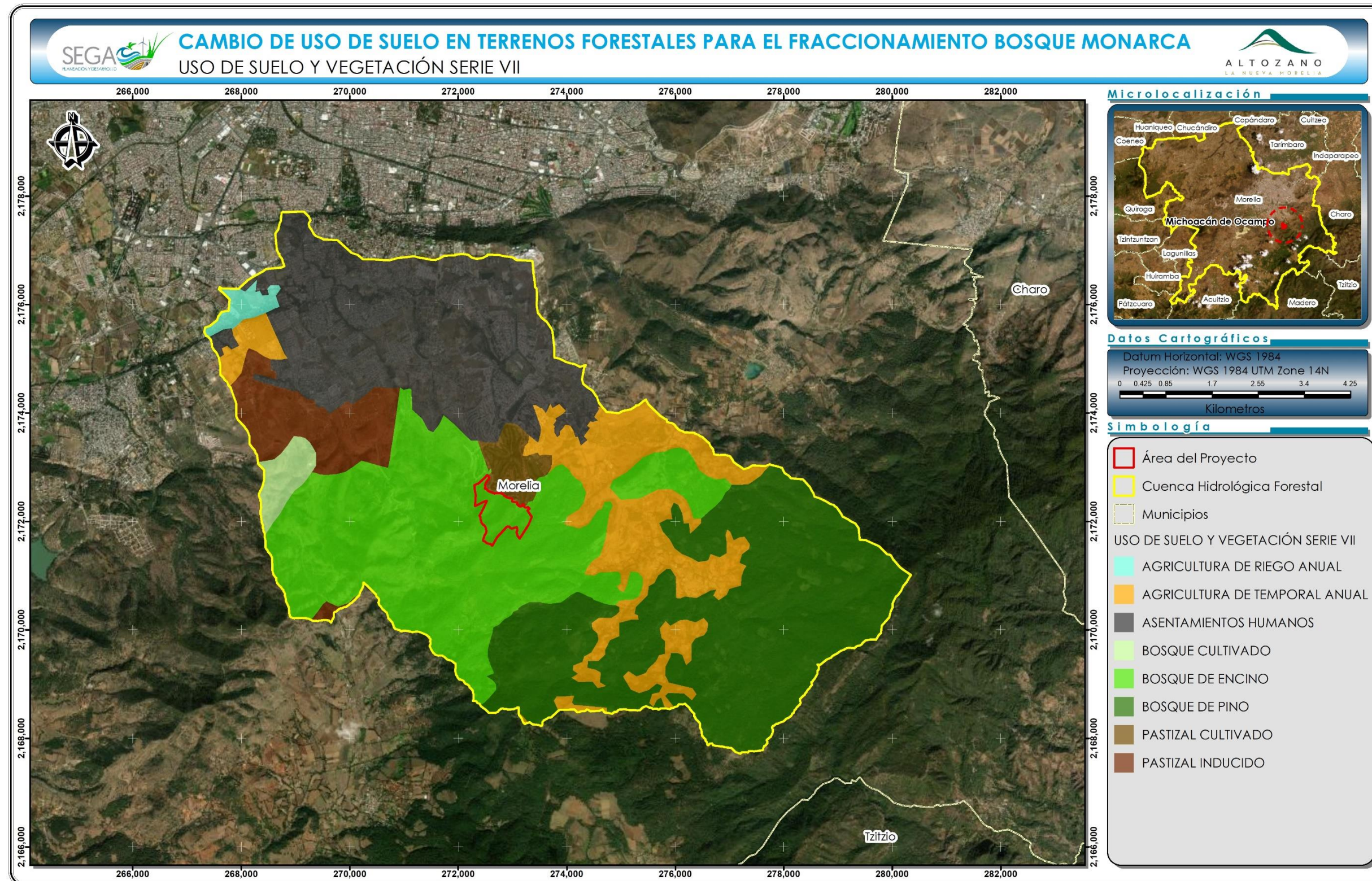


Figura IV—43. Usos de suelo y vegetación identificados para la CHF delimitada para el proyecto

IV.2.4.1.7 Descripción de los usos de suelo y vegetación en la CHF

Para la descripción de los usos de suelo y/o vegetación identificados en la CHF, se tomó como base lo que marca la guía para la interpretación de cartografía específica de uso de suelo y vegetación en su Serie VI (INEGI, 2015), así como literatura especializada sobre la vegetación de México (Miranda y Hernández-X, 2014), enriqueciéndose ésta con la información recabada en campo para cada uso de suelo y vegetación identificado. A continuación, se presenta esta descripción:

Agricultura de Riego Anual (ARA). Este uso incluye a la agricultura de riego, que implica el suministro del agua por acción del hombre para los cultivos por aspersión, goteo o cualquier otra técnica. En la CHF, la agricultura de riego que se practica consiste en suministrar el agua por medios tecnificados (goteo) y, a menor escala, por la técnica de agua rodada (construcción de surcos que abastecen a partir de un canal principal y mediante la mano de obra se distribuye directamente a la planta). En la CHF, este uso está representado en una superficie de 61.50 ha (0.88 % de la CHF), siendo las principales especies cultivadas: Maíz (*Zea mays* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), avena (*Avena sativa* L.), sorgo de grano (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y el (*Triticum* spp.).

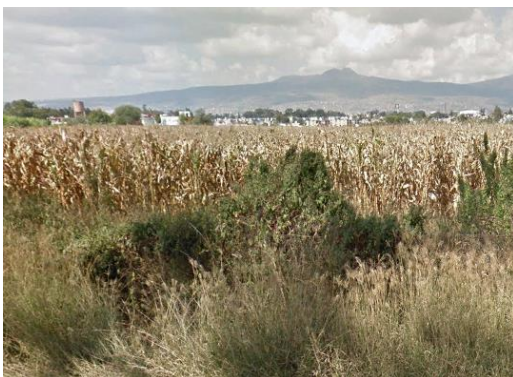


Figura IV—44. Vista general de los cultivos de la zona con agricultura de riego dentro de la CHF

Agricultura de Temporal Anual (ATA). 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; por lo tanto, su éxito depende de la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua. Su clasificación es independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, que puede superar los diez años en el caso de los frutales, o bien, puede ser de periodos inferiores a un año como en el caso de los cultivos de verano. Para ser clasificadas como de temporal, estas zonas deberán permanecer sembradas al menos un 80% del ciclo agrícola. Pueden ser áreas de monocultivo o de policultivo y pueden combinarse con pastizales, o bien, estar mezcladas con zonas de riego, lo que conforma un mosaico complejo, difícil de separar, pero que generalmente presenta dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia.

En la CHF, este uso está representado en una superficie de 896.34 ha (12.84 % de la CHF), siendo la principal especie cultivada el maíz (*Zea mays* L.), aunque en menor superficie también se puede encontrar avena (*Avena sativa* L.), sorgo de grano (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), trigo de grano (*Triticum* spp.), haba (*Vicia faba* L.) y veza (*Vicia sativa* L.). También se pueden encontrar algunos individuos arbóreos aislados o que sirven de cercos vivos como el eucalipto (*Eucalyptus* spp.), la casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.), el capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) y el pirul (*Schinus molle* L.).



Figura IV—45. Vista general de las áreas con agricultura de temporal anual en la CHF

Asentamientos Humanos (AH). Se refiere a las zonas que están ocupadas por localidades rurales o en la periferia de grandes ciudades. Algunas zonas de este tipo pueden presentar agrupación de viviendas con un cierto grado de precariedad, ya sea desde el punto de vista de los servicios básicos o incluso desde el punto de vista de la legalidad de la ocupación de un determinado territorio. Dentro de la CHF, las zonas que cuentan con estas características son las conformadas por las localidades de Jesús del Monte, Montaña Monarca y El Durazno, en el municipio de Morelia, Michoacán. Este uso de suelo ocurre en 1,612.68 ha de la CHF (23.11% de la superficie total de la misma).



Figura IV—46. Vista general de los Asentamientos Humanos presentes en la CHF del proyecto

Bosque cultivado (BC). Es aquél que se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas por parte del hombre, sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas. Estas comunidades se pueden considerar como bosques artificiales, ya que son consecuencia de una reforestación con árboles de distintos géneros, por lo general con especies exóticas. Conforme a la terminología que maneja la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, este uso de suelo sería el equivalente a plantaciones forestales con especies exóticas. Algunas de las especies que más se cultivan según su adaptabilidad son: pino (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), cedro (*Cupressus spp.*), casuarina (*Casuarina sp.*), pirul (*Schinus molle L.*), álamo o chopo (*Populus spp.*), fresno (*Fraxinus sp.*) y aile (*Alnus sp.*). En la CHF, este uso

de suelo ocupa una superficie de 98.23 ha (1.41% con respecto a la superficie total de la misma); las principales especies utilizadas son *Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*, y, en menor proporción, se puede apreciar *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitanica*.



Figura IV—47. Vista general del bosque cultivado presente en la CHF del proyecto.

Bosque de Encino (BE). Este tipo de vegetación se caracteriza por tener una dominancia de especies del género *Quercus* spp. De acuerdo con la información disponible y con las observaciones de campo, se sabe que en la CHF se localizan las siguientes especies arbóreas: encino (*Quercus deserticola* Trel.), encino blanco (*Quercus crassifolia* Bonpl), encino amarillo (*Quercus magnoliifolia* Née), encino quiebra hacha (*Quercus rugosa* Née) y granadillo (*Xylosma flexuosa* (Kunth) Hemsl.), entre otras. El bosque de encino constituye uno de los dos tipos de vegetación templada más importantes de México junto con los bosques de pino. Su distribución, de acuerdo con Rzedowski, abarca prácticamente desde el nivel del mar hasta los 3,100 m. Sin embargo, la mayoría de estas zonas se ubican entre los 1,200 y 2,800 msnm. Estos bosques han sido muy explotados con fines forestales para la extracción de madera y para la elaboración de carbón; esto provoca que tiendan a fases secundarias, las cuales, a su vez, son incorporadas a la actividad agrícola y pecuaria, situación de la que no está exenta la CHF del proyecto. En la CHF, este uso de suelo está representado por una superficie de 1,903.68 ha (27.28% con respecto a la superficie total de la CHF).

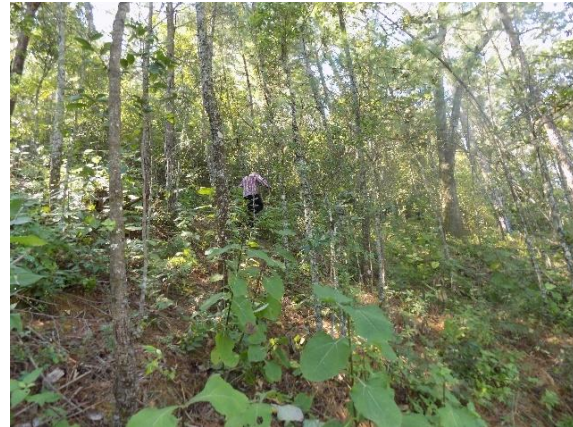


Figura IV—48. Vista general de las áreas con Bosque de Encino dentro de la CHF del proyecto

Bosque de encino-pino (BEP). Esta comunidad se caracteriza por la dominancia de los encinos (*Quercus* spp.) sobre los pinos (*Pinus* spp.). Se desarrolla principalmente en áreas de mayor importancia forestal, en los límites altitudinales inferiores de los bosques de pino-encino. Estas comunidades muestran menor porte y altura que aquéllas donde domina el pino sobre el encino. En la CHF, este uso de suelo es el mejor representado y cuenta con una superficie de 1,908.37 ha (27.34% con respecto a la superficie total de la CHF). Entre las especies más representativas registradas dentro del muestreo de campo se encuentran el pino chino (*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham.), encino (*Quercus deserticola* Trel.), encino blanco (*Quercus crassifolia* Bonpl), encino amarillo (*Quercus magnoliifolia* Née), encino quiebra hacha (*Quercus rugosa* Née), madroño (*Arbutus xalapensis* Kunth), lloró (*Cornus disciflora* DC.), palo azul (*Garrya longifolia* Rose) y frutilla (*Ilex brandegeana* Loes).



Figura IV—49. Vista general del bosque de encino-pino presente en la CHF del proyecto

Pastizal Cultivado (PC). Es un tipo de uso de suelo caracterizado por la presencia de gramíneas que se han introducido intencionalmente en una región y que, para su establecimiento y conservación, se realizan algunas labores de cultivo y manejo. Estos pastizales son los que generalmente forman los llamados potreros; sin embargo, en la CHF este uso está representado por pasto cultivado para un campo de Golf en la parte central de la CHF. El pastizal cultivado cubre una superficie de 117.074 ha (1.68% con respecto a la superficie total de la CHF).



Figura IV—50. Vista general de las áreas de Pastizal Cultivado dentro de la CHF

Pastizal Inducido (PI). Es aquél que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas, o bien, como producto de áreas que se incendian con frecuencia. Son de muy diversos tipos y, aunque cabe mencionar que no hay pastizales que pudieran considerarse como totalmente libres de alguna influencia humana, el grado de injerencia del hombre es muy variable y, con frecuencia, difícil de estimar. En la CHF, este uso de suelo está representado por una superficie de 381.20 ha (5.46% con respecto a la superficie total de la CHF). Estos pastizales se encuentran inducidos en áreas originalmente cubiertas con bosque de encino-pino y bosque de encino.



Figura IV—51. Vista general de las áreas de Pastizal Inducido dentro de la CHF

IV.2.4.1.8 Estructura y composición del bosque de encino en la CHF del proyecto

Estructura de la comunidad

Para analizar la estructura del bosque de encino, se calculó la densidad de árboles y el área basal por hectárea; además, se presentan las alturas y los diámetros promedio para el componente arbóreo únicamente con la información de los sitios de muestreo levantados en esta comunidad.

Tabla IV—33. Valores estructurales para el bosque de encino de la CHF

Tipo de vegetación	Bosque de encino
Densidad	738 ind/ha
Área basal	16.04 m ² /ha
Altura promedio	7.24 m
Altura máxima	21.25 m
Diámetro promedio	14.82 cm
Diámetro mayor	65.8 cm

Distribución diamétrica

La mayor proporción de individuos por clase diamétrica se presentó en la clase 10-19.99 cm con el 58.81%, seguido de la clase ≤ 9.99 cm con el 26.02%, lo que indica que existen muchos individuos con diámetros muy pequeños. Por otra parte, las clases que presentan los mayores diámetros (≥ 50 cm) también son las que presenta la menor proporción de individuos con el 0.68%.

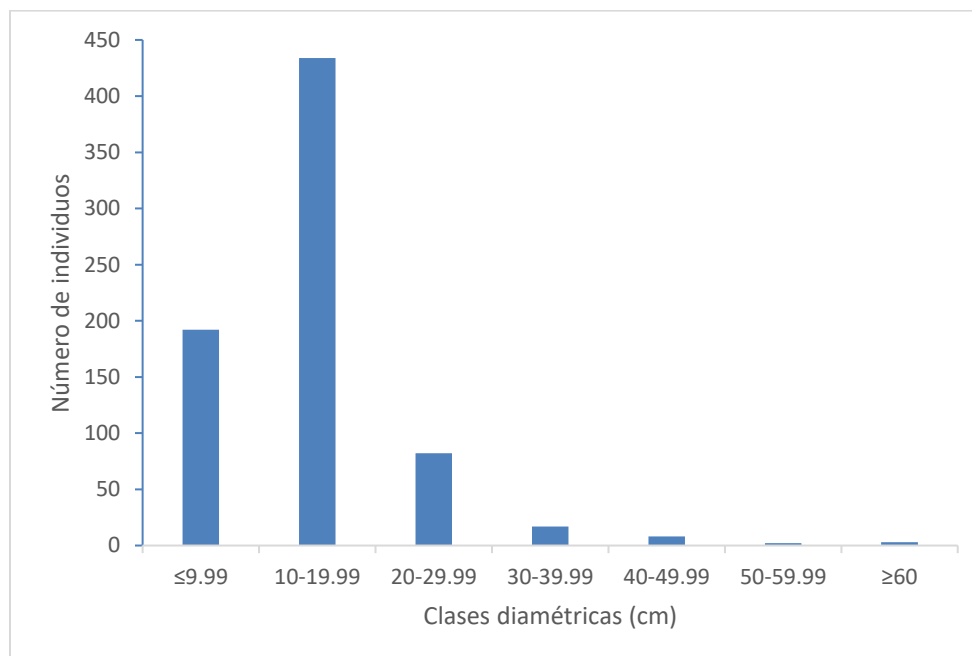


Figura IV—52. Clases diamétricas en el bosque de encino para la CHF

Estratificación vertical

En el bosque de encino se observó un estrato bajo muy bien definido con valores menores a 10 m, un estrato medio con un intervalo de altura entre 10 y 14.99 m y finalmente un estrato alto con individuos mayores a 15 m de altura. En el estrato inferior se encuentra la mayor proporción de individuos arbóreos con el 82.25%, mientras que en el estrato superior se presenta sólo el 2.17% de los individuos registrados y en el estrato medio se encuentra el resto de los individuos en una proporción de 15.58%.

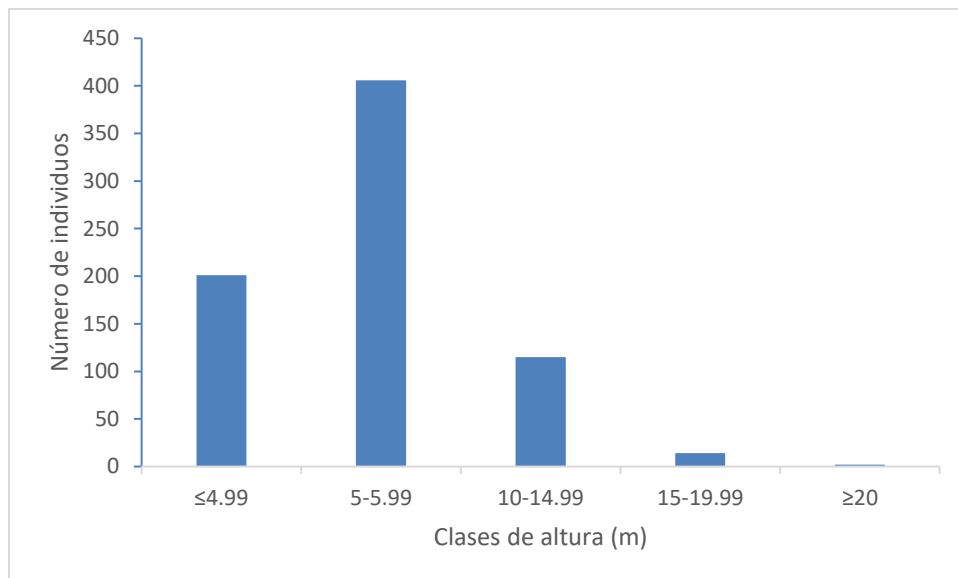


Figura IV—53. Clases de altura para el bosque de encino de la CHF

Composición de especies

Con el levantamiento de sitios de muestreo en la CHF para el bosque de encino, se logró registrar una riqueza taxonómica de 34 especies (incluyendo los tres estratos). Éstas pertenecen a 20 órdenes, 23 familias y 30 géneros. Las familias más importantes por el número de individuos son Fagaceae (641 individuos), Euphorbiaceae y Fabaceae (39 individuos cada una), Poaceae (31 individuos),

Pteridaceae (26 individuos), Pinaceae (23 individuos) y Selaginellaceae (20 individuos), siguiéndole en orden de importancia otras 16 familias con un total de 87 individuos.

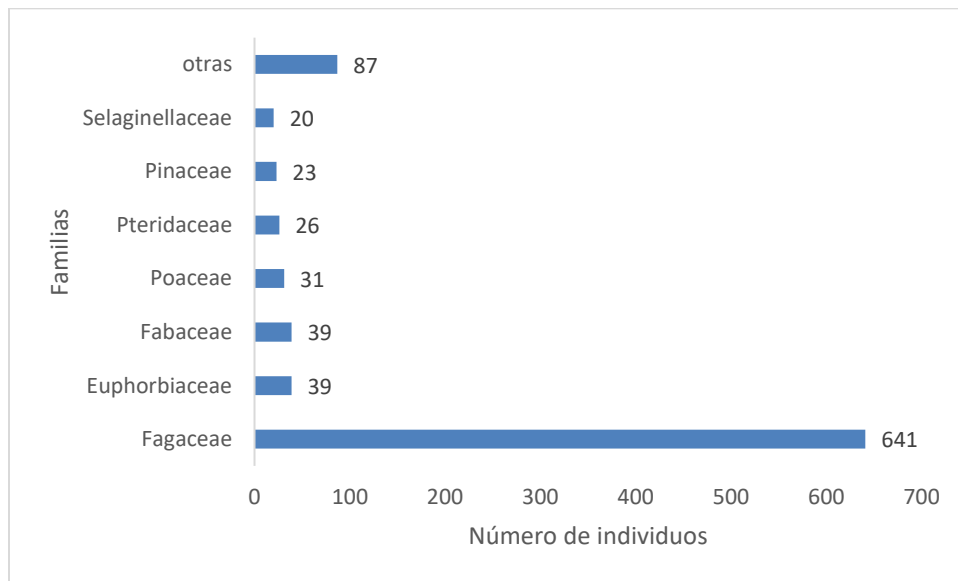


Figura IV—54. Familias dominantes e individuos por familia botánica en el bosque de encino de la CHF

En la siguiente tabla se puede consultar la diversidad taxonómica identificada para el bosque de encino de la CHF, así como el origen de cada especie, su presencia en algún estatus de la NOM-059-SEMARNAT-2010, y si es endémica a la CHF o tiene amplia distribución.

Tabla IV–34. Riqueza taxonómica registrada para los tres estratos de bosque de encino de la CHF

No.	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre Común	Origen	Nom-059	Endemismo
1	Pteridales	Pteridaceae	<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	Cuamaquiztle	Nativa	-	No endémica
2	Asterales	Asteraceae	<i>Ageratina</i> sp.	Ageratina	Nativa	-	No endémica
3	Ericales	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Nativa	-	No endémica
4	Asterales	Compositae	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	Escoba chica	Nativa	-	No endémica
5	Sapindales	Burseraceae	<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl.	Copalillo	Nativa	-	Endémica
6	Sapindales	Burseraceae	<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	Copal	Nativa	-	No endémica
7	Fabales	Fabaceae	<i>Calliandra calothyrsus</i> Meisn.	Cabello de ángel	Nativa	-	No endémica
8	Poales	Poaceae	<i>Cenchrus</i> L.	Zacate	Nativa	-	No endémica
9	Cornales	Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i> DC.	Lloró	Nativa	-	No endémica
10	Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Croton adpersus</i> Benth.	Cuahuilotillo	Nativa	-	No endémica
11	Pinales	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Sabino	Nativa	Pr	No endémica
12	Fabales	Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	Palo dulce	Nativa	-	No endémica
13	Asterales	Asteraceae	<i>Fleischmannia</i> sp.	Flor de niebla	Nativa	-	No endémica
14	Lamiales	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno	Nativa	-	No endémica
15	Polypodiales	Pteridaceae	<i>Gaga kaulfussii</i> (Kunze) F.W. Li & Windham	Helecho gaga	Nativa	-	No endémica
16	Pteridales	Pteridaceae	<i>Hemionitis bonariensis</i> (Willd.) Christenh.	Helecho	Nativa	-	No endémica
17	Ericales	Polemoniaceae	<i>Loeselia mexicana</i> Brand	Espinosilla	Nativa	-	No endémica
18	Myrtales	Onagraceae	<i>Lopezia mexicana</i> Jacq.	Perita	Nativa	-	No endémica
19	Polypodiales	Pteridaceae	<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	Helecho dorado	Nativa	-	No endémica
20	Caryophyllales	Cactaceae	<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	Nopal	Nativa	-	Endémica
21	Pinales	Pinaceae	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	pino chino	Nativa	-	No endémica
22	Rosales	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulín	Nativa	-	No endémica
23	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	Encino	Nativa	-	Endémica

No.	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre Común	Origen	Nom-059	Endemismo
24	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	Encino amarillo	Nativa	-	No endémica
25	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	Quiebra hacha	Nativa	-	No endémica
26	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus</i> sp.	Encinillo	Nativa	-	No endémica
27	Lamiales	Lamiaceae	<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	Alucema	Nativa	-	No endémica
28	Selaginellales	Selaginellaceae	<i>Selaginella pallescens</i> (C. Presl) Spring	Doradilla	Nativa	-	No endémica
29	Ericales	Styracaceae	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	Jaboncillo	Nativa	-	No endémica
30	Ericales	Pentaphylacaceae	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	Flor de tila	Exótica	-	No endémica
31	Hypnales	Thuidiaceae	<i>Thuidium</i> sp.	Musgo thuidium	Nativa	-	No endémica
32	Fabales	Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	Nativa	-	No endémica
33	Asterales	Asteraceae	<i>Verbesina virginica</i> L.	Bara blanca	Nativa	-	No endémica
34	Malpighiales	Salicaceae	<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	Granadillo	Nativa	-	No endémica

Análisis de la riqueza, estructura y diversidad por estrato

Con los resultados obtenidos en el trabajo de campo de los sitios ubicados sobre este tipo de vegetación, se realizó el análisis de los parámetros ecológicos para cada uno de los estratos.

El estrato superior (arbóreo) registró una riqueza taxonómica de 17 especies pertenecientes a 13 familias y 14 géneros. Las familias mejor representadas son Fagaceae con tres especies, y Burseraceae y Fabaceae con dos especies cada una, mientras que el resto de las familias están representadas por una sola especie. La abundancia total en este estrato fue de 738 individuos registrados en los 10 sitios de muestreo que, en términos de superficie, representan una densidad de 738 ind ha⁻¹. Las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) fueron: *Quercus deserticola* Trel. (43.33), *Quercus rugosa* Née (17.27) y *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (10.56).

El estrato intermedio (arbustivo) tuvo una riqueza taxonómica de 13 especies pertenecientes a nueve familias y 13 géneros. Las familias mejor representadas fueron Fabaceae y Asteraceae con tres especies cada una, en tanto el resto de las familias estuvieron representadas por una especie. La abundancia total en este estrato está representada por 36 individuos registrados en los 10 sitios de muestreo, lo que determina una densidad de 2,250 ind. ha⁻¹. Las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) en este estrato fueron: *Verbesina virginica* L. (25.16), *Croton adspersus* Benth. (11.59) y *Loeselia mexicana* (Lam.) Brand (10.28).

Finalmente, en el estrato inferior (herbáceo) se registró una riqueza taxonómica de 13 especies dispuestas en 10 familias y 13 géneros. La familia mejor representada es Pteridaceae con cuatro especies, y el resto de las familias están representadas por una sola especie. La abundancia total en este estrato está representada por 132 individuos registrados en 10 sitios de muestreo, lo que determina una densidad de 132,000 ind. ha⁻¹. Las especies con mayor IVI fueron: *Cenchrus* L. (22.71), *Croton adspersus* Benth. (19.21) y *Adiantum andicola* Liebm. (13.71).

Tabla IV—35. Parámetros ecológicos (densidad, dominancia y frecuencia) absolutos y relativos, e índice de valor de importancia (IVI) para cada estrato de las especies del bosque de encino de la CHF

No.	Especie	Densidad		Dominancia		Frecuencia		IVI (100%)
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	
ESTRATO SUPERIOR (ARBÓREO)								
1	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	0.00120	1.62602	0.50542	3.15131	0.400	8.51064	4.43
2	<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl.	0.00030	0.40650	0.03748	0.23371	0.100	2.12766	0.92
3	<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	0.00020	0.27100	0.04660	0.29054	0.200	4.25532	1.61
4	<i>Cornus disciflora</i> DC.	0.00030	0.40650	0.03049	0.19010	0.100	2.12766	0.91
5	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	0.00030	0.40650	0.09715	0.60574	0.100	2.12766	1.05
6	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	0.00160	2.16802	0.13235	0.82520	0.200	4.25532	2.42
7	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	0.00020	0.27100	0.06781	0.42281	0.100	2.12766	0.94
8	<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	0.00050	0.67751	0.07008	0.43698	0.200	4.25532	1.79
9	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	0.00230	3.11653	2.87704	17.93843	0.500	10.63830	10.56
10	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	0.00010	0.13550	0.01094	0.06819	0.100	2.12766	0.78
11	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	0.04280	57.99458	8.13372	50.71410	1.000	21.27660	43.33
12	<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	0.00730	9.89160	1.07567	6.70682	0.400	8.51064	8.37
13	<i>Quercus rugosa</i> Née	0.01370	18.56369	2.60183	16.22254	0.800	17.02128	17.27
14	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	0.00090	1.21951	0.11782	0.73462	0.100	2.12766	1.36
15	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	0.00030	0.40650	0.05466	0.34080	0.100	2.12766	0.96
16	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	0.00140	1.89702	0.14948	0.93199	0.200	4.25532	2.36
17	<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	0.00040	0.54201	0.02985	0.18613	0.100	2.12766	0.95
Total		0.07380	100.00	16.0384	100.00	4.700	100.00	100.00
ESTRATO MEDIO (ARBUSTIVO)								
1	<i>Ageratina</i> sp.	0.0063	2.7778	0.1626	1.0984	0.1000	5.8824	3.25
2	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	0.0125	5.5556	0.2597	1.7542	0.2000	11.7647	6.36
3	<i>Calliandra calothyrsus</i> Meisn.	0.0125	5.5556	0.4466	3.0168	0.1000	5.8824	4.82
4	<i>Croton adspersus</i> Benth.	0.0375	16.6667	1.8096	12.2237	0.1000	5.8824	11.59

No.	Especie	Densidad		Dominancia		Frecuencia		IVI (100%)
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	
5	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	0.0188	8.3333	1.0667	7.2054	0.1000	5.8824	7.14
6	<i>Fleischmannia</i> sp.	0.0063	2.7778	0.1018	0.6876	0.1000	5.8824	3.12
7	<i>Loeselia mexicana</i> Brand	0.0188	8.3333	0.7173	4.8457	0.3000	17.6471	10.28
8	<i>Quercus</i> sp.	0.0188	8.3333	0.5419	3.6603	0.1000	5.8824	5.96
9	<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	0.0063	2.7778	0.0908	0.6133	0.1000	5.8824	3.09
10	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	0.0188	8.3333	0.3905	2.6376	0.1000	5.8824	5.62
11	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	0.0125	5.5556	0.6758	4.5653	0.1000	5.8824	5.33
12	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	0.0125	5.5556	1.9886	13.4335	0.1000	5.8824	8.29
13	<i>Verbesina virginica</i> L.	0.0438	19.4444	6.5519	44.2582	0.2000	11.7647	25.16
Total		0.2250	100.00	14.8037	100.00	1.7000	100.00	100.00
ESTRATO INFERIOR (HERBÁCEO)								
1	<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	0.9000	6.8182	1.6717	28.4180	0.1000	5.8824	13.71
2	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	0.1000	0.7576	0.0491	0.8345	0.1000	5.8824	2.49
3	<i>Calliandra calothyrsus</i> Meisn.	0.2000	1.5152	0.7121	12.1050	0.1000	5.8824	6.50
4	<i>Cenchrus</i> L.	3.1000	23.4848	1.9337	32.8735	0.2000	11.7647	22.71
5	<i>Croton adspersus</i> Benth.	3.3000	25.0000	0.5346	9.0878	0.4000	23.5294	19.21
6	<i>Gaga kaulfussii</i> (Kunze) F.W. Li & Windham	0.4000	3.0303	0.1472	2.5024	0.1000	5.8824	3.81
7	<i>Hemionitis bonariensis</i> (Willd.) Christenh.	0.3000	2.2727	0.1701	2.8913	0.1000	5.8824	3.68
8	<i>Loeselia mexicana</i> Brand	0.1000	0.7576	0.0071	0.1205	0.1000	5.8824	2.25
9	<i>Lopezia mexicana</i> Jacq.	1.5000	11.3636	0.2104	3.5772	0.1000	5.8824	6.94
10	<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	1.0000	7.5758	0.2062	3.5051	0.1000	5.8824	5.65
11	<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	0.1000	0.7576	0.0104	0.1766	0.1000	5.8824	2.27
12	<i>Selaginella pallescens</i> (C. Presl) Spring	2.0000	15.1515	0.2050	3.4848	0.1000	5.8824	8.17
13	<i>Thuidium</i> sp.	0.2000	1.5152	0.0249	0.4232	0.1000	5.8824	2.61
Total		13.2000	100.00	5.8824	100.00	1.7000	100.00	100.00

Con respecto a la diversidad, la abundancia total registrada para los tres estratos fue de 906 individuos, siendo *Quercus deserticola* Trel. (428 individuos) y *Quercus rugosa* Née (137 individuos) las especies dominantes. A su vez, la riqueza total fue de 34 especies, con un índice de Shannon-Wiener de $H' = 2.08$, lo que indica que la diversidad de este tipo de vegetación en la CHF es media, al igual que la repartición de los individuos entre las especies, es decir, el índice de equidad fue de Pielou $J' = 0.5905$.

Tabla IV—36. Abundancia, riqueza, diversidad y equidad de los tres estratos que componen el bosque de encino de la CHF

Nombre científico	No. de Individuos	Riqueza	Abundancia Relativa	ln(Pi)	índice Shannon	índice Shannon	índice de Pielou
<i>Adiantum andicola</i> Liebm.	9	34	0.0099	-4.6118	-0.0458	2.08	0.5905
<i>Ageratina</i> sp.	1		0.0011	-6.8090	-0.0075		
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	12		0.0132	-4.3241	-0.0573		
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Bursera cuneata</i> (Schltdl.) Engl.	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	2		0.0022	-6.1159	-0.0135		
<i>Calliandra calothyrsus</i> Meisn.	4		0.0044	-5.4227	-0.0239		
<i>Cenchrus</i> L.	31		0.0342	-3.3751	-0.1155		
<i>Cornus disciflora</i> DC.	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Croton adspersus</i> Benth.	39		0.0430	-3.1455	-0.1354		
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	19		0.0210	-3.8646	-0.0810		
<i>Fleischmannia</i> sp.	1		0.0011	-6.8090	-0.0075		
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	2		0.0022	-6.1159	-0.0135		
<i>Gaga kaulfussii</i> (Kunze) F.W. Li & Windham	4		0.0044	-5.4227	-0.0239		
<i>Hemionitis bonariensis</i> (Willd.) Christenh.	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Loeselia mexicana</i> Brand	4		0.0044	-5.4227	-0.0239		
<i>Lopezia mexicana</i> Jacq.	15		0.0166	-4.1010	-0.0679		
<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	10		0.0110	-4.5065	-0.0497		
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	5		0.0055	-5.1996	-0.0287		
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	23		0.0254	-3.6735	-0.0933		
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	1		0.0011	-6.8090	-0.0075		
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	428		0.4724	-0.7499	-0.3543		
<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	73		0.0806	-2.5186	-0.2029		
<i>Quercus rugosa</i> Née	137	0.1512	-1.8891	-0.2857			

Nombre científico	No. de Individuos	Riqueza	Abundancia Relativa	ln(Pi)	índice Shannon	índice Shannon	índice de Pielou
<i>Quercus</i> sp.	3		0.0033	-5.7104	-0.0189		
<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	2		0.0022	-6.1159	-0.0135		
<i>Selaginella pallescens</i> (C. Presl) Spring	20		0.0221	-3.8133	-0.0842		
<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	12		0.0132	-4.3241	-0.0573		
<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	5		0.0055	-5.1996	-0.0287		
<i>Thuidium</i> sp.	2		0.0022	-6.1159	-0.0135		
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	16		0.0177	-4.0365	-0.0713		
<i>Verbesina virginica</i> L.	7		0.0077	-4.8631	-0.0376		
<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	4		0.0044	-5.4227	-0.0239		
	906		1.0000	H' calculada	2.0822		

IV.2.4.1.9 Estructura y composición del bosque de encino-pino en la CHF del proyecto

Estructura de la comunidad

Para analizar la estructura del bosque de encino-pino, se calculó la densidad de árboles y el área basal por hectárea. Además, se presentan las alturas y los diámetros promedio para el componente arbóreo únicamente con la información de los sitios de muestreo levantados en esta comunidad.

Tabla IV—37. Valores estructurales para el bosque de encino-pino de la CHF

Tipo de vegetación	Bosque de encino-pino
Densidad	555 ind/ha
Área basal	9.80 m ² /ha
Altura promedio	10.51 m
Altura máxima	28 m
Diámetro promedio	20.10 cm
Diámetro máximo	65 cm

Distribución diamétrica

La mayor proporción de individuos por clase diamétrica se presentó en la clase 10 – 19.99 cm con el 48.20%, seguida de la clase 20 – 29.99 cm con el 19.37%, lo que indica que existen muchos individuos con diámetros muy pequeños. Por otra parte, las clases que presentan los mayores diámetros (mayor a 50 cm) también son las que presenta la menor proporción de individuos con el 3.60%.

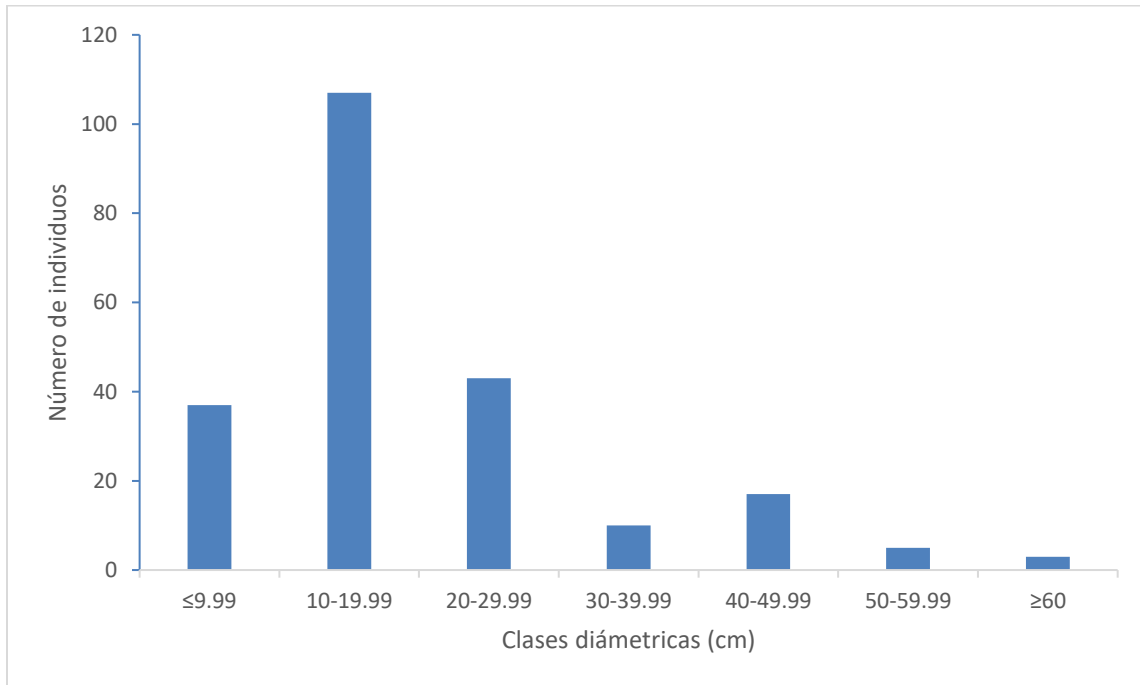


Figura IV—55. Clases diamétricas en el bosque de encino-pino para la CHF

Estratificación vertical

En el bosque de encino-pino se observó un estrato bajo muy bien definido y abundante con valores menores a 10 m, un estrato medio con un intervalo de altura entre 10 a 19.99 m y, finalmente, un estrato alto con individuos mayores a 20 m de altura. En el estrato inferior se encuentra la mayor proporción de individuos arbóreos con el 56.76%, mientras que en el estrato superior se presenta el 5.86% de los individuos registrados y en el estrato medio se presenta el resto de los individuos (37.39%).

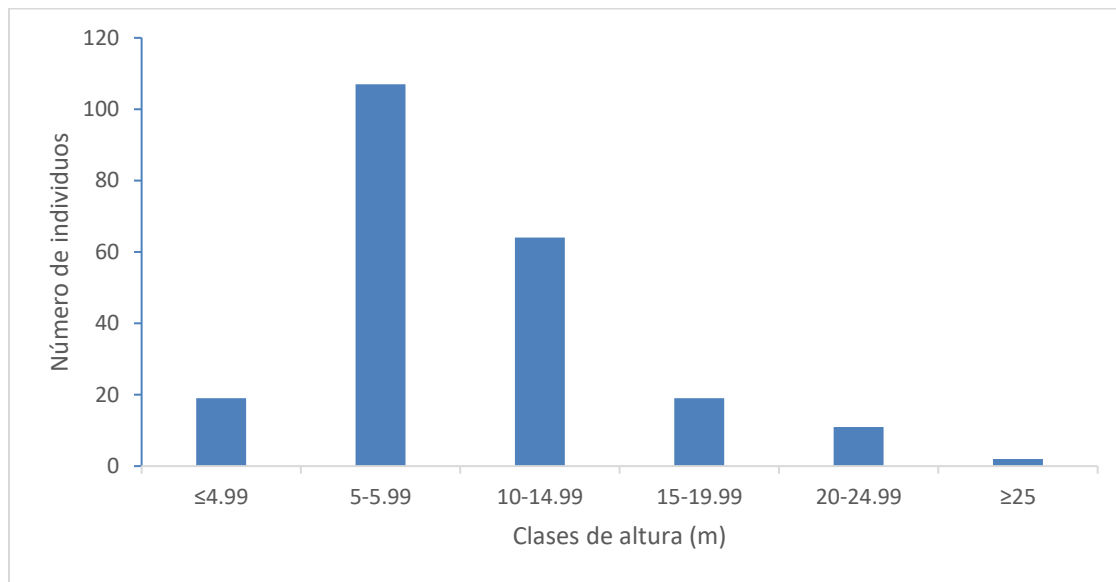


Figura IV—56. Clases de altura para el bosque de encino-pino de la CHF

Composición de especies

Con el levantamiento de sitios de muestreo en la CHF para el bosque de encino-pino se logró registrar una riqueza taxonómica de 14 especies (incluyendo los tres estratos). Éstas pertenecen a nueve órdenes, 11 familias y 11 géneros. Las familias más importantes por el número de individuos son Fagaceae (93 individuos), Pinaceae (70 individuos), Styracaceae (24 individuos), Ericaceae (14 individuos) y Pentaphylacaceae (12 individuos), siguiendo en orden de importancia otras ocho familias con un total de 17 individuos.

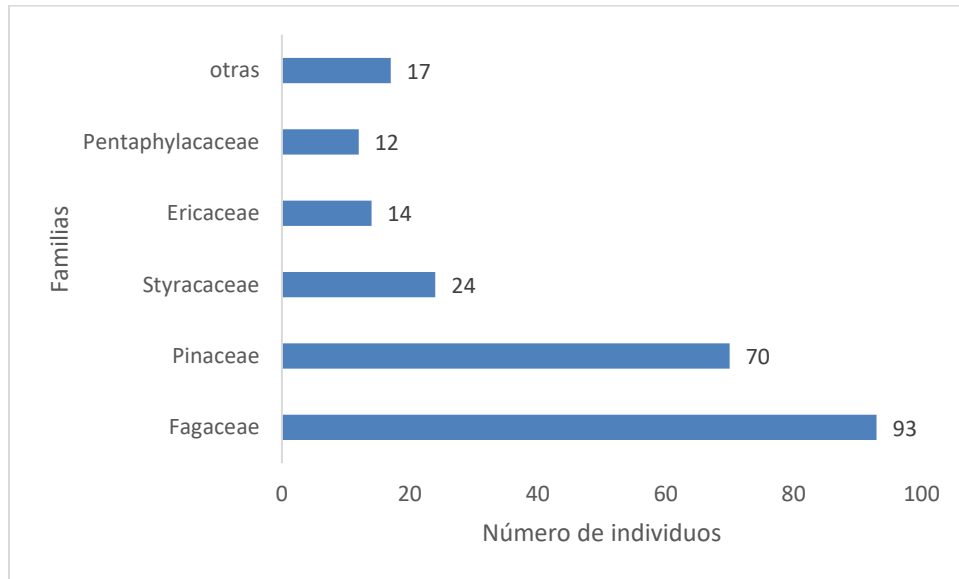


Figura IV—57. Familias dominantes e individuos por familia botánica en el bosque de encino-pino de la CHF

En la siguiente tabla se puede consultar la diversidad taxonómica identificada para el bosque de encino-pino de la CHF, así como el origen de cada especie, su presencia en algún estatus de la NOM-059-SEMARNAT-2010, y si es endémica a la CHF o tiene amplia distribución.

Tabla IV—38. Riqueza taxonómica registrada para los tres estratos del bosque de encino-pino en la CHF

No.	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre Común	Origen	NOM-059	Endemismo
1	Ericales	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Nativa	-	No endémica
2	Asterales	Compositae	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	Escoba chica	Nativa	-	No endémica
3	Hypnales	Brachytheciaceae	<i>Bryoandersonia</i> sp.	Musgo	Nativa	-	No endémica
4	Cornales	Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i> DC.	Lloró	Nativa	-	No endémica
5	Garryales	Garryaceae	<i>Garrya longifolia</i> Rose	Palo azul	Nativa	-	Endémica
6	Aquifoliales	Aquifoliaceae	<i>Ilex brandegeana</i> Loes	Frutilla	Nativa	-	No endémica
7	Pinales	Pinaceae	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl.	pino chino	Nativa	-	No endémica
8	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl	Encino blanco	Nativa	-	No endémica
9	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	Encino	Nativa	-	Endémica
10	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	Encino amarillo	Nativa	-	No endémica
11	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	Quiebra hacha	Nativa	-	No endémica
12	Ericales	Styracaceae	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	Jaboncillo	Nativa	-	No endémica
13	Ericales	Pentaphylacaceae	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	Flor de tila	Exótica	-	No endémica
14	Malvales	Malvaceae	<i>Tilia americana</i> L. var. Mexicana	Tilo americano	Nativa	P	Endémica

Análisis de la riqueza, estructura y diversidad por estrato

Con los resultados obtenidos en el trabajo de campo de los sitios ubicados sobre este tipo de vegetación, se realizó el análisis de los parámetros ecológicos para cada uno de los estratos.

El estrato superior (arbóreo) registró una riqueza taxonómica de 12 especies pertenecientes a nueve familias y nueve géneros. La familia mejor representada es Fagaceae con cuatro especies, mientras que el resto de las familias están representadas por una sola. La abundancia total en este estrato está representada por 222 individuos registrados en los cuatro sitios de muestreo, que, en términos de superficie, representan una densidad de 555 ind ha⁻¹. Las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) fueron: *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (34.44), *Quercus crassifolia* Bonpl (13.39) y *Quercus rugosa* Née (9.28).

El estrato intermedio (arbustivo) tuvo una riqueza taxonómica de tres especies pertenecientes a tres familias y tres géneros. Las familias registradas fueron: Compositae, Pentaphylacaceae y Styracaceae, todas ellas representadas por una especie. La abundancia total en este estrato está representada por siete individuos registrados en cuatro sitios de muestreo, lo que determina una densidad de 1,094 ind ha⁻¹. Las especies que presentaron el mayor índice de valor de importancia (IVI) en este estrato fueron: *Baccharis heterophylla* Kunth (46.17) y *Ternstroemia lineata* DC (28.85).

Finalmente, en el estrato inferior (herbáceo) se registró una riqueza taxonómica determinada por una sola especie (*Bryoandersonia* sp.) dispuesta claramente en una sola familia y un género. La familia a la que corresponde esta especie es Brachytheciaceae. La abundancia total en este estrato está representada por un individuo registrado en los cuatro sitios de muestreo, lo que determina una densidad de 2,500 ind ha⁻¹. Obviamente la especie con el mayor índice de valor de importancia fue *Bryoandersonia* sp. con el 100%.

Tabla IV—39. Parámetros ecológicos (densidad, dominancia y frecuencia) absolutos y relativos, e índice de valor de importancia (IVI) para cada estrato del bosque de encino-pino de la CHF

No.	Especie	Densidad		Dominancia		Frecuencia		IVI (100%)
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	
ESTRATO SUPERIOR (ARBÓREO)								
1	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	0.0035	6.3063	0.2855	2.9145	0.5000	8.000	5.74
2	<i>Cornus disciflora</i> DC.	0.0005	0.9009	0.0198	0.2018	0.5000	8.000	3.03
3	<i>Garrya longifolia</i> Rose	0.0008	1.3514	0.0240	0.2447	0.2500	4.000	1.87
4	<i>Ilex brandegeana</i> Loes	0.0003	0.4505	0.3318	3.3872	0.2500	4.000	2.61
5	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	0.0175	31.5315	5.4653	55.7875	1.0000	16.000	34.44
6	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl	0.0118	21.1712	1.6450	16.7915	0.2500	4.000	13.99
7	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	0.0023	4.0541	0.1955	1.9958	0.5000	8.000	4.68
8	<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	0.0043	7.6577	0.6703	6.8419	0.7500	12.000	8.83
9	<i>Quercus rugosa</i> Née	0.0050	9.0090	0.6683	6.8215	0.7500	12.000	9.28
10	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	0.0055	9.9099	0.2502	2.5542	0.5000	8.000	6.82
11	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	0.0023	4.0541	0.1017	1.0382	0.5000	8.000	4.36
12	<i>Tilia americana</i> L. var. mexicana	0.0020	3.6036	0.1392	1.4213	0.5000	8.000	4.34
Total		0.0555	100.00	9.7966	100.00	6.2500	100.00	100.00
ESTRATO MEDIO (ARBUSTIVO)								
1	<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	0.0417	28.5714	1.8982	76.6085	0.2500	33.3333	46.17
2	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	0.0417	28.5714	0.3228	13.0287	0.2500	33.3333	24.98
3	<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	0.0625	42.8571	0.2568	10.3629	0.2500	33.3333	28.85
Total		0.14583	100.000	2.47775	100.00	0.75000	100.00	100.00
ESTRATO INFERIOR (HERBÁCEO)								
1	<i>Bryoandersonia</i> sp.	0.0208	100.00	0.1018	100.00	0.2500	100.00	100.00
Total		0.02083	100.00	0.10179	100.00	0.25000	100.00	100.00

Con respecto a la diversidad, la abundancia total registrada para los tres estratos fue de 230 individuos, siendo *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (70 individuos), *Quercus crassifolia* Bonpl (47 individuos) y *Styrax argenteus* C. Presl (24 individuos) las especies dominantes. A su vez, la riqueza total fue de 14 especies, con un índice de Shannon-Wiener de $H' = 2.08$, lo que indica que la diversidad de este tipo de vegetación en la CHF es de media a baja. La repartición de los individuos entre las especies es relativamente uniforme con un índice de equidad de Pielou $J' = 0.7888$.

Tabla IV—40. Abundancia, riqueza diversidad y equidad de los tres estratos que componen el bosque de encino-pino de la CHF

Nombre científico	No. de Individuos	Riqueza	Abundancia Relativa	ln(Pi)	índice Shannon	índice Shannon	índice de Pielou
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	14	14	0.0609	-2.7990	-0.1704	2.08	0.7888
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	2		0.0087	-4.7449	-0.0413		
<i>Bryoandersonia</i> sp.	1		0.0043	-5.4381	-0.0236		
<i>Cornus disciflora</i> DC.	2		0.0087	-4.7449	-0.0413		
<i>Garrya longifolia</i> Rose	3		0.0130	-4.3395	-0.0566		
<i>Ilex brandegeean</i> Loes	1		0.0043	-5.4381	-0.0236		
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schldl. & Cham.	70		0.3043	-1.1896	-0.3620		
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl	47		0.2043	-1.5879	-0.3245		
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	9		0.0391	-3.2409	-0.1268		
<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	17		0.0739	-2.6049	-0.1925		
<i>Quercus rugosa</i> Née	20		0.0870	-2.4423	-0.2124		
<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	24		0.1043	-2.2600	-0.2358		
<i>Ternstroemia lineata</i> DC.	12		0.0522	-2.9532	-0.1541		
<i>Tilia americana</i> L. var. mexicana	8		0.0348	-3.3586	-0.1168		
	230		1.000	H' calculada	2.0818		

IV.2.4.1.10 Análisis forestal, estatus de protección legal de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 y endemismo de las especies presentes en la CHF delimitada para el proyecto

Conforme a los estudios, diagnósticos de campo y resultados obtenidos en el presente estudio, los dos tipos de vegetación representados en la CHF exhiben una diversidad de especies considerada como media; sin embargo, estructuralmente son comunidades vegetales con cierto grado de fragmentación y algunas alteraciones en su composición florística por actividades agrícolas y pecuarias, razón por la que algunas superficies de los tipos de vegetación registrados pueden contar con la presencia de vegetación secundaria.

Por otro lado, la revisión del estatus de especies bajo categorías de protección se realizó conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (última actualización de 2019, SEMARNAT, 2019). Con los resultados obtenidos del levantamiento de información florística en la CHF, se registraron **dos especies enlistadas en la citada norma**: una bajo Protección Especial (*Cupressus lusitanica* Mill.) y otra En Peligro de Extinción (*Tilia americana* L. var. *mexicana*); esta última es endémica para el país (Villaseñor, 2016). Con respecto al nivel de endemismos, en la CHF se registraron cinco especies endémicas al país (Villaseñor, 2016): *Bursera cuneata* (Schltdl.) Engl.; *Garrya longifolia* Rose; *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck; *Quercus deserticola* Trel. y *Tilia americana* L. var. *mexicana*.

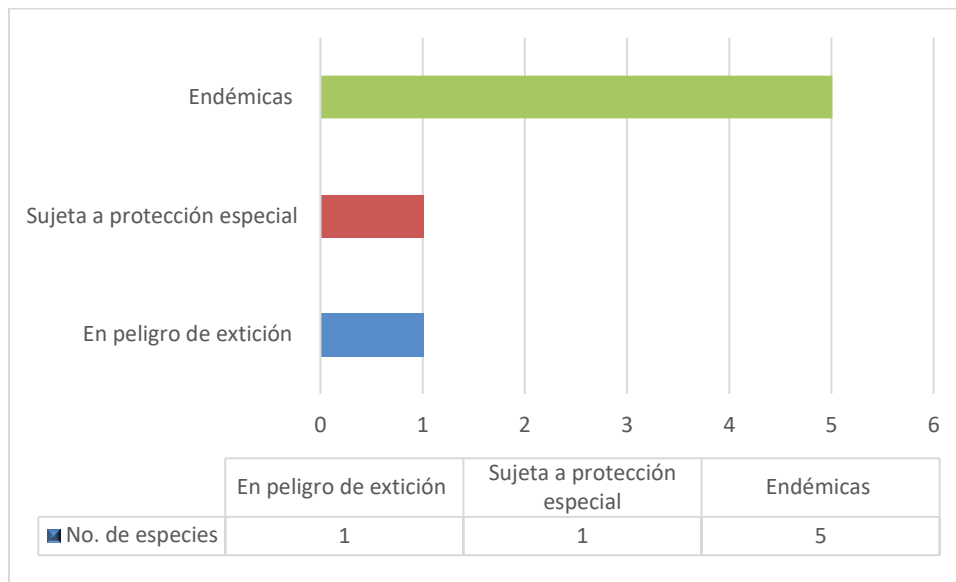


Figura IV—58. Número de especies endémicas y/o bajo alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas en la CHF

IV.2.4.2 Fauna

En este apartado se presentan los resultados de los levantamientos de información en campo relativos a la fauna que habita en la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF) del proyecto.

IV.2.4.2.1 Antecedentes faunísticos

México es un país que posee una gran importancia biológica en cuanto a fauna se refiere, ello debido a su compleja historia geológica y a su posición geográfica, que le dan un carácter único, ya que en el país se ha llevado a cabo un intercambio faunístico que no tiene comparación con alguna otra región del planeta (Maldonado-González, 2008). En particular, este aspecto destaca en ciertos grupos. Por ejemplo, se ubica en el quinto lugar en la diversidad de anfibios con un total de 376 especies (Parra-Olea *et al.*, 2014) y ocupa el primer lugar mundial en reptiles, de manera que en México existen 864 especies que representan el 8.7% del total

mundial (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014). Además, tiene el tercer lugar en mamíferos silvestres con 525 especies (Ceballos y Oliva, 2005).

En cuanto al grupo de las aves, la riqueza reportada por distintos autores varía de entre 1,123 (AOU, 2013) a 1,150 (Gill y Donsker, 2013), lo que representa alrededor del 11% a nivel mundial, colocando a México en el onceavo país con mayor riqueza avifaunística del mundo (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014). México es, además, un importante corredor migratorio y sitio de invernación para más del 50% de especies de aves que se reproducen en E.U. y Canadá, y que durante el invierno migran hacia latitudes menores (Ramamoorthy *et al.*, 1998; Challenger, 1998).

El estado de Michoacán de Ocampo tiene una gran importancia biológica que reside en su ubicación, ya que se encuentra influenciada por las zonas biogeográficas neártica y neotropical, y en su territorio confluyen las provincias fisiográficas Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. Esta situación geográfica permite albergar una gran variedad de climas y cambios topográficos que se ven reflejados directamente en la diversidad de ecosistemas, así como en la riqueza de especies animales y vegetales.

A nivel estatal, el número de anfibios que se tiene registrado hasta el año de 2005 es de 42 especies (Huacuz-Elías, 2005), que representan el 11% del total de especies registradas en el país. En lo que respecta a los reptiles, se han registrado 139 especies para el estado (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014), que representan el 16% del total de especies de reptiles en México.

En el caso de la mastofauna, se tienen registradas 161 especies de mamíferos terrestres para el estado de Michoacán (Monterrubio *et al.*, 2014), que representan el 28.5% del total registrado para el país. En el caso de las aves, se tienen registradas 547 especies (Villaseñor-Gómez, 2005), que representan aproximadamente el 51% del total de registros para México.

A nivel regional, el área del proyecto se encuentra en la región fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal, que es reconocida por su alta concentración de endemismos de varios grupos de vertebrados (Ceballos, 2010).

Herpetofauna

Las publicaciones que se han referido a los anfibios y reptiles de Michoacán son principalmente de carácter taxonómico, aunque abordan algunos aspectos ecológicos y de distribución (Smith, 1942; Duellman, 1956; Hartweg, 1960; Campbell y Murphy, 1977; Campbell y Lamar, 1989).

La herpetofauna de la entidad ha sido estudiada en su totalidad o por grupos específicos mediante el trabajo de diversos autores desde mediados del siglo pasado: Smith y Taylor (1945), Peters (1954), Duellman (1961 y 1965), Álvarez y Díaz-Pardo (1983), Guzmán (1993), Huacúz (1995), Alvarado y Huacúz (1996) y Estrada (2001).

Entre los primeros esfuerzos por describir la herpetofauna del estado se encuentra el trabajo realizado por Schmidt y Shannon (1947) en la región de Tancítaro-Apatzingán, en el cual abarcan un intervalo altitudinal considerable para lograr una mejor descripción de la zona. Mencionan un total de 11 anfibios, y 49 reptiles.

Con base en los resultados del conjunto de estudios citados, en el estado de Michoacán se han registrado 42 especies de anfibios de nueve familias, lo que representa el 14.48% de las conocidas para el país. Pertenecientes al orden Anura (ranas) se cuenta con registros de 34 especies, mientras que del orden Urodela (salamandras, ajolotes o achoques) se tiene conocimiento de ocho especies (CONABIO, 2005).

Estas cifras pueden variar dependiendo del criterio del autor. Por ejemplo, de acuerdo con Flores-Villela (1998) y Salgado (2002), a partir de datos provenientes de las bases del Sistema Nacional de Biodiversidad SNIB CONABIO, se aceptan 48 especies de anfibios pertenecientes a ocho familias. En cuanto a los reptiles registrados en la entidad, se han reportado 138 especies, de las cuales 13 son endémicas (CONABIO, 2005).

Los esfuerzos por incrementar el conocimiento de la herpetofauna del Estado son esporádicos, aunque existen algunos trabajos en la última década. Por ejemplo, Reyna-Álvarez *et al.* (2010) registraron ocho especies de anfibios, dos de tortugas, 18 de lagartijas, 18 especies de serpientes y un anfisbénido en el municipio de Huetamo, Michoacán.

Medina-Aguilar y colaboradores (2011) realizaron un inventario faunístico en seis tipos de vegetación diferentes. Registraron 28 especies de anfibios y 53 de reptiles. Marroquín-Páramo y colaboradores (2017) realizan una comparación entre áreas perturbadas por monocultivos y áreas conservadas. Los autores registraron un total de 46 especies, de las cuales 13 correspondieron a anfibios y 33 a reptiles.

Torres-López, M., y colaboradores en 2022 presentan información sobre la estructura y distribución de los ensamblajes herpetofaunísticos en diferentes tipos de vegetación (bosque de pino-encino (PE), selva baja caducifolia (SB), bosque de Sabal (*Sabal pumus*) (SP) y huertas de aguacate (*Persea americana*) (HA) en el municipio de Ario de Rosales, Michoacán; obteniendo que la riqueza total (gama) del paisaje se caracterizó por incluir 54 especies (18 anfibios, 17 serpientes, 16 lagartijas y 3 tortugas).

Suazo-Ortuño y colaboradores presentan una guía de campo de anfibios y reptiles del municipio de Morelia en la cual reportan 16 especies de anfibios, 12 de lagartijas, dos de tortugas y 30 de serpientes.

Mastofauna

El estudio de la mastofauna en el estado de Michoacán se inicia con los estudios de Allen (1895), que reportó nuevas especies de roedores y el de Goldman (1918), que describió roedores del género *Oryzomys*.

Hall y Villa (1950), en diversas regiones de Tierra Caliente y la cuenca del Balsas-Tepalcatepec, realizaron estudios que describen la composición faunística conocida en ese momento para Michoacán, publicando el primer listado de mamíferos para

el Estado. Baker y Alcorn (1953) publicaron el primer estudio sobre musarañas basándose en restos de egagrópilas para el estado. Álvarez y Aviña (1965) reportan por primera vez para Michoacán los murciélagos *Rhogeessa tumida* y *R. parvula*. Álvarez y Ramírez Pulido (1968) describen una nueva subespecie de ardilla terrestre del género *Spermophilus* al oeste del Río Balsas.

La Val (1973) realizó un estudio de variación interespecífica de los géneros *Rhogeessa* y *Baedon*, describiendo los rasgos característicos de las especies comprendidas en el género *Rhogeessa* y registrando una nueva especie de murciélago, *Rhogeessa mira*, que se encuentra únicamente en el área de Infiernillo. Carleton (1977) efectuó un estudio al suroeste de la entidad, proporcionando información acerca de la distribución y morfología de las poblaciones del grupo *Peromyscus boylii*, obteniendo un nuevo registro de *Peromyscus winkelmanii* en las localidades de Aguililla y Dos Aguas.

Uribe-Peña *et al.* (1981) realizaron una colecta de vertebrados en el rancho “El Reparito”, municipio de Arteaga. Hall (1981) realiza una obra donde describe la distribución, taxonomía y descripción de las especies de mamíferos de Norte América. Orduña y Salas (1993) identificaron un total de 43 especies de mamíferos en una asociación de pino-encino en la región de la Meseta Tarasca, entre las cuales se encuentran tres especies de tuzas.

Núñez-Garduño (1989) presenta una lista total de 141 especies de mamíferos para Michoacán, describiendo su distribución y menciona dos especies endémicas *Peromyscus winkelmanii* y *Zygogeomys trichopus*.

En la segunda etapa de estudios que se llevó a cabo en los años noventa, las contribuciones más importantes fueron las de Núñez Garduño y Pastrana (1990), que publicaron un manual de identificación de roedores michoacanos. Fa y Morales (1991) analizaron a una escala de ecorregión a los mamíferos y las áreas naturales protegidas del cinturón del Eje Neovolcánico.

Lechuga y Núñez-Garduño (1993) reportan 43 especies de mamíferos silvestres para la región del Valle de los Reyes al noroeste del estado, representando el 28.7%

de la mastofauna michoacana. Orduña (2000) presentó un listado de 142 especies distribuidas según su presencia o ausencia en cada región fisiográfica del estado; también señala que 29 especies pueden ser susceptibles de aprovechamiento cinegético y clasifica a 31 especies como nocivas.

Flores-Oviedo (1996) efectuó un estudio de los mamíferos silvestres de la Tierra Caliente del estado de Michoacán, reportando un total de 82 especies pertenecientes a 51 géneros y 17 familias; las localidades de colecta fueron en los municipios de Aguililla, Apatzingán, Angamacutiro, Nueva Italia, La Huacana, Huetamo y Tuzantla. Álvarez y Sánchez-Casas (1997) presentan una sinopsis de 30 especies de mamíferos del estado, exceptuando quirópteros y roedores, de cada especie mencionan la localidad de colecta, medidas somáticas, estado reproductivo y condiciones de captura.

Álvarez y colaboradores (1998) contribuyen al conocimiento de la mastofauna del estado elaborando un listado de especies basado en especímenes de colección, el cual contiene 148 especies; dentro de las localidades, se mencionan los municipios de Coalcomán y Aguililla. Chávez-León y Rivera (2009) documentaron la riqueza de mamíferos del parque nacional Barrancas del Cupatitzio, registrando un total de 43 especies de mamíferos pertenecientes a 8 órdenes, 16 familias y 32 géneros, reportando la presencia del tigrillo (*Leopardus wiedii*).

Castro Campillo y Ramírez Pulido (2000) hicieron un estudio sistemático de la tuza (*Thomomys umbrinus*). Aguilar-Bahena (2004) realizó un estudio sobre los mamíferos medianos de los alrededores de la comunidad de las Anonas, municipio de Jungapeo, Michoacán, desde un punto de vista etnozoológico, reportando el uso tradicional de las especies. Álvarez (2005) hace la revisión de la especie endémica del área, *P. winkelmanni*.

Monterrubio y colaboradores (2010) hicieron un estudio sobre la distribución y secuencias del citocromo b para el jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), para el estado de Michoacán. Charre-Medellín (2012) efectuó un estudio con cámaras trampa, registrando la actividad de vertebrados que utilizaron manantiales en la

región de la costa de Michoacán, obteniendo la presencia de tres felinos en peligro de extinción (*Panthera onca*, *Leopardus pardalis* y *Leopardus wiedii*); también registró al oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) y dos especies amenazadas (*Herpailurus yagouaroundi* y *Spilogale pygmaea*).

En el caso de los mamíferos, se tienen registrados para el estado de Michoacán 161 especies (Monterrubio *et al.* 2014), dentro de los que destacan el jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Leopardus pardalis*), margay (*Leopardus wiedii*), jaguarundi (*Puma yagouaroundi*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) y la nutria (*Lontra longicaudis*). En el caso de los endemismos, se han registrado para el estado la tuza michoacana (*Zygogeomys trichopus*), el ratón (*Peromyscus winkelmani*) y el murciélago (*Rhogeessa mira*).

De acuerdo con Monterrubio *et al.* (2014), en el estado de Michoacán se distribuyen 41 especies endémicas a México, de las cuales 23 son del orden Rodentia; de estas especies, el ratón de Coalcomán (*Peromyscus winkelmani*) y la tuza de Michoacán (*Zygogeomys trichopus*) son endemismos estatales. Por su parte, los Chiropteros presentan nueve especies endémicas al país y una endémica al Estado, que es el murciélago amarillo de Infiernillo (*Rhogeessa mira*).

Avifauna

Del total de la avifauna mundial, en México está representado un 11% con aproximadamente 1,123 especies, de las cuales cerca de 77% de las especies son aves que ocupan el territorio para reproducción y que habitan en nuestro país de manera permanente. De ellas, un total de entre 194 y 212 son endémicas de México (Navarro Sigüenza *et al.* 2004; 2014).

Para la avifauna comprendida para el estado de Michoacán, destaca el trabajo de Fernando y Laura Villaseñor Gómez (2005), el cual presenta un listado de las especies y subespecies de aves para la entidad. El listado consta de 492 especies pertenecientes a 63 familias, representando el 48.9% del total de la avifauna registrada para la República Mexicana, con un total de 336 especies residentes y

156 migratorias. Las especies terrestres residentes representan poco más de la mitad de la avifauna. Se reconocen 116 especies que son endémicas a Mesoamérica y 15 endémicas a la región árida tropical del oeste de México. Del total de 492 especies del listado, 48 se consideran nuevos registros.

Asimismo, se tiene un estudio sobre la avifauna del parque nacional barranca de Cupatitzio, Michoacán, ubicado en la zona central del estado (Chávez-León 2007) con un total de 128 especies con 93 géneros, 35 familias y 12 órdenes.

Por otro lado, en la misma región, destaca el estudio sobre diversidad de aves de la subcuenca del río Cupatitzio (Villaseñor-Gómez *et al.* 2013), registrando un total de 301 especies de 52 familias.

Otro estudio avifaunístico para la entidad fue el realizado por Herrera y Salgado Ortiz (2014), en el cual registran la diversidad de aves de la cuenca baja del Lago de Cuitzeo, obteniendo un total de 99 especies con 13 órdenes y 32 familias.

IV.2.4.2.2 Metodologías de muestreo de fauna en la CHF

De manera particular, se decidió utilizar a la fauna representada por los vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) como grupo de trabajo sujeto a análisis en este proyecto, ya que son relativamente fáciles de muestrear y se han tipificado como excelentes indicadores de la estabilidad de una zona determinada. Posteriormente, se desarrolló el trabajo de campo, cuyos métodos se describen brevemente más adelante.

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF) del proyecto denominado “*Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca*”. El esfuerzo de muestreo tuvo una duración de siete días efectivos, distribuidos del 12 al 18 de diciembre de 2022; el criterio principal para la selección y ubicación de los sitios de muestreo se fundamentó en el conocimiento práctico de los expertos en diferentes grupos taxonómicos, bajo la primicia de asegurar la completa representatividad de los tipos de vegetación

presentes y de tener una duración estandarizada de los esfuerzos de muestreo en cada una de ellas.

Para la determinación de los vertebrados terrestres, se realizaron transectos en franja, con el apoyo de binoculares, lámparas y guías de campo especializadas sobre los distintos grupos de vertebrados. También 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 fauna silvestre presentes. 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. Por otra parte, mediante el uso de GPS Etrex Garmin, se georreferenció (en UTM) la ubicación de las especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Transecto en franja

El método de transecto de franja consiste en una unidad de muestreo rectangular muy larga y estrecha que debe recorrerse a través de la línea central, tratando de registrar a todos los individuos dentro de la franja muestral de anchura $2W$, que representa el ancho efectivo en ambos lados de la línea del transecto. De acuerdo con Mandujano-Rodríguez (2011), la visibilidad es el principal factor que determina este ancho y, a su vez, la visibilidad es afectada por la cobertura vegetal, el relieve local, la hora (día, noche) y la técnica de muestreo empleada (a pie, caballo, vehículo terrestre o aéreo).

En la siguiente figura se ejemplifica un transecto en franja de 0.5 km de largo y 50 m de ancho ($L=500$ m; $2w= 25$ m) empleados en este estudio. En el esquema, los círculos negros representan los animales que no deben ser contabilizados y los asteriscos representan los animales que se deben contar.

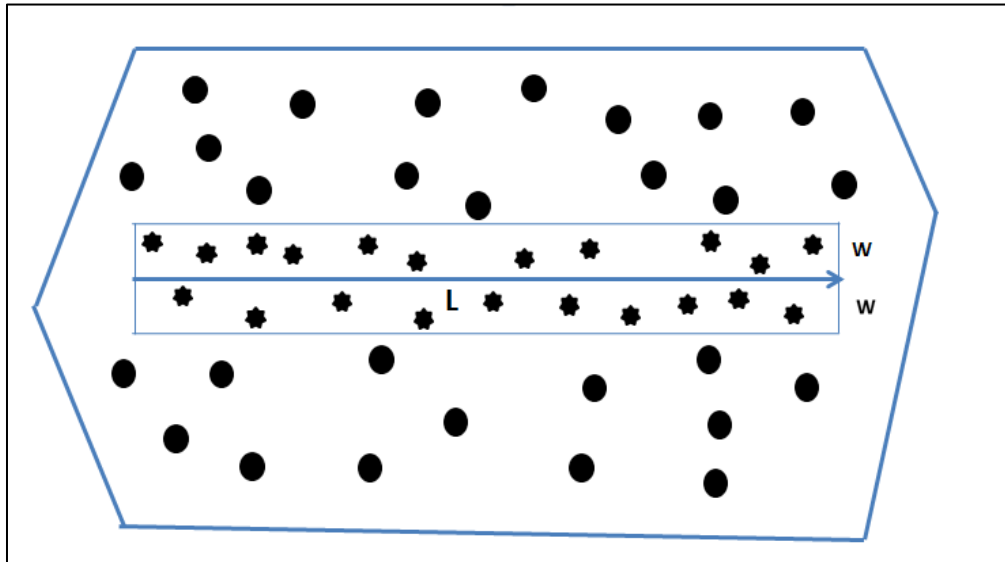


Figura IV—59. Esquema donde se ejemplifica un transecto en franja

Las consideraciones usadas para este tipo de muestreo son las siguientes:

- Todos los individuos contenidos en el área muestreada tienen la misma probabilidad de ser detectados ($p = 1.0$).
- Cualquiera de los individuos está aleatoriamente distribuido sobre el área muestreada, o el transecto fue ubicado de manera aleatoria en el área.
- Todos los individuos (ambos sexos y todas las edades) son igualmente probables de ser ahuyentados. El avistamiento de un organismo no influye en el avistamiento de otros organismos.
- Ningún animal es contado más de una vez.

Este procedimiento de muestreo puede ser aplicado a animales de todos tamaños, en una variedad de hábitat. Incluso animales que ordinariamente están ocultos pueden ser contados si ellos son ahuyentados por el observador. Este método aporta información bastante confiable y puede ser utilizado para estimar índices de densidad poblacional.

No obstante, los principales factores que pueden afectar la aplicación de esta metodología son los siguientes:

- Que tan conspicuos o visibles son los individuos
- Condiciones meteorológicas
- Actividad de la especie en relación con la hora del día o estación del año
- Conteos duplicados de individuos que se desplazan hacia adelante durante el recorrido del transecto después de ser ahuyentados
- Variación en el efecto de la cobertura del hábitat para la detección de los individuos

A continuación, se describen los métodos de campo empleados para el registro de los distintos grupos de vertebrados considerados en este estudio.

Metodología para registro de Herpetofauna

La búsqueda de anfibios y reptiles se realizó empleando un método de muestreo de transectos en franja a pie, utilizando las técnicas convencionales de recolecta descritas por Casas-Andreu *et al.* (1991). Dichas técnicas consisten en realizar una búsqueda en todos los microhábitats en los que se pueden llegar a encontrar estos organismos: debajo de rocas, troncos secos, dentro de agujeros en la tierra, sobre el suelo, arbustos y árboles. Los recorridos de búsqueda se realizaron en dos horarios, de 8:00 a 13:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas, registrando todos los organismos observados en el transecto, a través del método de conteo visual. Los muestreos realizados dentro de la Cuenca Hidrológico Forestal (CHF) siguieron los mismos métodos que se emplearían en los muestreos en el Área del proyecto (AP) para poder hacer las respectivas comparaciones de composición de especies y abundancia al tenerlos homologados.

Para realizar una adecuada determinación taxonómica de las especies, así como para obtener fotografías de los individuos observados, fue necesaria la captura de algunos organismos. El método de captura dependió esencialmente del organismo a recolectar, pudiéndose tomar directamente con la mano o con ayuda de materiales como ganchos herpetológicos, ligas de plástico, pinzas de disección de 30 cm, sacos de manta y bolsas de plástico. Para cada uno de los ejemplares observados se tomaron los siguientes datos: nombre de la especie, fecha, coordenadas geográficas y tipo de vegetación en la que se encontró; además se fotografiaron algunas de las especies observadas en la zona de estudio.

La determinación taxonómica de todas las especies observadas en los transectos de muestreo se realizó con la ayuda de literatura especializada y utilizando las claves taxonómicas de Flores-Villela *et al.* (1995).

Metodología para registro de Mastofauna

El muestreo de mamíferos se realizó mediante transectos en franja, en los cuales fue factible obtener registros directos de algunas especies, así como la ubicación de huellas y rastros que posteriormente fueron identificados con ayuda de literatura especializada (Aranda, 2000, Ceballos y Oliva, 2005).

Se colocaron 7 transectos de trampas tipo Sherman para la captura de roedores siguiendo los métodos convencionales de colecta científica descritos por Romero-Almaraz *et al.* (2000). En total, se colocaron 280 trampas en los transectos en línea, con una distancia de siete a 10 m entre las trampas, mismas que fueron cebadas con avena y vainilla. Los ejemplares capturados fueron identificados con ayuda de claves especializadas (Hall, 1981; Ceballos y Oliva, 2005) y posteriormente se liberaron en el mismo lugar de su captura.

Para el registro de mamíferos medianos y grandes se realizaron transectos en franja a lo largo de senderos naturales y brechas con el fin de coleccionar e identificar rastros (huellas, excretas, pelo y cráneos) y además obtener observaciones directas. Estos

transectos sirvieron también para conocer el terreno y así seleccionar los sitios donde se colocaron las trampas tipo Tomahawk y también las cámaras trampa.

Se colocaron cuatro trampas tipo Tomahawk cebadas con sardina para la captura de mamíferos medianos. Éstas fueron instaladas sobre el transecto en franja y los senderos de animales o en la proximidad de las madrigueras registradas.

El fototrampeo se utilizó para obtener registros de las especies de mamíferos crípticas o raras que, por sus características o hábitos, son difíciles de capturar y no es común detectarlos (Maffei *et al.*, 2002; Monroy-Vilchis *et al.*, 2011); este método consiste en utilizar cámaras provistas de sensores que obturan de manera automática al detectar el movimiento de un cuerpo o una temperatura diferente a la del ambiente.

Se colocaron cuatro cámaras trampa (modelo LTL Acorn y Cuddeback) en la CHF, en sitios donde se observaron rastros de mamíferos, tales como: huellas, heces, restos de alimentación, o bien, en la proximidad de madrigueras y en aquellos senderos potencialmente utilizados para el desplazamiento de distintas especies de mamíferos. Las cámaras trampa fueron instaladas en troncos de árboles o estacas, a una altura aproximada de 30 a 40 cm del suelo, dependiendo del tipo de terreno y su pendiente.

Como parte de la preparación del sitio, se removieron las ramas o malezas que pudieran interferir con la operación de las cámaras y, posteriormente, el área fue cebada con sardina enlatada. Para el caso de registros por medio de foto trampas, se consideró como un sólo individuo a todas las fotografías tomadas de una especie dentro de un ciclo de 24 horas (Botello, 2004).

Para captura de murciélagos se colocaron redes de niebla, las cuales consisten en una malla o red tejida que puede ser de nailon o poliéster. Estas redes se sostienen y extienden a través de varas o tubos de aluminio que se ubican a los extremos de la red, los cuales son fijados mediante cuerdas a árboles cercanos, troncos o rocas ancladas al suelo. Las redes de niebla varían de acuerdo con su longitud, ancho, amplitud de luz de malla y número de bolsas que cuelgan de la red. La luz de los

orificios que componen la red y las bolsas que se forman permiten la captura de murciélagos al enredarse en la malla.

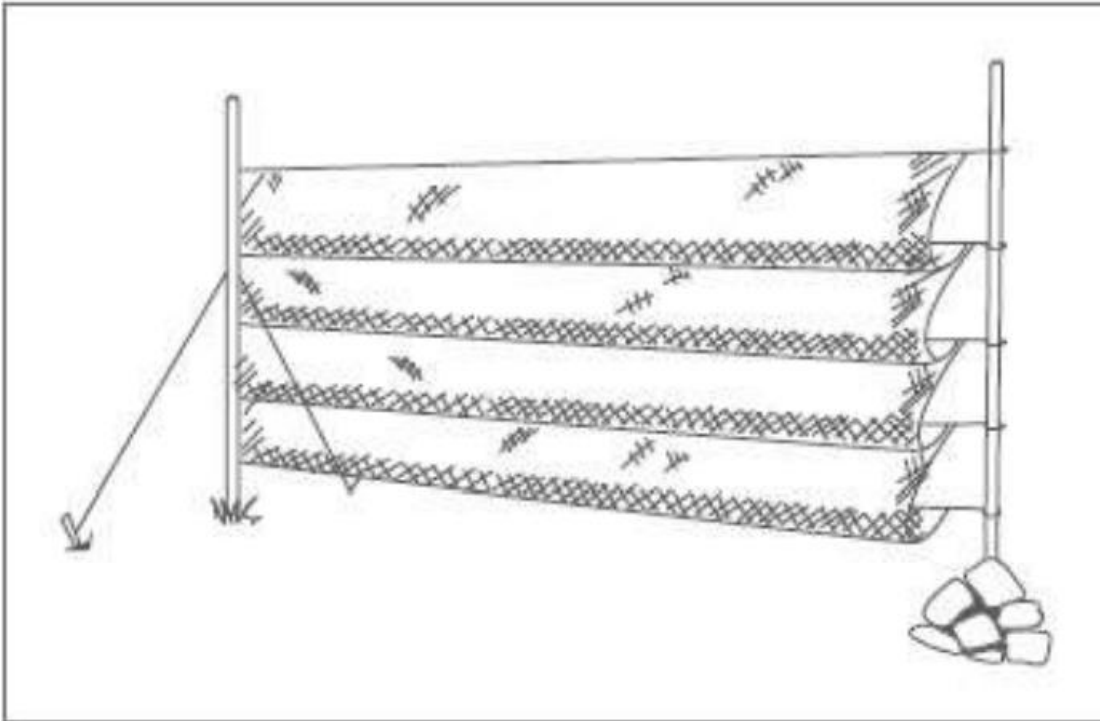


Figura IV—60. Red de niebla instalada a nivel de sotobosque (tomado de Nagorsen y Peterson, 1980)

Para determinar el lugar más adecuado y conveniente para la instalación de las redes de niebla, se consideraron las condiciones del terreno, tipos de hábitat de la zona, posibles caminos o rutas que pueden seguir las especies de interés durante el vuelo, fuentes de recursos, áreas de descanso y protección cercanas, y espacios que puedan servir como potenciales fuentes de recursos para los murciélagos como zonas con agua o árboles en temporada de fructificación.

Previo a la instalación de las redes de niebla, se realizó una limpieza y adecuación del lugar en el que fueron instaladas. Las redes de niebla se colocaron de forma distanciada, procurando cubrir la mayor cantidad de área posible en el lugar de captura y cambiando las redes de dirección y ubicación, con el fin de evitar recapturas de individuos y la detección de las redes por parte de los organismos.

Durante el trabajo de campo se colocaron tres redes de niebla de 12 metros de longitud y dos metros de altura en tres transectos de la CHF. El horario de colocación fue poco antes del inicio de actividad crepuscular y nocturna de los murciélagos, alrededor de las 18:00 hrs; una vez instaladas, se dejaban colocadas durante los picos de mayor actividad de murciélagos. El monitoreo de las redes para verificar la captura de ejemplares se hacía en intervalos de tiempo no mayor a 30 minutos con el fin de evitar que se enredaran demasiado y minimizar el estrés de los animales.

Los individuos capturados en las redes fueron removidos con mucho cuidado a fin de evitar dañarlos. Es importante usar guantes de cuero, dado que algunas especies de murciélagos son potenciales vectores de la rabia (Constantine, 2009 citado en Bracamonte, 2018). Para la remoción de murciélagos se usó la metodología descrita por Jones *et al.* (1996), que consiste en identificar el lado de la red por el cual ingresó el animal (estirando la red por ambos lados) y ejecutar la remoción por ese mismo lado, empezando por desenredar las patas y la cola, luego el cuerpo y, por último, la cabeza y las alas (Jones *et al.*, 1996; Finnemore y Richardson, 2004).

La siguiente figura ilustra la secuencia de extracción de un murciélago de la red. A) Murciélago atrapado en bolsa de niebla de neblina. B) Bolsa de la red abierta para exponer el murciélago capturado. C) Cola y patas traseras de murciélago despejadas de la red. D) Cuerpo de murciélago firmemente sostenido y red retirada de un ala extendida. E) Cuerpo de murciélago y un ala libre agarrada para evitar enredos. F) Ala restante removida de la red.

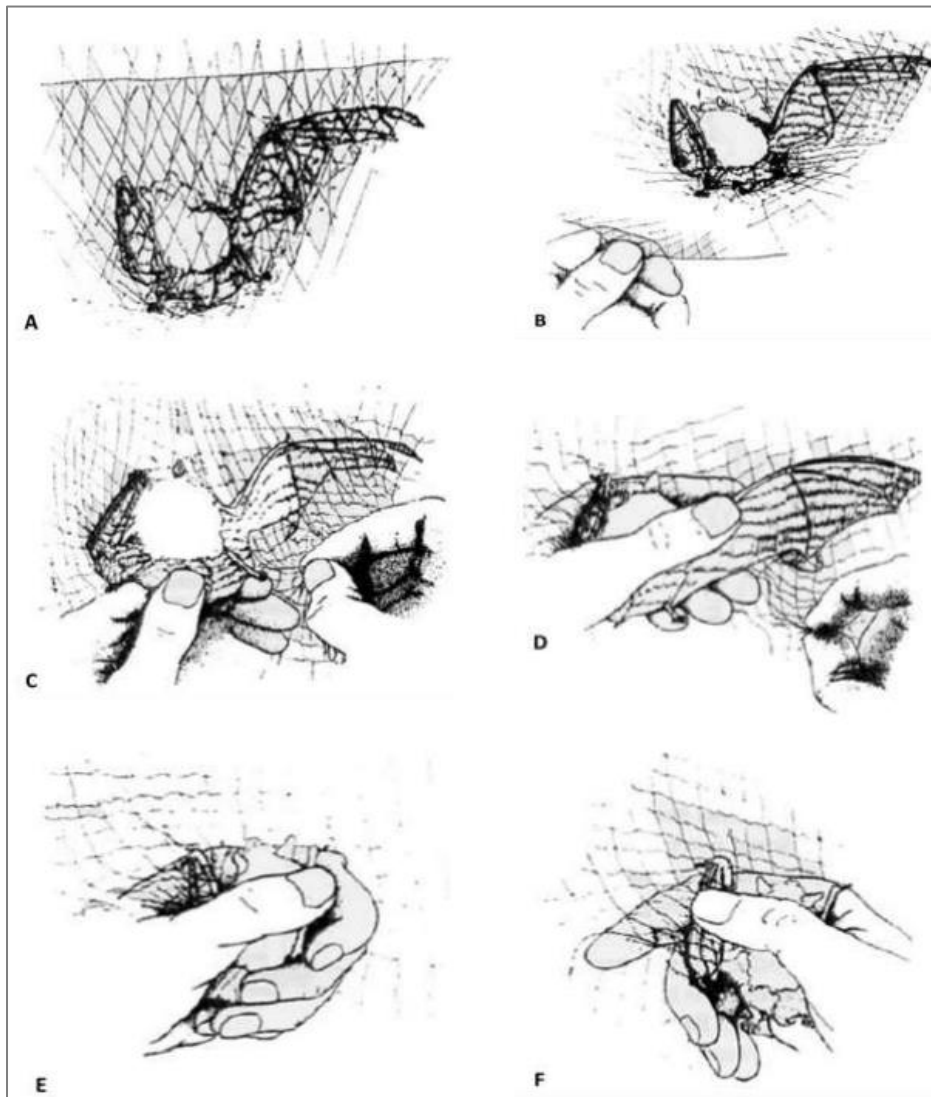


Figura IV—61. Secuencia de extracción de un murciélago de la red

Una vez extraídos los murciélagos de la red, se procedió a la toma de datos morfométricos para su identificación por medio de guías especializadas y se determinó el sexo de los ejemplares capturados con base en la presencia de genitales en machos (Racey 1988). Luego de la toma de fotografías, se realizó la liberación de ejemplares cerca de los mismos sitios de captura.

El arreglo taxonómico de los ejemplares registrados se realizó con base en la propuesta de Ramírez-Pulido *et al.* (2005), mientras que los nombres comunes de los mamíferos se tomaron como referencia del libro de Ceballos y Oliva (2005). Para

los roedores se utilizaron los trabajos de Hall (1981), Ceballos y Oliva (2005); para la identificación de los rastros de mamíferos medianos y grandes, se empleó la guía de Aranda (2000).

A continuación, se presentan las coordenadas y ubicación de los diferentes tipos de trampas para registro de mamíferos en la CHF. En caso de las trampas Sherman, se registró la coordenada de inicio y fin del transecto.

Tabla IV—41. Ubicación espacial de los diferentes tipos de trampas para registro de mamíferos en la CHF

Transecto en CHF	Tipo de Trampa	Coordenadas inicio (decimales o UTM)		Coordenadas finales (decimales o UTM)	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	Sherman	271545	2171071	271591	2171040
2	Sherman	271170	2171187	271139	2171155
3	Sherman	271879	2169981	271870	2169930
4	Sherman	272233	2171658	272160	2171643
5	Sherman	273787	2170076	273791	2169984
6	Sherman	275094	2171887	275167	2171851
7	Sherman	277214	2170094	277227	2169940
1	Tomahawk	271796	2170902		
2	Tomahawk	270945	2170958		
3	Tomahawk	271936	2170301		
5	Tomahawk	273777	2170168		
1	Fototrampa	271824	2170883		
2	Fototrampa	271214	2171225		
3	Fototrampa	271881	2169995		
5	Fototrampa	273774	2170240		
2	Red de niebla	271160	2171169		
3	Red de niebla	271904	2170117		
4	Red de niebla	272351	2171680		

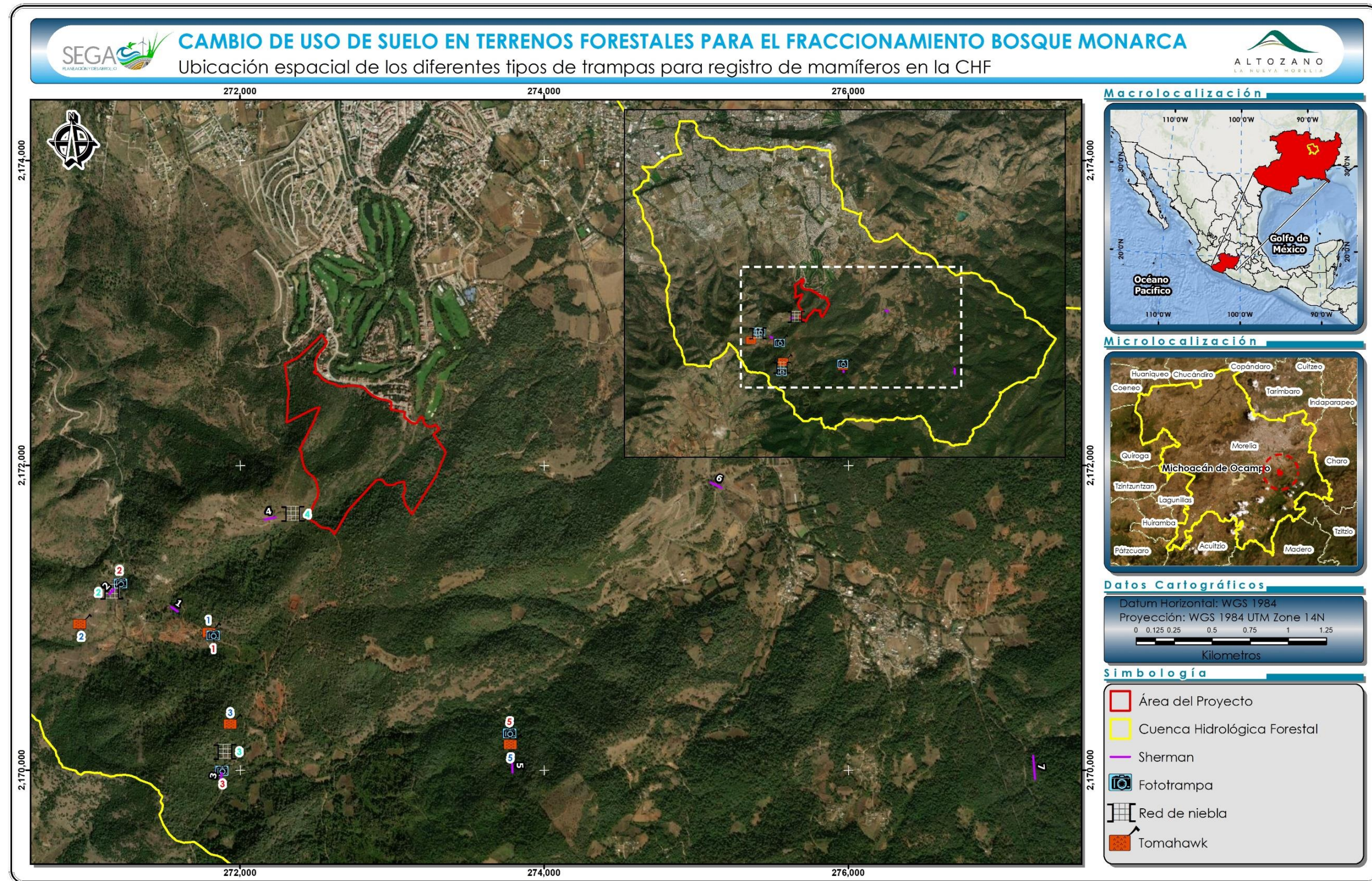


Figura IV—62. Ubicación espacial de los diferentes tipos de trampas utilizadas para registro de mamíferos en la CHF

Metodología para registro de Avifauna

El muestreo de la avifauna se llevó a cabo mediante registros visuales y auditivos; además, se obtuvieron registros fotográficos (Nikon D3000 con telefoto Sigma 150-500 mm) que permitieron confirmar la identificación de algunas especies. Para la obtención de los datos de diversidad, se emplearon puntos de conteo intensivos (Ralph *et al.* 1995). Los puntos de conteo se llevaron a cabo en los transectos previamente determinados y las observaciones se hicieron con ayuda de binoculares (10 x 42 Eagle Optics). Los registros se efectuaron entre las 7:00 y 13:00 hrs y de 17:00 a 21:00 hrs, abarcando así los dos picos de mayor actividad de las aves.

Para la identificación de las aves, así como para determinar su estatus de residencia, se utilizaron las guías de campo de Howell y Webb (1995), Sibley (2000) y las de National Geographic Society (2008); los registros auditivos que también permitieron la identificación de algunas especies de aves fueron cotejados en la base de datos de Xenocanto (<http://www.xeno-canto.org/>). El endemismo se determinó con base en el trabajo de González-García y Gómez de Silva (2003). Las especies registradas fueron catalogadas de acuerdo con la última actualización de la American Ornithologist Union (2018).

A continuación, se muestran algunas fotografías de los métodos de campo descritos en líneas anteriores a través de los cuales fue posible obtener un inventario de los vertebrados terrestres de la CHF.



Material utilizado para la búsqueda y registro de anfibios y reptiles



Personal de SEGA durante la búsqueda diurna de herpetofauna



Búsqueda nocturna de herpetofauna en el sitio de muestreo



Registro de información de campo



Manipulación de anfibio a cargo de personal de SEGA



Técnica de sujeción de reptil a cargo de personal de SEGA



Equipo y material utilizado para inventario de mamíferos



Cebando trampa Sherman



Colocación de Trampa Sherman en uno de los transectos de muestreo



Verificando la captura de mamíferos pequeños en trampa Sherman



Cebo y trampa Tomahawk utilizada para mamíferos medianos



Colocación de cebo en trampa Tomahawk



Personal de SEGA colocando red de niebla



Vista del proceso de colocación de red de niebla para captura de murciélagos



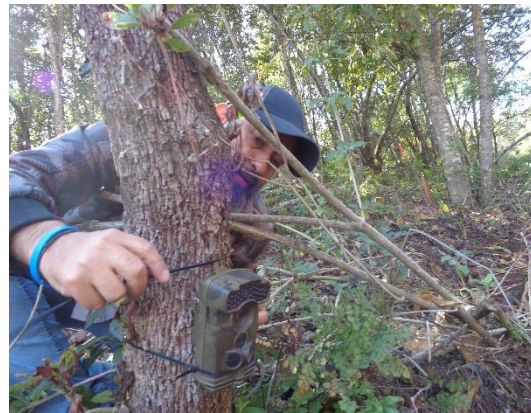
Captura de murciélago en red de niebla



Liberación de murciélago de la red de niebla



Programación y configuración de cámara trampa



Colocación de cámara trampa



Vista de la cámara trampa colocada para registro de fauna silvestre



Fotografiando avifauna



Búsqueda de aves con ayuda de binoculares



Observación de aves con binoculares

IV.2.4.2.3 Tamaño de muestra para la CHF

Los transectos pueden ser ubicados de manera sistemática o aleatoria, para el caso del muestreo realizado en la Cuenca hidrológica forestal se eligió hacerlo de manera aleatoria. Se realizaron un total de siete transectos con una longitud de 500 metros (L) por 50 metros de ancho (2w), sumando una superficie total muestreada para la CHF de 17.5 has aproximadamente.

Tabla IV—42. Transectos utilizados para el muestreo de fauna silvestre en la CHF

Coordenadas Transectos CHF			
Coordenadas UTM Z14N WGS 84			
Punto	Zona	X	Y
T1 Inicial	CHF	271,859.99	2,170,862.50
T1 Final	CHF	271,456.39	2,171,132.18
T2 Inicial	CHF	271,225.18	2,171,243.28
T2 Final	CHF	270,876.44	2,170,893.44
T3 Inicial	CHF	271,869.26	2,169,925.06
T3 Final	CHF	271,952.28	2,170,388.73
T4 Inicial	CHF	272,425.59	2,171,701.51
T4 Final	CHF	271,942.42	2,171,597.61
T5 Inicial	CHF	273,764.47	2,170,391.73
T5 Final	CHF	273,796.10	2,169,928.91
T6 Inicial	CHF	275,383.02	2,171,745.32
T6 Final	CHF	274,939.67	2,171,965.02
T7 Inicial	CHF	277,247.44	2,169,681.29
T7 Final	CHF	277,208.64	2,170,175.91

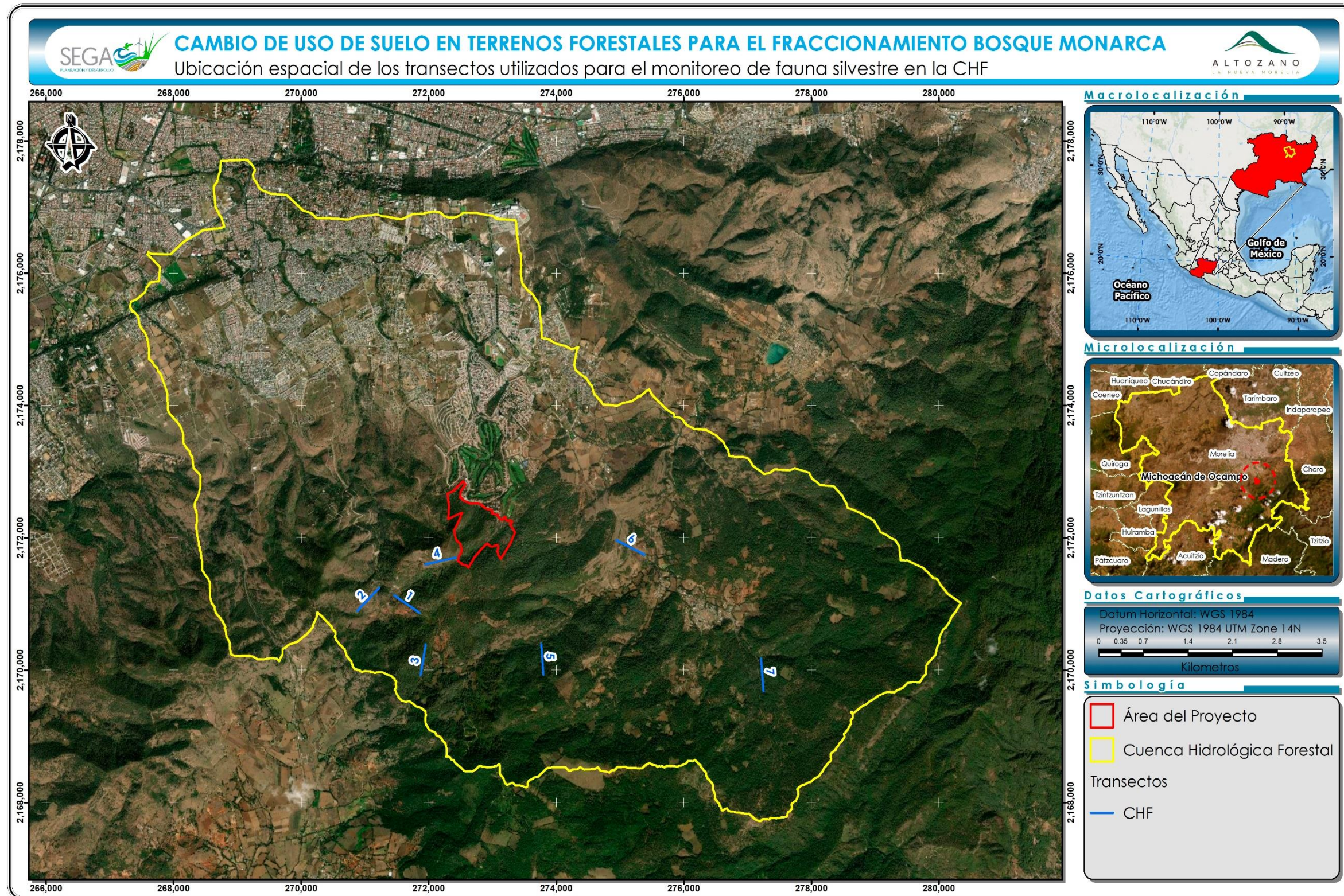


Figura IV—63. Ubicación de los transectos utilizados durante los muestreos de campo en la CHF

IV.2.4.2.4 Trabajo de gabinete

La información obtenida en campo se sistematizó en hojas de cálculo, siguiendo un orden sistemático y diferenciando entre las especies e individuos observados en cada día de trabajo. Posteriormente, para determinar la riqueza de especies esperadas en la CHF, se emplearon estimadores de riqueza que permiten calcular el número de especies que existe en un área determinada basándose en el número de especies detectadas en unidades de esfuerzo estandarizadas (días). Estos análisis que además revelan mediante las curvas de acumulación, la cantidad de esfuerzo que haría falta para detectar a la totalidad de especies dentro del área delimitada, fueron realizados de acuerdo con los modelos clench y exponencial empleando el *programa Species Accumulation Vers. β* (Díaz-Francés y Soberón 2005), a partir de los datos obtenidos por cada día de trabajo de campo.

En la abundancia de las especies se implementó un índice de frecuencia relativa, que consiste en determinar el número promedio de individuos de cada especie observados en un día de trabajo de campo y que se representa de manera porcentual con respecto al total de individuos de las diferentes especies observado durante el total invertido en el trabajo de campo.

Para establecer cuáles de las especies de fauna silvestre registradas durante los muestreos de campo corresponden con especies protegidas por la legislación nacional, se contrastó el listado sistemático elaborado, con la lista de especies en riesgo que se presenta en el Anexo normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y su actualización de 2019. Dado que las autoridades taxonómicas (a nivel mundial) realizan actualizaciones periódicas en sus sistemas de clasificación y nomenclatura, mismas que no pueden ser actualizadas con la misma agilidad en la citada Norma, fue necesario rastrear los cambios taxonómicos recientes de un elevado número de especies, para poder así determinar, si éstas poseían de algún estatus de protección oficial.

Adicionalmente, se determinó el grado de endemismo de la comunidad de vertebrados registrada durante los muestreos de campo. Es importante recordar que las especies endémicas son aquellas cuya distribución se encuentra restringida a una región geográfica determinada —y no se encuentra en ningún otro lugar—, que, en el caso del presente estudio, se refiere a los límites geopolíticos de la República Mexicana.

La importancia del reconocimiento de las especies endémicas se debe a que su sobrevivencia en estado silvestre dependerá de las estrategias de conservación que se implementen específicamente en la región geográfica a la que están restringidas. En vista de la importancia que puede tener para la preservación de las especies el reconocimiento de su endemismo, se han propuesto otras dos categorías emparentadas que han sido utilizadas en el presente estudio: las especies cuasiendémicas y semiendémicas.

Las especies cuasiendémicas son aquellas cuya distribución queda casi completamente circunscrita a un país, pero existen pocas localidades marginales en algún otro país vecino donde también se distribuye la especie, lo cual se debe a la continuidad de los hábitat o sistemas orográficos que van más allá de las fronteras geopolíticas. De manera adicional, se ha propuesto la categoría de especies semiendémicas para designar a aquellas especies que son endémicas a un país una región durante una determinada época del año y que, de acuerdo con González-García y Gómez de Silva (2003), merecen la misma prioridad de conservación que las especies endémicas.

IV.2.4.2.5 Resultados del muestreo en la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF)

Durante el trabajo de campo se logró registrar un total de 125 especies, 50 familias y 21 órdenes de vertebrados terrestres. Estos registros representan alrededor del 14% de la biodiversidad total de vertebrados que alberga el estado de Michoacán (Martínez-Meyer *et al.*, 2014). De los 9 registros de especies de herpetofauna, dos

correspondieron a anfibios y siete a reptiles, distribuidos en cinco familias y dos órdenes.

En el caso de mamíferos, se registraron 18 especies, comprendidas en 12 familias y siete órdenes. Las aves fueron el grupo que tuvo una mayor riqueza con 98 especies, 50 familias y 21 órdenes (ver tabla siguiente).

Tabla IV—43. Número de especies, familias y órdenes de los diferentes grupos de vertebrados registrados en la CHF

Nivel taxonómico	Anfibios	Reptiles	Mamíferos	Aves	Total
Especies	2	7	18	98	125
Familias	2	3	12	33	50
Ordenes	1	1	7	12	21

De las 125 especies registradas durante los trabajos de campo, se estimó la proporción para cada clase de vertebrados, encontrando que la mejor representada son las aves con el 78% de las especies registradas, seguido de los mamíferos con el 14%, después los reptiles con 6% y por último los anfibios con 2%.

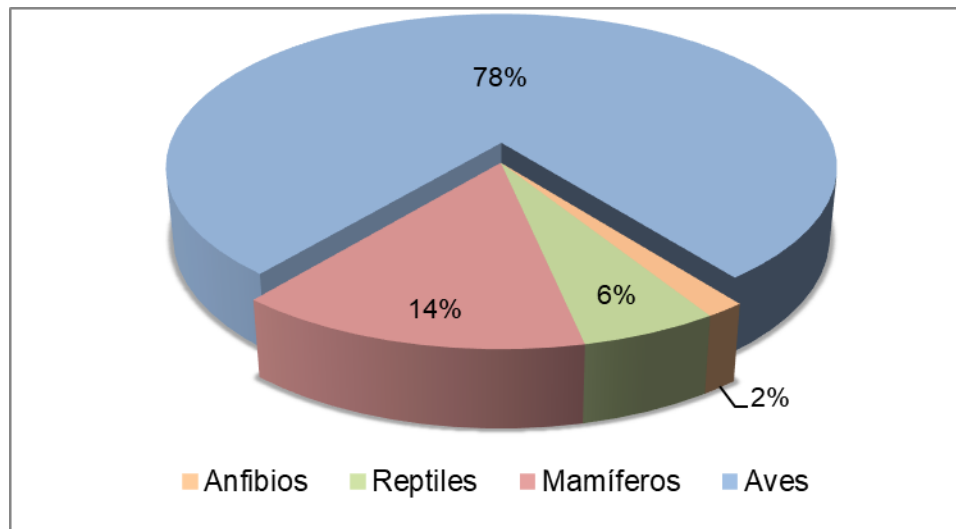


Figura IV—64. Proporción de especies registradas por cada Clase de vertebrados

A continuación, se muestra el listado general de las especies de fauna registradas en la CHF del proyecto, separadas por grupo faunístico. Por otra parte, en el Anexo 6 se muestra el catálogo fotográfico de dichas especies.

Tabla IV—44. Listado general de especies de vertebrados terrestres registradas durante los trabajos de campo en la CHF

ID	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Frecuencia relativa
Anfibios				
1	<i>Hyla eximia</i>	Ranita de montaña	2	0.28
2	<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Rana leopardo neovolcánica	1	0.14
Reptiles				
3	<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	14	1.99
4	<i>Sceloporus dugesii</i>	Espinosa de Dugés	4	0.57
5	<i>Sceloporus scalaris</i>	Lagartija escamosa	2	0.28
6	<i>Sceloporus torquatus</i>	Espinosa de collar	5	0.71
7	<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	1	0.14
8	<i>Diadophis punctatus</i>	Culebra de collar	1	0.14
9	<i>Crotalus molossus</i>	Víbora de cascabel	1	0.14
Mamíferos				
10	<i>Tlacuatzin canescens</i>	Tlacuachín	1	0.14
11	<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache	6	0.85
12	<i>Dasyus novemcinctus</i>	Armadillo	1	0.14
13	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo	1	0.14
14	<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla gris	1	0.14
15	<i>Spermophilus variegatus</i>	Ardillón	1	0.14
16	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Ratón de campo	1	0.14
17	<i>Lynx rufus</i>	Lince o gato montés	1	0.14
18	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris	6	0.85
19	<i>Canis latrans</i>	Coyote	2	0.28
20	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja	1	0.14
21	<i>Spilogale angustifrons</i>	Zorrillo manchado	1	0.14
22	<i>Bassariscus astutus</i>	Cacomixtle	2	0.28
23	<i>Nasua narica</i>	Tejón o coatí	1	0.14
24	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	4	0.57
25	<i>Dermanura tolteca</i>	Murciélago frutero	1	0.14

ID	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Frecuencia relativa
26	<i>Sturnira ludovici</i>	Murciélago	1	0.14
27	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	1	0.14
Aves				
28	<i>Columbina inca</i>	Tortolita cola larga	3	0.43
29	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma arroyera	3	0.43
30	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero pijuy	1	0.14
31	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos norteño	1	0.14
32	<i>Eugenes fulgens</i>	Colibrí magnífico	1	0.14
33	<i>Lampornis clemenciae</i>	Colibrí garganta azul	1	0.14
34	<i>Selasphorus rufus</i>	Zumbador canelo	5	0.71
35	<i>Selasphorus platycercus</i>	Zumbador cola ancha	19	2.71
36	<i>Cyananthus latirostris</i>	Colibrí pico ancho	1	0.14
37	<i>Basilinna leucotis</i>	Zafiro orejas blancas	13	1.85
38	<i>Saucerottia beryllina</i>	Colibrí berilo	3	0.43
39	<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlo tildío	1	0.14
40	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza ganadera	15	2.14
41	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote común	25	3.56
42	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote aura	8	1.14
43	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla cola roja	2	0.28
44	<i>Glaucidium gnoma</i>	Tecolote serrano	3	0.43
45	<i>Trogon mexicanus</i>	Coa mexicana	3	0.43
46	<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero bellotero	11	1.57
47	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero cheje	1	0.14
48	<i>Sphyrapicus varius</i>	Carpintero moteado	1	0.14
49	<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero mexicano	3	0.43
50	<i>Colaptes auratus</i>	Carpintero de pechera	4	0.57
51	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano	7	1.00
52	<i>Myiarchus nuttingi</i>	Papamoscas huí	1	0.14
53	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano chibiú	12	1.71
54	<i>Contopus pertinax</i>	Papamoscas José María	9	1.28
55	<i>Empidonax hammondii</i>	Papamoscas de Hammond	11	1.57
56	<i>Empidonax oberholseri</i>	Papamoscas matorralero	1	0.14
57	<i>Empidonax occidentalis</i>	Papamoscas amarillo barranqueño	1	0.14
58	<i>Empidonax fulvifrons</i>	Papamoscas pecho canela	2	0.28
59	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas cardenalito	7	1.00

ID	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Frecuencia relativa
60	<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	Trepatroncos mexicano	9	1.28
61	<i>Vireolanius melitophrys</i>	Vireón arlequín	2	0.28
62	<i>Vireo huttoni</i>	Vireo reyezuelo	1	0.14
63	<i>Vireo cassinii</i>	Vireo de Cassin	7	1.00
64	<i>Vireo gilvus</i>	Vireo gorjeador	1	0.14
65	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo americano	1	0.14
66	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Chara transvolcánica	18	2.56
67	<i>Corvus corax</i>	Cuervo común	14	1.99
68	<i>Poecile sclateri</i>	Carbonero mexicano	1	0.14
69	<i>Tachycineta thalassina</i>	Golondrina verdemar	43	6.13
70	<i>Psaltriparus minimus</i>	Sastrecillo	8	1.14
71	<i>Corthylio calendula</i>	Reyezuelo matraquita	12	1.71
72	<i>Ptiliogonys cinereus</i>	Capulinerio gris	7	1.00
73	<i>Certhia americana</i>	Trepadorcito americano	2	0.28
74	<i>Polioptila caerulea</i>	Perlita azulgris	2	0.28
75	<i>Catherpes mexicanus</i>	Saltapared barranqueño	1	0.14
76	<i>Campylorhynchus gularis</i>	Matraca serrana	4	0.57
77	<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared cola larga	3	0.43
78	<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared común	7	1.00
79	<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato azul	10	1.42
80	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche pico curvo	1	0.14
81	<i>Sialia sialis</i>	Azulejo garganta canela	3	0.43
82	<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	16	2.28
83	<i>Catharus aurantiirostris</i>	Zorzal pico naranja	9	1.28
84	<i>Catharus guttatus</i>	Zorzal cola canela	2	0.28
85	<i>Turdus assimilis</i>	Mirlo garganta blanca	1	0.14
86	<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo primavera	9	1.28
87	<i>Peucedramus taeniatus</i>	Ocotero enmascarado	5	0.71
88	<i>Chlorophonia elegantissima</i>	Eufonia elegante	8	1.14
89	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón mexicano	38	5.41
90	<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito dominico	24	3.42
91	<i>Ammodramus savannarum</i>	Gorrión chapulín	1	0.14
92	<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión arlequín	6	0.85
93	<i>Spizella passerina</i>	Gorrión cejas blancas	28	3.99

ID	Nombre científico	Nombre común	Abundancia	Frecuencia relativa
94	<i>Melospiza lincolnii</i>	Gorrion de Llincoln	16	2.28
95	<i>Melozona fusca</i>	Rascador viejita	8	1.14
96	<i>Aimophila rufescens</i>	Zacatonero canelo	6	0.85
97	<i>Aimophila ruficeps</i>	Zacatonero corona canela	2	0.28
98	<i>Pipilo maculatus</i>	Rascador moteado	12	1.71
99	<i>Atlapetes pileatus</i>	Rascador gorra canela	3	0.43
100	<i>Icterus wagleri</i>	Calandria de Wagler	1	0.14
101	<i>Icterus bullockii</i>	Calandria cejas naranjas	4	0.57
102	<i>Icterus abeillei</i>	Calandria flancos negros	1	0.14
103	<i>Icterus parisorum</i>	Calandria tunera	2	0.28
104	<i>Parkesia motacilla</i>	Chipe arroyero	1	0.14
105	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe trepador	3	0.43
106	<i>Leiothlypis celata</i>	Chipe oliváceo	7	1.00
107	<i>Leiothlypis crissalis</i>	Chipe de colima	1	0.14
108	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe lores negros	4	0.57
109	<i>Setophaga coronata</i>	Chipe rabadilla amarilla	9	1.28
110	<i>Setophaga nigrescens</i>	Chipe negrogris	6	0.85
111	<i>Setophaga townsendi</i>	Chipe de Townsend	8	1.14
112	<i>Setophaga occidentalis</i>	Chipe cabeza amarilla	4	0.57
113	<i>Basileuterus rufifrons</i>	Chipe gorra canela	7	1.00
114	<i>Basileuterus belli</i>	Chipe cejas doradas	1	0.14
115	<i>Cardellina pusilla</i>	Chipe corona negra	16	2.28
116	<i>Cardellina rubrifrons</i>	Chipe cara roja	1	0.14
117	<i>Cardellina rubra</i>	Chipe rojo	1	0.14
118	<i>Myioborus miniatus</i>	Pavito alas negras	3	0.43
119	<i>Piranga flava</i>	Piranga encinera	7	1.00
120	<i>Piranga rubra</i>	Piranga roja	1	0.14
121	<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga capucha roja	3	0.43
122	<i>Piranga bidentata</i>	Piranga dorso rayado	1	0.14
123	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Picogordo tigrillo	4	0.57
124	<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo azul	10	1.42
125	<i>Diglossa baritula</i>	Picochueco vientre canela	2	0.28
TOTAL			702	100

Especies enlistadas en alguna categoría de protección

De las 125 especies registradas en el inventario realizado en la CHF del proyecto, seis se encuentran enlistadas en alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, encontrándose agrupadas de la siguiente manera: tres especies en la categoría de Protección Especial (Pr) y tres Amenazadas (A); las restantes 119 especies registradas no se encuentran enlistadas en esta Norma. Es importante mencionar que no se registraron especies incluidas en la categoría de En Peligro de Extinción (P). En la siguiente figura se representa el porcentaje y las especies incluidas en cada categoría de protección, con respecto al total de especies caracterizadas en la CHF.



Figura IV—65. Número de especies por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (última actualización de 2019)

De las seis especies registradas en la CHF que se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010, una corresponde al grupo de los anfibios, dos a reptiles y tres a las aves, como se observa en la siguiente figura y tabla.

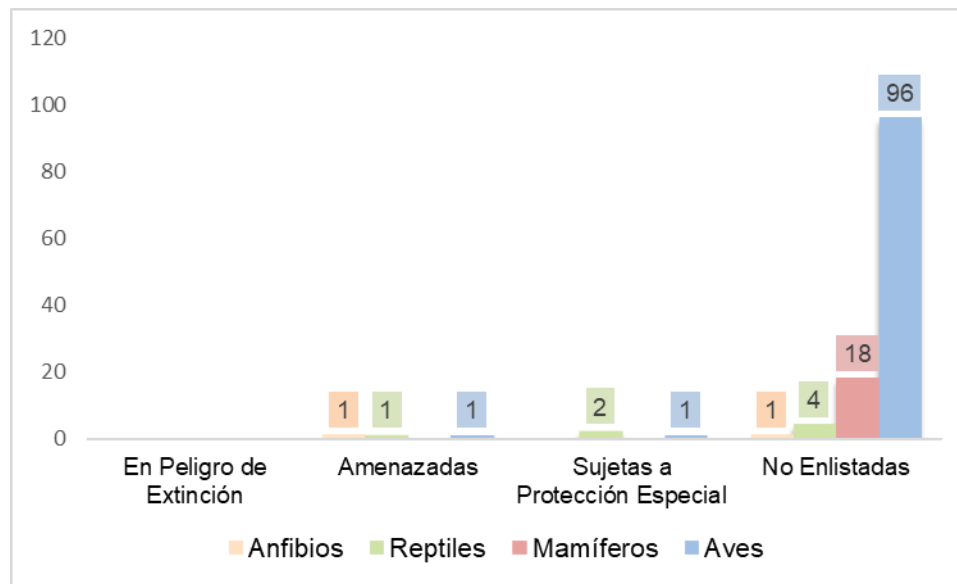


Figura IV—66. Número de especies por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (última actualización de 2019)

Tabla IV—45. Especies registradas en la CHF del proyecto que se encuentran en alguna categoría de protección, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010

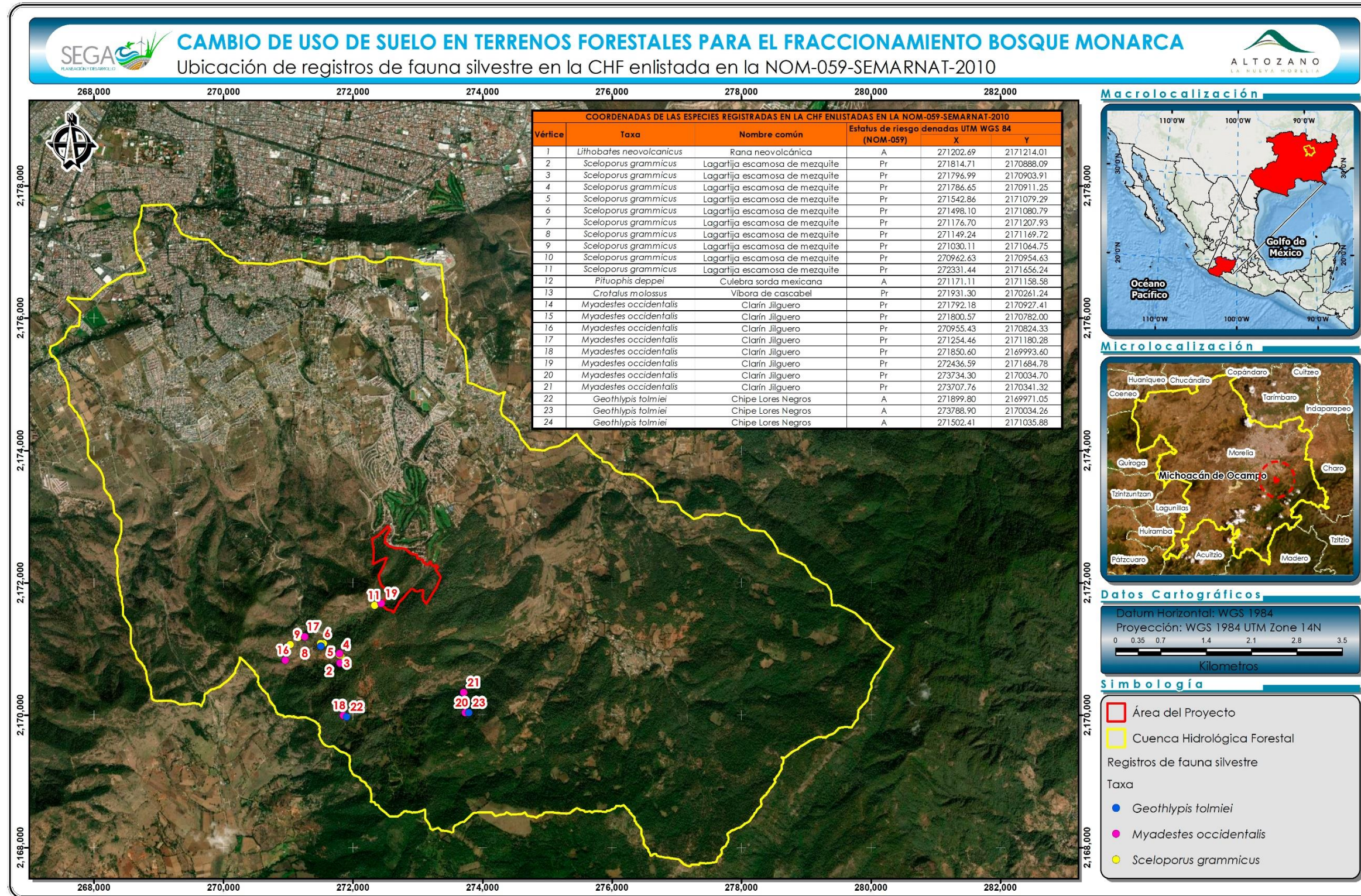
Taxa	Nombre común	NOM-059-SEMARNAT-2010
Anfibios		
<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Rana leopardo neovolcánica	Amenazada
Reptiles		
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial
<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	Amenazada
<i>Crotalus molossus</i>	Víbora de Cascabel	Sujeta a Protección Especial
Aves		
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial
<i>Geothlypis tolmiei*</i>	Chipe lores negros	Amenazada

Tabla IV—46. Coordenadas de los registros de fauna silvestre enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Taxa	Nombre común	Estatus de riesgo (NOM-059)	Coordenadas UTM WGS 84. Zona 14	
			X	Y
Anfibios				
<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Rana leopardo neovolcánica	Amenazada	271202.69	2171214.01
Reptiles				
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271814.71	2170888.09
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271796.99	2170903.91
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271786.65	2170911.25
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271542.86	2171079.29
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271498.10	2171080.79
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271176.70	2171207.93
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271149.24	2171169.72
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	271030.11	2171064.75
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	270962.63	2170954.63
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a Protección Especial	272331.44	2171656.24
<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	Amenazada	271171.11	2171158.58
<i>Crotalus molossus</i>	Víbora de cascabel	Sujeta a Protección Especial	271931.30	2170261.24
Aves				
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	271792.18	2170927.41
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	271800.57	2170782.00
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	270955.43	2170824.33

Taxa	Nombre común	Estatus de riesgo (NOM-059)	Coordenadas UTM WGS 84. Zona 14	
			X	Y
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	271254.46	2171180.28
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	271850.60	2169993.60
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	272436.59	2171684.78
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	273734.30	2170034.70
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero	Sujeta a Protección Especial	273707.76	2170341.32
<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe lores negros	Amenazada	271899.80	2169971.05
<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe lores negros	Amenazada	273788.90	2170034.26
<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipe lores negros	Amenazada	271502.41	2171035.88

Con respecto el Chipe de lores negros (*Geothlypis tolmiei*; incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como *Oporornis tolmiei*), en esta especie, la única población que se encuentra protegida legalmente es la residente del Cerro Potosí, en Nuevo León, de tal manera que la subespecie que se distribuye en la CHF corresponde a una subespecie distinta — ampliamente distribuida en todo el territorio nacional durante la temporada de invierno— que no se encuentra protegida por la legislación nacional.



Endemismo

Como se puede observar en la siguiente tabla, las aves son el grupo que contribuye con un mayor número de especies incluidas en alguna de las categorías de endemismo analizadas (N=24), seguido del grupo de reptiles (N=5), los anfibios (N=2) y finalmente los mamíferos (N=1). En el grupo de las aves se registró una especie exótica, es decir, que su distribución nativa histórica no incluía al territorio mexicano: la garza ganadera (*Bubulcus ibis*).

Tabla IV—47. Listado de las especies registradas en el monitoreo que se consideran endémicas a México

Taxa	Nombre Común	Categoría
Anfibios		
<i>Hyla eximia</i>	Rana de montaña	Endémica
<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Rana leopardo neovolcánica	Endémica
Reptiles		
<i>Sceloporus dugesii</i>	Espinosa de Dugés	Endémica
<i>Sceloporus scalaris</i>	Lagartija escamosa	Endémica
<i>Sceloporus torquatus</i>	Espinosa de collar	Endémica
<i>Conopsis nasus</i>	Culebra gris nariz de pala	Endémica
<i>Pituophis deppei</i>	Culebra sorda mexicana	Endémica
Mamíferos		
<i>Tlacuatzin canescens</i>	Tlacuachín	Endémica
Aves		
<i>Lampornis clemenciae</i>	Colibrí garganta azul	Semiendémica
<i>Selasphorus platycercus</i>	Zumbador cola ancha	Semiendémica
<i>Cyananthus latirostris</i>	Colibrí pico ancho	Semiendémica
<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano chibiú	Semiendémica
<i>Empidonax oberholseri</i>	Papamoscas matorralero	Semiendémica
<i>Empidonax occidentalis</i>	Papamoscas amarillo barranqueño	Semiendémica
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	Trepatroncos mexicano	Endémica

Taxa	Nombre Común	Categoría
<i>Vireolanius melitophrys</i>	Vireón arlequín	Cuasiendémica
<i>Vireo cassinii</i>	Vireo de Cassin	Semiendémica
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	Chara transvolcánica	Endémica
<i>Poecile sclateri</i>	Carbonero mexicano	Cuasiendémica
<i>Ptiliogonys cinereus</i>	Capulinerio gris	Cuasiendémica
<i>Campylorhynchus gularis</i>	Matraca serrana	Endémica
<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato azul	Endémica
<i>Atlapetes pileatus</i>	Rascador gorra canela	Endémica
<i>Icterus bullockii</i>	Calandria cejas naranjas	Semiendémica
<i>Icterus abeillei</i>	Calandria flancos negros	Endémica
<i>Icterus parisorum</i>	Calandria tunera	Semiendémica
<i>Leiothlypis crissalis</i>	Chipe de Colima	Semiendémica
<i>Setophaga nigrescens</i>	Chipe negrogris	Semiendémica
<i>Basileuterus rufifrons</i>	Chipe gorra canela	Cuasiendémica
<i>Cardellina rubrifrons</i>	Chipe cara roja	Semiendémica
<i>Cardellina rubra</i>	Chipe rojo	Endémica
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Picogordo tigrillo	Semiendémica
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza ganadera	Exótica

Para este estudio, en la CHF, los anfibios presentaron dos especies endémicas, los reptiles cinco, los mamíferos una y las aves siete especies endémicas, dando un total de 15 endemismos, representando el 12% del total de especies reportadas; las aves mostraron adicionalmente 13 especies semiendémicas, cuatro cuasiendémicas y una exótica que significan el 10.4%, 3.2% y 0.6%, respectivamente, de las 125 encontradas para el presente inventario, como se muestra en la siguiente figura.

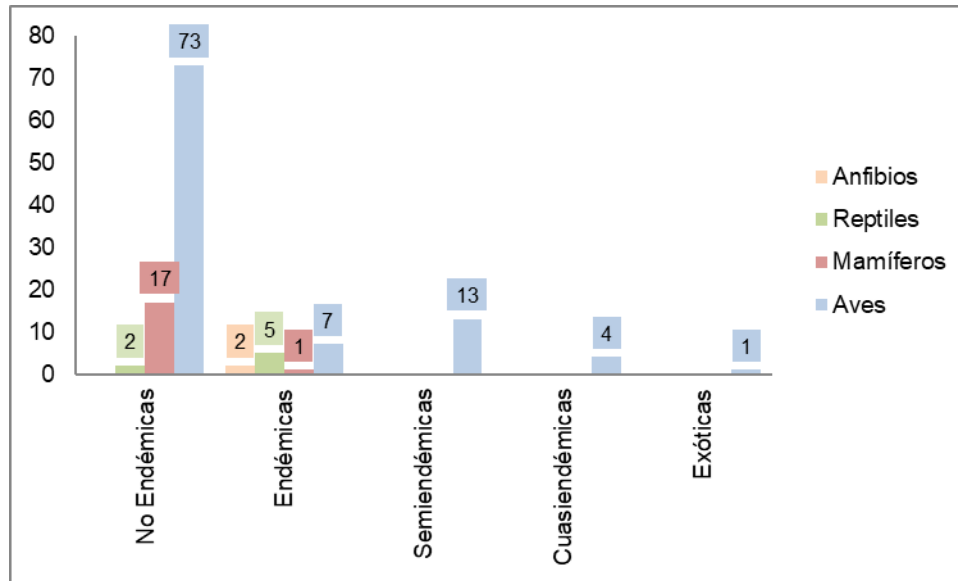


Figura IV—68. Proporción de especies endémicas para cada Clase de vertebrados, con respecto del total de especies caracterizadas para la CHF

Como se observa en la figura anterior, 32 de las especies registradas mantienen una distribución que se restringe espacial y temporalmente al territorio nacional. Con relación a lo anterior, se registraron 13 especies de aves consideradas semiendémicas de acuerdo con la clasificación propuesta por González-García y Gómez-de Silva (2003), es decir, que su distribución se restringe a México solamente durante una parte de su ciclo anual. De igual manera se registraron cuatro especies de aves cuasiendémicas, que son aquellas cuya distribución se extiende ligeramente (por continuidad ecológica u orográfica) a países vecinos fuera de los límites geopolíticos de México. Las aves fueron el único grupo que tuvo una especie exótica.

Estacionalidad

Con relación al estatus de residencia de la riqueza total registrada para la CHF, 97 especies fueron residentes permanentes y las restantes 28 residentes temporales. Se consideraron especies residentes permanentes a las que mantienen poblaciones

durante todo el año en el área de estudio, completando así su ciclo biológico en la localidad. Por otra parte, se tomaron en cuenta como residentes temporales a todas aquellas especies cuyas poblaciones completan sólo parte de su ciclo anual en la Cuenca Hidrológica Forestal del proyecto.

Entre estas especies se encuentran las aves migratorias de invierno, que permanecen en la CHF durante el otoño y el invierno, pero cada año durante el verano regresan a sus áreas de reproducción en Norteamérica.

Como se puede observar en las siguientes dos figuras, el número de especies residentes permanentes fue superior al de las residentes temporales. Para las residentes temporales, se registraron 28 especies de aves migratorias de invierno, entre las que se encuentran: *Leiothlypis crissalis* (Chipe de Colima), *Geothlypis tolmiei* (Chipe lores negros), *Selasphorus rufus* (Zumbador canelo) y *Piranga ludoviviana* (Piranga capucha roja) por mencionar algunas.

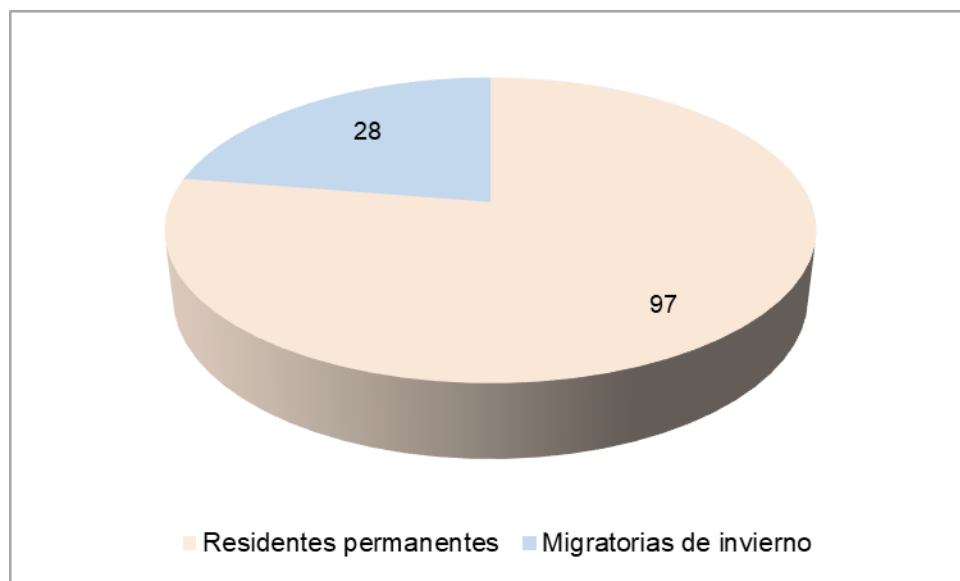


Figura IV—69. Número de especies registradas en la CHF del proyecto por estatus de residencia

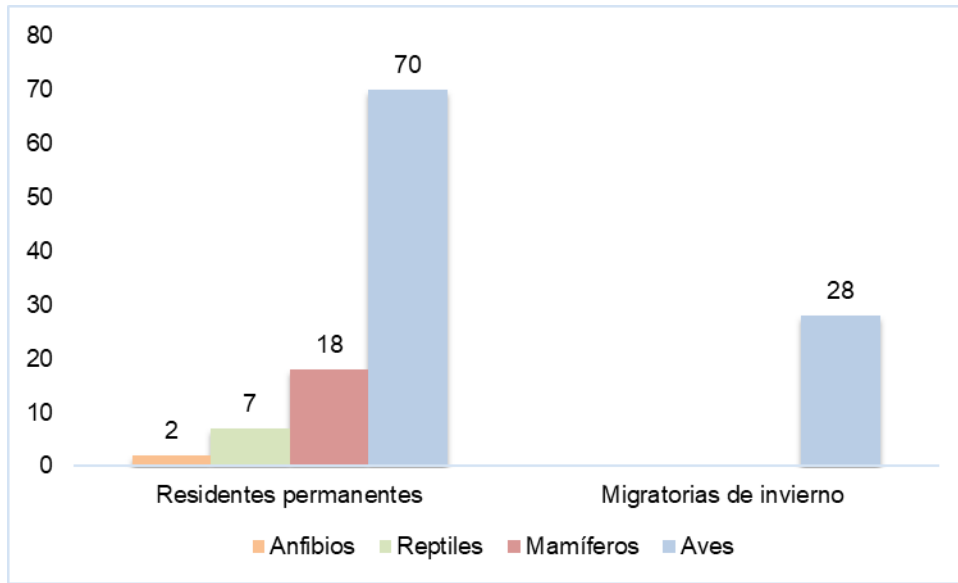


Figura IV—70. Número de especies por estatus de residencia para cada clase de vertebrados

Diversidad de fauna

Riqueza

Durante los muestreos de campo en la CHF se registró a un total de 125 especies de vertebrados terrestres, representadas por dos especies de anfibios, siete de reptiles, 18 de mamíferos y 98 de aves, tal como se muestra en la siguiente figura.

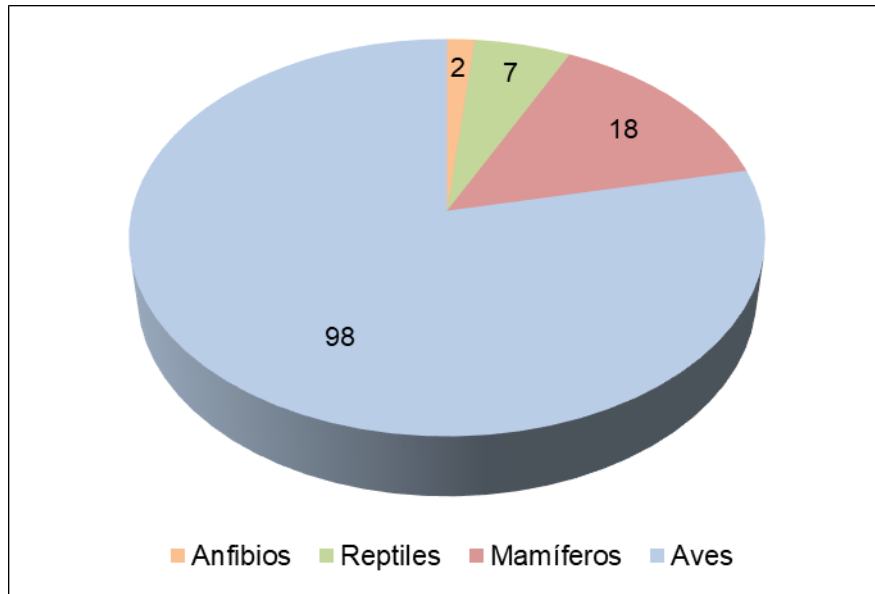


Figura IV—71. Riqueza de vertebrados obtenida durante los trabajos de campo en la CHF

Es necesario mencionar que, cuando se trabaja con comunidades faunísticas, existen limitaciones de espacio, tiempo, esfuerzo y recursos que, en todos los casos, impiden conocer a la totalidad de las especies que integran a una comunidad o que se distribuyen en un área determinada.

Partiendo de lo anterior y considerando además que las comunidades de fauna silvestre no se comportan como sistemas aislados y, por el contrario, son dinámicas espacial y temporalmente por estar sujetas a procesos naturales de emigración, inmigración, extinciones locales o nuevas colonizaciones, es posible establecer que no existen inventarios biológicos completos, y los existentes representan únicamente una fracción de la riqueza que se distribuyen en una región específica y en un tiempo determinado.

El número de especies es, quizás, el atributo más frecuentemente utilizado a la hora de describir una taxocenosis, ya que es una expresión mediante la cual se obtiene una idea rápida sencilla de su diversidad (Magurran, 1988; Gastón, 1996).

Por ello, los especialistas de distintas disciplinas relacionadas con el conocimiento de la biodiversidad han recurrido al empleo de métodos de muestreo probabilísticos, tal como los estimadores de riqueza (Colwell y Coddington, 1994, Colwell, 2000). A través del empleo de este tipo de estimadores, las curvas de acumulación nos permiten calcular el número (teórico esperado) de especies que existe en un área determinada, considerando la riqueza observada mediante los censos de campo y la tasa de encuentro de las mismas, bajo una medida de esfuerzo estandarizada (Díaz-Francés y Soberón, 2005).

Estimaciones de la riqueza esperada

Utilizando el programa *Species Accumulation vers. β* (Díaz-Francés y Soberón 2005) se analizó la riqueza de vertebrados esperada para el área de estudio con base en los siete días de muestreo, encontrando que, con un esfuerzo adicional de siete días de muestreo, se esperaría encontrar una riqueza de entre 142 y 128 especies dependiendo de dos estimadores (Exponencial y Clench) empleados. Ello implica que el muestreo de campo realizado durante el presente estudio registró entre el 88.02 y 97.65% de las especies detectables mediante transectos y días en la CHF. Lo anterior sugiere que el muestreo realizado es lo suficientemente completo, dado que el número de especies de vertebrados que podría hacer falta registrar sería tan bajo que difícilmente merecería una interpretación distinta a la establecida en este estudio.

En la siguiente figura se muestra la curva de acumulación de especies resultante y las modelaciones de la riqueza teórica. Se puede observar que los puntos rojos representan el número de especies registradas por cada uno de los siete transectos de muestreo, y las líneas en color muestran las especies que se esperaría encontrar con los diferentes estimadores en 14 días de muestreo dentro de la CHF.

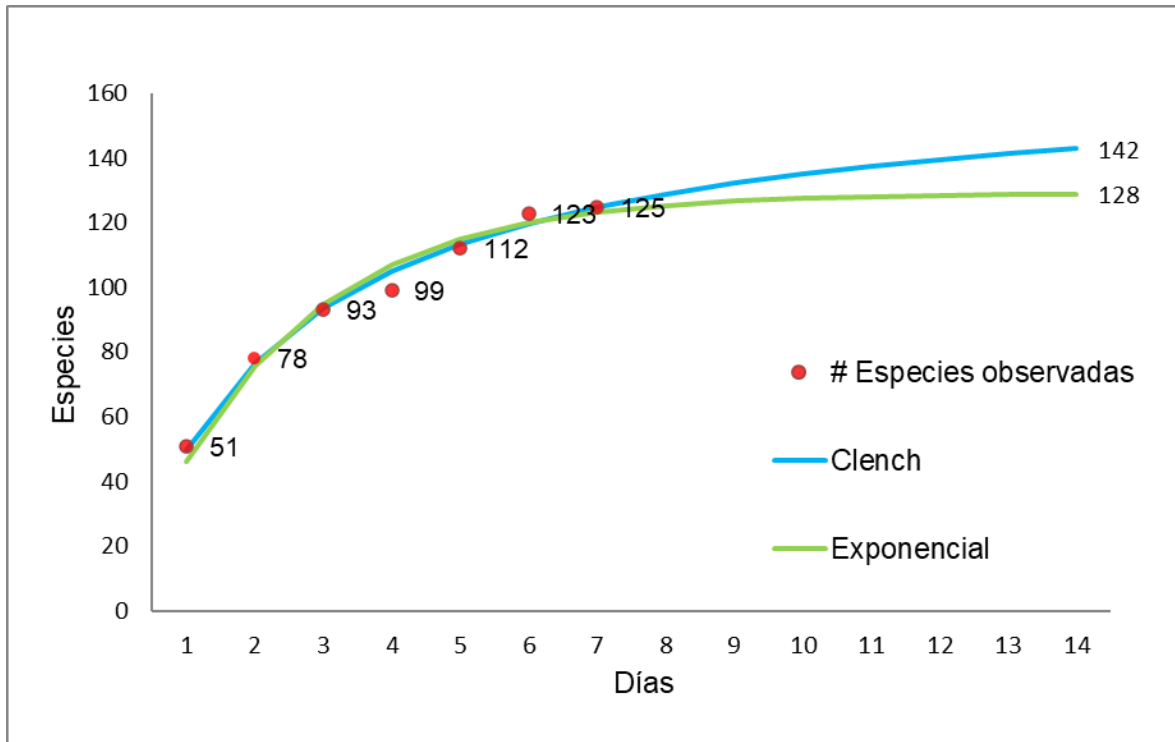


Figura IV—72. Curva de acumulación de las especies de vertebrados registradas en la CHF

Abundancia

Con respecto a la abundancia, se registró a un total de 702 individuos de vertebrados terrestres dentro de la CHF, de los cuales tres individuos pertenecen al grupo de anfibios, 28 fueron reptiles, 33 mamíferos y 638 individuos de aves, grupo que mostró la mayor abundancia.

Las especies más abundantes por grupo fueron, en el caso de las aves: la Golondrina verdemar (*Tachycineta thalassina*) con 43 individuos, el Pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*) con 38 individuos, el Gorrión cejas blancas (*Spizella passerina*) con 28 individuos y el Zopilote común (*Coragyps atratus*) con 25 individuos.

Con relación a los mamíferos, la Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y el Tlacuache (*Didelphis virginiana*) fueron las especies más abundantes con seis

ejemplares registrados cada una, siguiéndole el mapache (*Procyon lotor*) con cuatro ejemplares; de las especies restantes, se registraron entre uno y dos individuos.

De reptiles, la especie más abundante en la CHF fue la lagartija escamosa de mezquite (*Sceloporus grammicus*) con 14, siguiendo la lagartija espinosa de collar (*Sceloporus torquatus*) con cinco individuos, y después la lagartija espinosa de Dugés (*Sceloporus dugesi*) con cuatro ejemplares; el resto de las especies presentaron de dos a un registro individual.

En los anfibios, la ranita de montaña (*Hyla eximia*) fue la más abundante con dos individuos registrados; le sigue *Lithobates neovolcanicus* (rana leopardo neovolcánica) con un individuo.

La siguiente figura muestra las abundancias totales para cada una de las Clases de vertebrados registradas en la CHF del proyecto; la abundancia a nivel de cada especie se puede consultar en la Tabla IV—44 de este mismo documento.

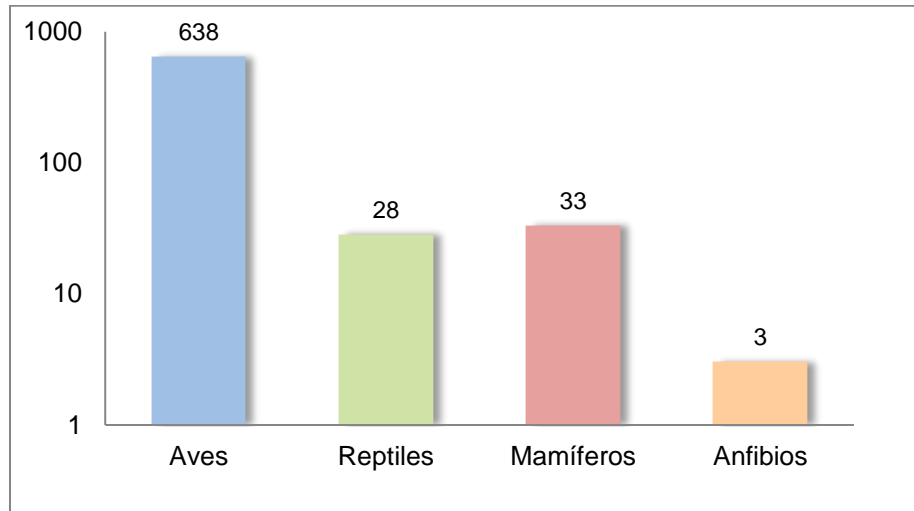


Figura IV—73. Abundancia de vertebrados registrados en la CHF. Gráfico en escala log. Base 10

IV.2.4.2.6 Conclusiones de la fauna silvestre registrada en la CHF

De acuerdo con los resultados obtenidos, la riqueza registrada durante el muestreo realizado en la CHF fue de 125 especies de vertebrados terrestres, agrupados de la siguiente manera:

Anfibios: reportamos dos especies, lo que significa el 0.53% de la riqueza nacional (376 especies) de acuerdo con Parra-Olea *et al.* (2014), y el 4.76% a nivel de Michoacán (42 especies) de acuerdo con Huacuz-Elías (2005).

Reptiles: encontramos siete especies que representan el 0.81% del total nacional (864 especies) de acuerdo con Flores-Villela *et al.* (2014) y el 5.03% del total del estado de Michoacán (139 especies) de acuerdo con Huacuz-Elías (2005).

Mamíferos: se registraron 18 especies que corresponden al 3.19% nacional (564 especies) y al 11.18% de Michoacán (161 especies) de acuerdo con Monterrubio *et al.* (2014).

Aves: fueron el grupo con la mayor riqueza de especies. Reportamos 98 especies que corresponden a un 8.52% del total nacional (1150 especies) y a un 17.91% a nivel de Michoacán (547 especies) (Villaseñor-Gómez, 2005).

Durante el trabajo de campo se registraron seis especies que se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010; ninguna de ellas considerada en la categoría de En Peligro de Extinción.

El grupo más vulnerable resultó ser el de la herpetofauna, ya que cuatro de las nueve especies de anfibios y reptiles registradas en el estudio prospectivo se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Dos especies están catalogadas como “Amenazadas (A)”, un anfibio (*Lithobates neovolcanicus*) y un reptil (*Pituophis deppei*); y dos están “Sujetas a Protección Especial (Pr)”, la lagartija *Sceloporus grammicus* y la víbora de cascabel (*Crotalus molossus*).

Después, encontramos al grupo de aves con dos especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010: el clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*) enlistada como Sujeta a Protección Especial (Pr) y *Geothlypis tolmiei* (Chipe lores negros) como Amenazada (A). Es importante señalar que, para el Chipe de lores negros (*Geothlypis tolmiei*), la única población que se encuentra protegida legalmente es la que se distribuye como residente permanente en el Cerro Potosí, en Nuevo León, de tal manera que la subespecie que se distribuye en la CHF corresponde a una subespecie distinta —ampliamente distribuida en todo el territorio nacional durante la temporada de invierno— y, por consiguiente, no se encuentra protegida por la legislación nacional.

Para el grupo de mamíferos, ninguna especie registrada se encuentra enlistada en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

IV.3 MEDIO SOCIOECONÓMICO

Para evaluar los efectos sociales y económicos que el proyecto tendrá sobre la población, es necesario describir cada uno de sus procesos actuales. La CHF definida para el presente proyecto incluye únicamente al municipio de Morelia, por lo que, en este apartado, nos abocaremos a describir los datos específicos de este municipio e incluiremos comparaciones con municipios aledaños (Pátzcuaro y Copándaro) y datos generales del estado de Michoacán cuando lo consideremos pertinente.

IV.3.1 Contexto regional

El estado de Michoacán de Ocampo se localiza en la parte oeste de México y limita al norte con Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el Estado de México, al sur con Guerrero, al suroeste con Colima, y al oeste con el Océano Pacífico. Ocupa una superficie de 58,598.7 km², lo que representa 3.0 % de la superficie del país (INEGI, 2020).

De acuerdo con la Regionalización Socioeconómica propuesta por el INEGI en el marco del XII Censo General de Población y Vivienda 2010 y basada en indicadores del bienestar como la educación, ocupación, salud, vivienda, y empleo, Michoacán se encuentra en el nivel 3 en la escala de ventaja relativa, siendo el nivel 1 el estrato de menor ventaja relativa y el 7, el de mayor ventaja relativa. Por lo tanto, se puede afirmar que Michoacán presenta un régimen socio-económico medio-bajo, tal y como se puede observar en la siguiente figura:

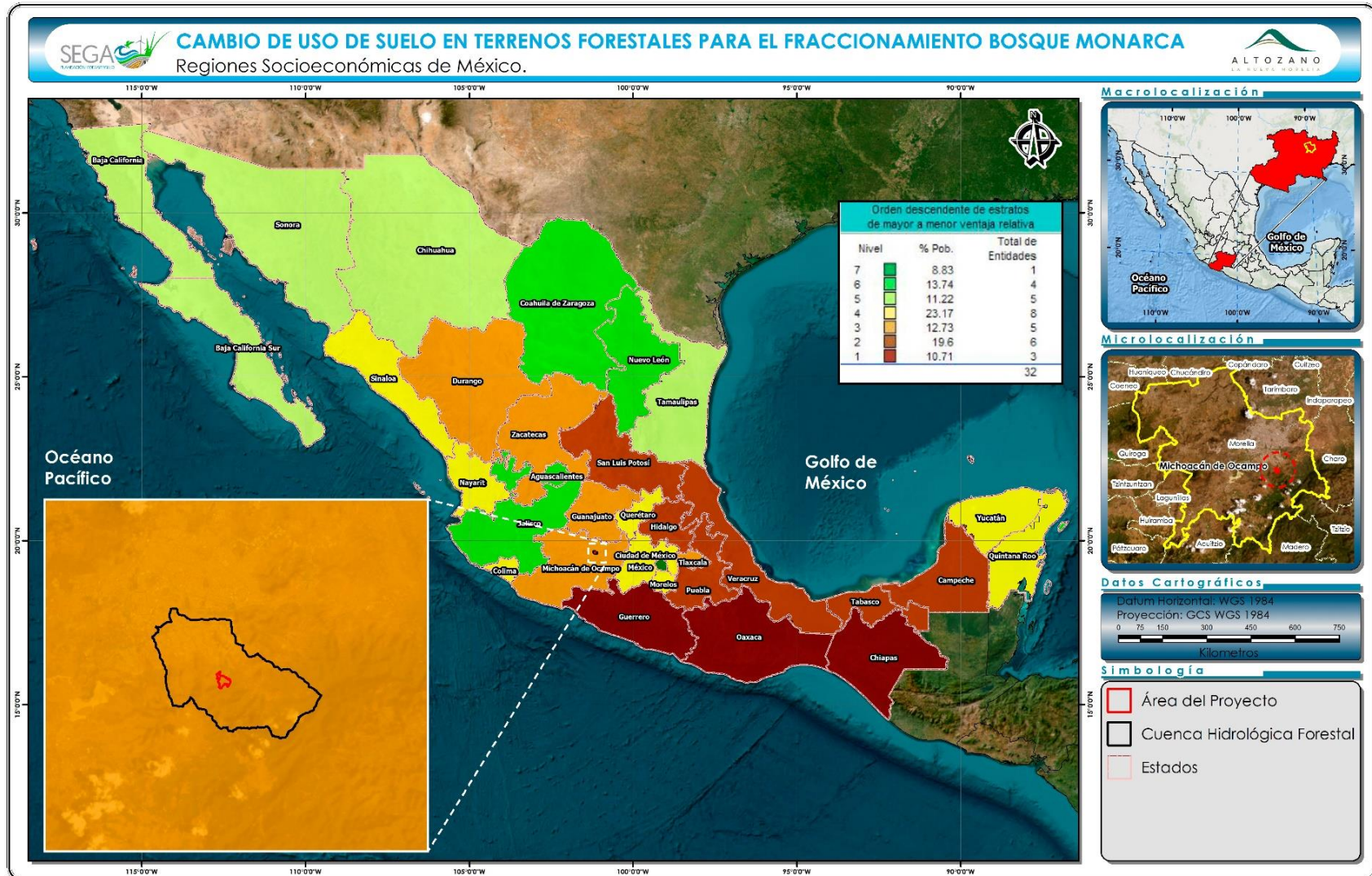


Figura IV—74. Regiones Socioeconómicas de México

Con respecto a su división política, Michoacán está integrado por 113 municipios agrupados en diez regiones (Gobierno de Michoacán, 2021):

1. Lerma-Chapala
2. Bajío
3. Cuitzeo
4. Oriente
5. Tepaltepec
6. Purépecha
7. Pátzcuaro-Zirahuén
8. Tierra Caliente
9. Sierra-Costa
10. Infiernillo

La CHF se ubica en la Ciudad de Morelia, que pertenece a la Región III Cuitzeo localizada en la zona centro-norte del Estado. Su cabecera es la capital del Estado de Michoacán. Limita al norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo, al este con Charo y Tzitzio, al sur con Villa Madero y Acuitzio, y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzan y Quiroga. Su distancia a la capital de la República es de 315 km (Gobierno de Michoacán, 2021).

El municipio de Morelia tiene una extensión territorial de 119,349.7 ha y representa el 2% por ciento del territorio total de Michoacán. Dentro de este municipio, 15,760 ha corresponden a la ciudad de Morelia, que constituye el área urbana de mayor extensión y población de Michoacán.

IV.3.2 Dinámica poblacional

a) Dinámica poblacional

En el año 2000, el Municipio de Morelia contaba con 620,532 habitantes, tenía una tasa de crecimiento poblacional promedio anual (1990-2000) de 2.35%, y su población representaba el 15.57% del total del Michoacán de Ocampo. De acuerdo con el II Censo de Población y Vivienda, para el año 2005 la población se había incrementado a 684,145 personas, de las cuales con 357,533 eran mujeres y eran 326,612 hombres.

En 2010, Morelia tenía 729,279 habitantes, lo cual representaba el 16.8% de la población del estado; su población creció a una tasa promedio anual de 1.6%, incrementándose en 109 mil personas entre los censos de 2000 y 2010.

En el último Censo de Población y Vivienda del año 2020, Morelia fue el municipio de Michoacán de Ocampo con mayor población, y contaba con 849,053 habitantes —407,129 hombres y 441,924 mujeres— y una tasa de crecimiento poblacional de 1.6%. De estos habitantes, 797,773 radicaban en la ciudad de Morelia.

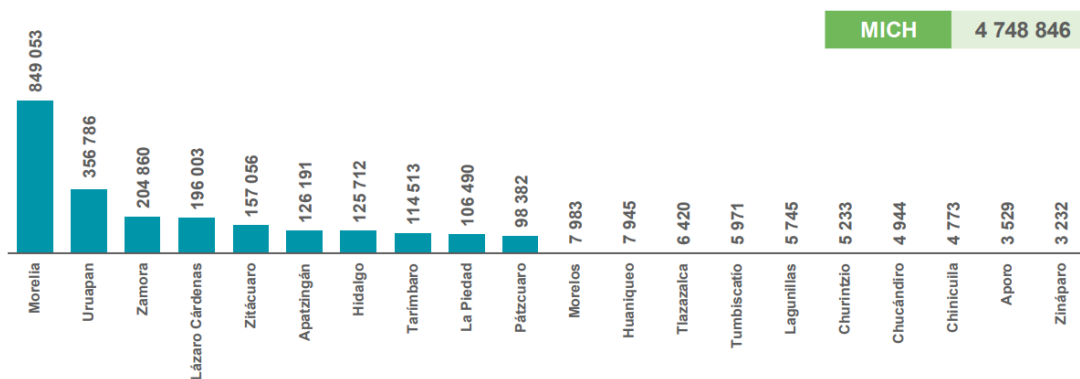


Figura IV—75. Municipios con mayor y menos población de Michoacán de Ocampo (2020).
Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020

En cuanto a la densidad de población, Morelia se encuentra por encima del promedio nacional, que es de 64 personas/km², y de Michoacán, que cuenta con 81 habitantes/km².

A nivel estatal, Michoacán de Ocampo registró una población de 4,748,846 habitantes en el último censo levantado por el INEGI en el año 2020; esto lo ubica en el noveno lugar a nivel nacional. El 32.5% de la población se encontraba en el grupo de edad de cero a diecisiete años, mientras que 19.4% tenían de 18 a 29 años, 35.4% se encontraban entre los 30 y los 59 años, y 12.7% tenían 60 años o más.

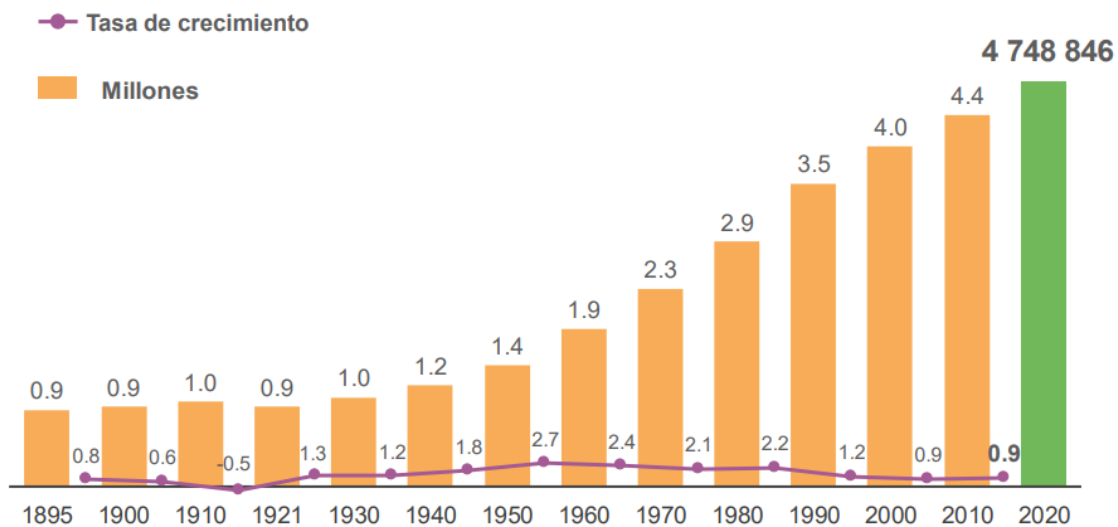


Figura IV—76. Población total y tasa de crecimiento promedio anual del estado de Michoacán de Ocampo (1895-2020). Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020

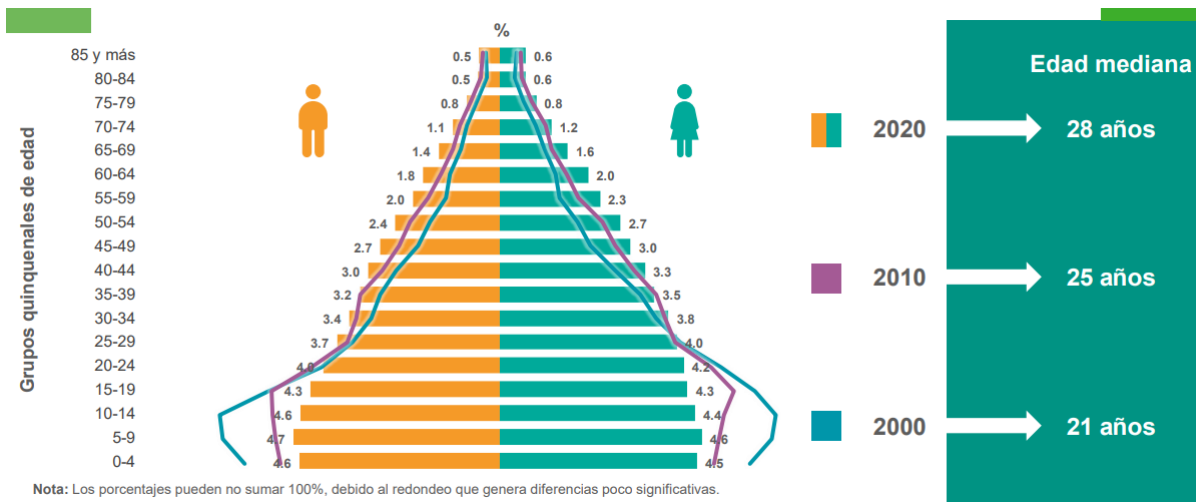


Figura IV—77. Estructura de la población del estado de Michoacán de Ocampo (2000, 2010 y 2020). Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020

La composición por sexo en la entidad es del 48.60% de hombres y el 51.40% por mujeres, siendo el rango de edad más sobresaliente el que oscila entre los 5 y 9 años.

b) Procesos Migratorios

La migración es el movimiento de personas a través de una división político-administrativa, para establecer una nueva residencia permanente (INEGI, s.f.). Se puede clasificar en emigración (salida de personas) e inmigración (entrada de personas) y puede ser interna (dentro del mismo país) o internacional (entre países).

Emigración interna. Michoacán ocupa el lugar 10 en emigración a nivel nacional. Entre 2015 y 2020 salieron 110,781 personas de Michoacán para vivir en otra entidad. El 16% de estos migrantes se mudaron a Jalisco, el 12% a Baja California, el 11% al Estado de México, el 9% a Guanajuato y el 9% a Querétaro. Cabe mencionar que 8,798 de estos migrantes salieron de Michoacán debido a la inseguridad o violencia (INEGI, 2020; s.f.; SEGOB, s.f.).

Inmigración interna. Michoacán es el decimoquinto estado en cuanto a la inmigración. Entre 2015 y 2020 inmigraron 91,650 personas provenientes de otras entidades federativas a Michoacán. De éstas, el 16% provenían de Guerrero, 15% del Estado de México, 13% de Jalisco, 11% de la Ciudad de México y 9% de Guanajuato (INEGI, 2020; s.f.). De los inmigrantes internos que arribaron a Michoacán, 6,620 llegaron por inseguridad o violencia (SEGOB, s.f.).

Emigración internacional. Michoacán está entre los tres primeros estados de la República con respecto al flujo de inmigrantes. Entre 2015 y 2020, más de 41,000 personas de la entidad emigraron al extranjero por motivos laborales y económicos (63.1%), familiares (15.5%), personales (10%), educativos (7.5%) u otros (3.5%). Los principales destinos de los michoacanos son California, Illinois y Texas (INEGI, 2020; s.f.).

Inmigración internacional. La población residente en el estado y nacida en otro país es de 46,593 habitantes. De estas personas, 42,936 nacieron en Estados Unidos de América, 511 personas en la Republica de Colombia y 422 en la República Bolivariana de Venezuela (INEGI, 2020; s.f.).

El saldo neto migratorio del estado de Michoacán de Ocampo en el año censal de 2020 fue de -520,684 (INEGI, s.f.).

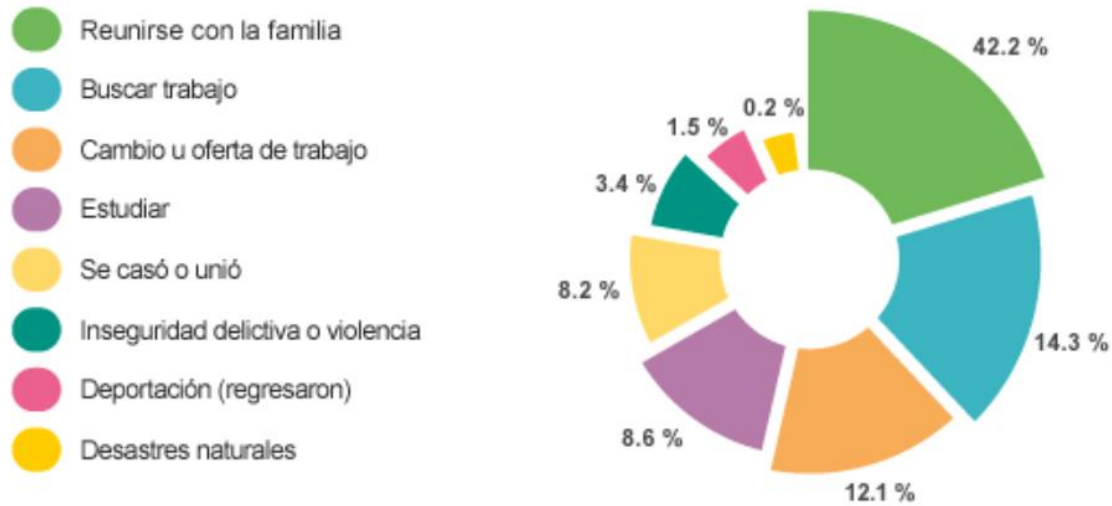


Figura IV—78. Causas de migración en Michoacán de Ocampo (2020)

Nota: Los porcentajes pueden no sumar 100 % porque no incluye otras causas y no especificado.

Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020

Con respecto a Morelia, es el principal municipio de recepción de migrantes de la entidad, recibiendo al 11.2% de ellos. La mayoría de los inmigrantes que ingresaron entre 2015 y 2020 provenían de Estados Unidos de América (4.39 mil personas), la República de Cuba (210 personas) y la República Bolivariana de Venezuela (129 personas). Las principales causas de migración a Morelia fueron familiares (2.87 mil personas), de vivienda (957 personas) y laborales (822 personas) (INEGI, 2020; s.f.). Complementariamente, junto con Uruapan, Zamora, Hidalgo y la Piedad, es de los principales municipios de expulsión de migrantes (SEGOB, s.f.).

IV.3.3 Actividades económicas

a) Población Económicamente Activa (PEA)

La Población Económicamente Activa (PEA) o fuerza laboral se refiere a todas las personas de 12 y más años que realizaron algún tipo de actividad económica (población ocupada), o que buscaron activamente hacerlo (población desocupada)

abierta) en los dos meses previos a la semana de levantamiento del censo. La PEA se clasifica en población ocupada y población desocupada abierta o activa (COESPO, 2021; INEGI, 2020; s.f.).

En 2020, el 62.1% de la población en Michoacán era económicamente activa, de la cual 39.7% eran mujeres y 60.3% eran hombres.

Como se ha descrito con anterioridad, el proyecto sólo se pretende desarrollar en el Municipio de Morelia. Sin embargo, para tener un punto de comparación, se hará referencia a dos Municipios colindantes a la capital de Michoacán: Pátzcuaro y Copándaro.

Derivado de lo anterior, en la siguiente tabla se señalan las cifras de la población económicamente activa de los tres municipios:

Tabla IV—48. PEA de 12 años y más por sexo

Municipio	PEA	% de la PEA hombres	% de la PEA mujeres
Morelia	443,435	55.12	44.88
Pátzcuaro	49,236	57.72	42.27
Copándaro	3,527	70.34	29.66

FUENTE: Elaboración propia con datos de COESPO Michoacán con base en Censo de Población y Vivienda 2020, INEGI

Con base en lo anterior, se observa que la PEA masculina supera a la femenina en los tres municipios, pero la diferencia entre sexos es menor en Morelia que en los otros municipios.

La PEA ocupada y desocupada de los tres municipios se presenta en la siguiente tabla:

Tabla IV—49. PEA Activa, Ocupada y Desocupada por Género

Morelia						
PEA		%	Ocupada	%	Desocupada	%
Total	443,435	100.00	434,620	98.01	8,815	1.99
Hombres	244,404	55.12	238,549	97.60	5,855	2.40
Mujeres	199,031	44.88	196,071	98.51	2,960	1.49
Pátzcuaro						
PEA		%	Ocupada	%	Desocupada	%
Total	49,236	100.00	48,555	98.62	681	1.38
Hombres	28,422	57.72	27,905	98.18	517	1.82
Mujeres	20,814	42.27	20,650	99.21	164	0.79
Copándaro						
PEA		%	Ocupada	%	Desocupada	%
Total	3,527	100.00	3,407	96.60	120	3.40
Hombres	2,481	70.34	2,368	95.45	113	4.55
Mujeres	1,046	29.66	1,039	99.33	7	0.67

FUENTE: COESPO Michoacán con base en Censo de Población y Vivienda 2020, INEGI

Pátzcuaro fue el municipio con el mayor porcentaje de PEA ocupada total (98.62%), seguido por Morelia (98.01%) y Copándaro (96.60%). Por lo tanto, Copándaro fue el municipio con mayor proporción de PEA desocupada total (3.40%), seguido por Morelia (1.99%) y Pátzcuaro (1.38%). Tomando en cuenta el género, Pátzcuaro tuvo la mayor proporción de PEA ocupada masculina (98.18%), y Copándaro la mayor proporción de hombres desocupados (4.55%). En cambio, Morelia tuvo la mayor proporción de PEA femenina desocupada (1.49%) y Copándaro, de mujeres ocupadas (99.33%) (COESPO, 2021; INEGI, 2020; s.f.).

b) Sectores productivos

En el estado de Michoacán, los sectores productivos con una participación mayor al PIB estatal son el comercio (24.6% de aportación contando el comercio mayorista y minorista), y el agropecuario, silvícola y pesquero (15.8% de aportación). Las

actividades inmobiliarias y de alquiler (12.3%), la industria manufacturera (9.9%) y los servicios educativos (6.7%) también contribuyen de manera importante al PIB estatal. Los sectores que menos aportan son los corporativos (0.1%), los servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios (0.2%) y la información en medios masivos (0.4%).

A continuación, se muestra una tabla con los porcentajes de aportación al PIB estatal, según cifras del INEGI (2020).

Tabla IV—50. Aportación al PIB estatal por actividad económica

Sector de actividad económica	Porcentaje de aportación al PIB estatal (año 2006)
Agropecuaria, silvicultura y pesca	15.8
Minería	0.5
Electricidad, gas y agua	2.4
Construcción	3.7
Industria manufacturera. Dentro de ésta, destacan las industrias metálicas básicas.	9.9
Comercio al por mayor	12.5
Comercio al por menor	12.1
Transporte, almacenaje y comunicaciones	5.4
Información en medios masivos	0.4
Servicios financieros y de seguros	3.5
Actividades inmobiliarias y de alquiler	12.3
Servicios profesionales, científicos y técnicos	0.8
Corporativos	0.1
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación	1.6
Servicios educativos	6.7
Servicios de salud y de asistencia social	2.9
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios	0.2

Sector de actividad económica	Porcentaje de aportación al PIB estatal (año 2006)
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	1.4
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	2.4
Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	5.3
Total	100

FUENTE: Elaboración propia con datos del INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2020

El sector primario no es significativo en el municipio de Morelia y se llevan a cabo pocas actividades relacionadas con agricultura y silvicultura. La mayor parte de los empleos formales se concentran en el sector terciario, principalmente en forma de la prestación de servicios sociales y comunales, de servicios para empresas, personas y el hogar, y del comercio. En Copándaro, la mayoría de los empleos formales se pertenecen al sector terciario y están asociados a los servicios para empresas, personas y el hogar, mientras que en Pátzcuaro dominan los empleos formales en el comercio.

Tabla IV—51. Empleo formal por sector económico.

Municipio	% en el sector primario	% en el sector secundario	% en el sector terciario
Morelia	0.0	18.3	80.0
Pátzcuaro	2.2	15.3	80.5
Copándaro	16.7	7.2	76.2

FUENTE: Elaboración propia con datos de USNE, con datos abiertos del IMSS en diciembre 2019. Nota: Sólo se incluyen los sectores económicos que representan 2% o más de la actividad económica municipal.

IV.3.4 Vivienda

En Morelia, la mayoría de las viviendas (60.74%) cuentan con piso de madera, mosaico u otro recubrimiento, mientras que en Pátzcuaro y Copándaro predominan los pisos de cemento o firmes (Tabla IV—52).

Tabla IV—52. Tipo de piso de la vivienda

Municipio	Total de viviendas habitadas y ocupadas	Piso de tierra %	Piso de cemento o firme %	Madera, mosaico u otro recubrimiento %	No especificado %
Morelia	244,054	2.21	36.81	60.74	0.24
Pátzcuaro	24,337	8.90	60.38	30.66	0.06
Copándaro	2,406	4.74	71.70	23.52	0.04

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

Con respecto al acceso los servicios básicos de la vivienda, la mayoría de las viviendas particulares habitadas de los municipios disponen de agua entubada, drenaje, energía eléctrica y excusado o sanitario. Sin embargo, de los tres municipios, las viviendas de Morelia son las que cuentan con mayor acceso a servicios básicos (Tabla IV—53).

Tabla IV—53. Acceso a servicios básicos de la vivienda

Servicios	Morelia	Pátzcuaro	Copándaro
Total de viviendas particulares habitadas	244,054	24,337	2,406
Disponibilidad de agua entubada			
Dispone de agua entubada (%)	97.12	89.74	96.72
No dispone de agua entubada (%)	2.65	10.19	3.24
No especificó (%)	0.23	0.06	0.04
Disponibilidad de drenaje			
Dispone de drenaje (%)	98.75	99.25	97.09
No dispone de drenaje (%)	0.99	0.69	2.87
No especificó (%)	0.26	0.06	0.04

Servicios	Morelia	Pátzcuaro	Copándaro
Disponibilidad de energía eléctrica			
Dispone de energía eléctrica (%)	99.47	99.25	99.29
No dispone de energía eléctrica (%)	0.21	0.69	0.67
No especificó (%)	0.32	0.06	0.04
Disponibilidad de excusado o sanitario			
Dispone de excusado o sanitario (%)	97.90	83.30	92.00
No dispone de excusado o sanitario (%)	2.10	16.70	3.82

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

Al comparar la disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y de la comunicación entre los tres municipios, se observa que la mayoría de las viviendas particulares habitadas tienen televisor y teléfono celular. A diferencia de Morelia, menos de la mitad de las viviendas de Pátzcuaro y Copándaro disponen de computadora e internet, por lo que están más limitadas en términos de comunicación (Tabla IV—54).

Tabla IV—54. Disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y comunicación.

Servicios	Morelia	Pátzcuaro	Copándaro
Total de viviendas particulares habitadas	244,054	24,337	2,406
Disponibilidad de televisor			
Dispone de televisor (%)	94.48	92.94	95.39
No dispone de televisor (%)	5.28	6.99	4.57
No especificó (%)	0.24	0.07	0.04
Disponibilidad de computadora laptop o tablet			
Dispone de computadora (%)	50.48	28.75	13.51
No dispone de computadora (%)	49.27	71.18	86.41
No especificó (%)	0.25	0.07	0.08
Disponibilidad de teléfono celular			
Dispone de teléfono celular (%)	93.76	87.69	86.20
No dispone de teléfono celular (%)	6.00	12.24	13.72
No especificó (%)	0.24	0.06	0.08
Disponibilidad de internet			
Dispone de internet (%)	65.33	43.92	23.07
No dispone de internet (%)	34.42	56.01	76.85
No especificó (%)	0.24	0.07	0.08

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020

De lo anterior se desprende que, en general, las condiciones de vivienda de los habitantes de Morelia son dignas, ya que, en su mayoría, disponen de acceso a servicios básicos como agua entubada, drenaje, energía eléctrica y sanitarios, además de que cuentan con dispositivos para acceder a la información y para comunicarse.

IV.3.5 Índices socioeconómicos

a) Índice de Marginación

El Índice de Marginación es una medida resumen de nueve indicadores socioeconómicos que permiten medir formas de la exclusión social y que son variables de rezago o déficit; es decir, indican el nivel relativo de privación en el que se subsumen importantes contingentes de población. De acuerdo con la CONAPO (2020), el grado de marginación de Morelia es muy bajo, en tanto que el Michoacán es alto.

b) Índice de Rezago Social

El Índice de Rezago Social es una medida que agrega en un solo índice variables de educación, acceso a servicios de salud, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y activos en el hogar (CONEVAL, 2020).

Los valores de los indicadores del Índice de Rezago Social para Morelia en 2020 fueron:

Tabla IV—55. Índice de Rezago Social de Morelia (2020)

Indicadores	Valores para Morelia (2020)
Porcentaje de la población de 15 años y más analfabeta.	2.8
Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela.	4.3
Porcentaje de la población de 15 años o más con educación básica incompleta.	23.8
Porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud.	32.2
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas con piso de tierra.	2.2
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario	0.6
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública.	2.6
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.	1.0
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica.	0.2
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora.	19.3
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador.	5.5
Índice de Rezago Social	-1.180576
Grado de Rezago Social	Muy bajo

De acuerdo con el CONEVAL (2020), el grado de rezago social de Morelia es muy bajo y el de Michoacán es alto.

c) Pobreza

De acuerdo con la Medición Multidimensional de la Pobreza 2020 del CONEVAL elaborada con información del INEGI (2020), en Morelia hay 228,710 personas en situación de pobreza, de las cuales 200,117 padecen pobreza moderada y 28,593 viven en pobreza extrema. Aunado a esto, hay 281,363 personas vulnerables por

carencia social, 62,506 personas vulnerables por ingresos y 266,580 personas que no son pobres ni se encuentran en situación de vulnerabilidad.

Proporcionalmente, Morelia presenta menos población en situación de pobreza que el estado de Michoacán, pero tiene un mayor porcentaje de personas vulnerables (Figura IV—79).

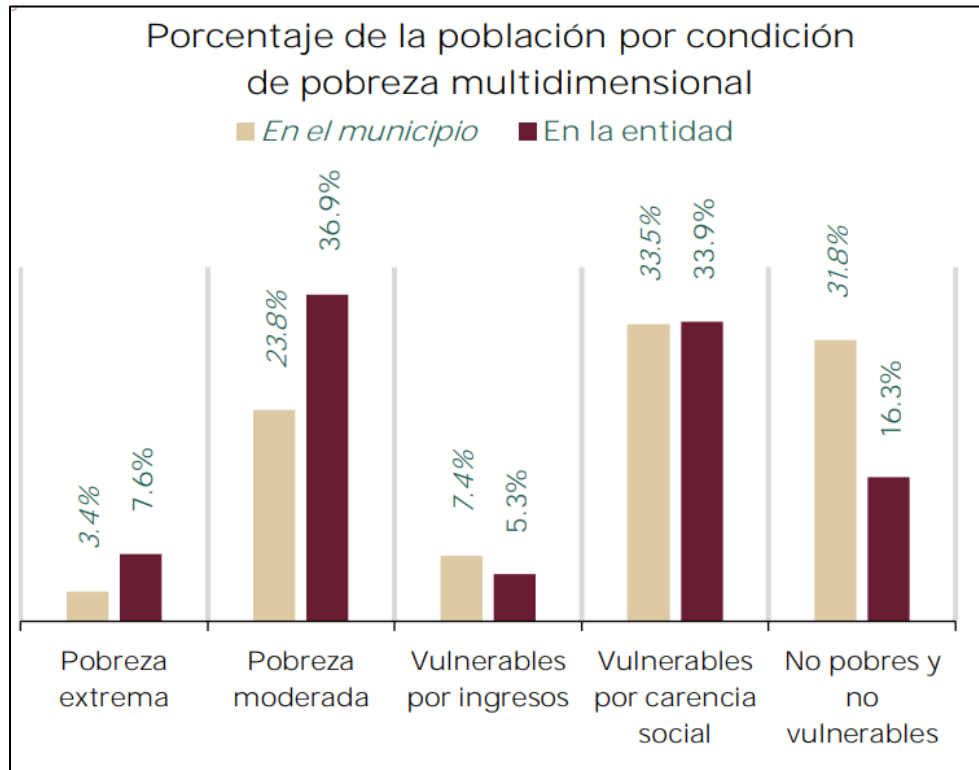


Figura IV—79. Porcentaje de la población por condición de pobreza multidimensional. Fuente: Secretaría de Bienestar con Información de CONEVAL e INEGI 2020

IV.3.6 Conclusiones del medio socioeconómico de la CHF

El municipio de Morelia, donde se ubica la CHF, presenta una estructura poblacional similar a la que se observa a nivel nacional, con un porcentaje ligeramente superior de mujeres que de hombres. Si bien la pirámide poblacional aún muestra una base amplia, comparada con las de 2000 y 2010 es evidente que está aumentando la proporción de la población con edades más avanzadas, a la vez que se reduce la tasa de natalidad.

Con respecto a la migración, el saldo neto migratorio de Michoacán es negativo, indicando que la emigración supera a la inmigración. Entre las causas de migración destacan los motivos profesionales y laborales, así como los familiares. No obstante, en los últimos años, la inseguridad y violencia también han cobrado importancia como motivos del desplazamiento de las personas. En el caso específico de Morelia, al ser la capital y el municipio más poblado del estado, es el que más expulsa y recibe migrantes.

En términos de las actividades económicas, la PEA ocupada del municipio de Morelia supera con creces a la desocupada y, aunque se compone por más hombres que mujeres, la diferencia en la proporción entre ambos sexos es menor que en otros municipios cercanos como Copándaro. Morelia difiere del estado de Michoacán en general en que las actividades agrícolas, silvícolas y pesqueras no son significativas en el municipio, y la mayor parte de la población con empleos formales participa en el sector terciario.

Prácticamente todas las viviendas particulares habitadas en el municipio de Morelia disponen de servicios básicos como agua entubada, drenaje, energía eléctrica y sanitarios, además de otros bienes relacionados con la tecnología e información como el televisor y los teléfonos celulares; más de la mitad de las viviendas también disponen de laptops o tablets y de internet. Por lo tanto, concluimos que las condiciones de vivienda en Morelia son, por lo general, dignas.

Tanto el grado de marginación como el de rezago social del municipio de Morelia son muy bajos, y el porcentaje de población no pobre y no vulnerable es mayor que el de Michoacán, por lo que los valores de los índices socioeconómicos de Morelia son favorables.

Por todo lo anterior, se considera que el proyecto “*Cambio de uso de suelo en terrenos forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca*” no tendrá un impacto negativo sobre ningún aspecto social o económico de la CHF dentro de la que se llevará a cabo.