Gobierno Municipal 2020-2024
HUICHAPAN
Gobierno de trabajo y transparencia

SECRETARIA GENERAL MUNICIPAL

EXP. No. HUI-SGM- 816/2024

ASUNTO: El que se indica

Huichapan, Hgo., a 27 de agosto de 2024.

L.D. ISELA MARTINEZ ANAYA
TITULAR DE LA UNIDAD DE TRASPARENCIA
DEL AYUNTAMIENTO DE HUICHAPAN
P R E S E N T E

Sirva el presente para enviarle un cordial y atento saludo, al mismo tiempo en relación con el oficio **No. UTMH/122/2024**, remito a usted el oficio en mencion, con los anexos correspondientes, a efecto de dar contestación a la información requerida en la **Plataforma Nacional de Transparencia y Acceso a la Información Pública, folio no. 130221300003924.**

Agradeciendo de antemano la atención brindada al presente oficio y sin otro particular por el momento quedo de usted.

SECRETARIA GENERAL HUICHAPAN, HGO 2020 - 2024

ATENTAMENTE

L.D. RENÉ CALLEJAS HERNÁNDEZ
SECRETARIO GENERAL MUNICIPAL.

L'RCH/tmg
C.C.P. EXPEDIE

HUICHAPAN
PUEBLO MÁGICO

Gobierno Municipal 2020-2024
HUICHAPAN
Gobierno de trabajo y transparencia

COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL, BOMBEROS Y GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS

Expo. No. HUI-CPCBGIR-328/2024

ASUNTO: Solicitud de Información

HUICHAPAN, HIDALGO., A 27 DE AGOSTO DE 2024.

L.D. RENÉ CALLEJAS HERNÁNDEZ
SECRETARIO GENERAL MUNICIPAL
HUICHAPAN, HIDALGO
PRESENTE.

Por medio del presente le envío un cordial y atento saludo, de la misma manera me dirijo a Usted para dar contestación al oficio UTMH/122/2024, referente a los siguientes puntos:

- El Municipio si cuenta con un Atlas de Riesgos Municipal que está vigente del año .
- Se anexa el actual Atlas de Riesgo Municipal del del Municipio de Huichapan.
- El Atlas de Riesgos Municipal se encuentra publicado.
- Si contamos con un Atlas de Riesgos Municipal y el cual está elaborado al 100% y se adjunta dicho documento.

Sin otro particular y por el momento, me despido quedando a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

PROTECCIÓN CIVIL

ATENTAMENTE

ING. CHRISTIAN JOEL MONROY VALENCIA
COORDINADOR DE PROTECCIÓN CIVIL, BOMBEROS Y GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS

SECRETARÍA GENERAL MUNICIPAL
GOBIERNO MUNICIPAL DE HUICHAPAN 2020 - 2024
RECIBIDO
27 AGO. 2024
HORA 16:14

HUICHAPAN
PUEBLO MÁGICO

ATLAS DE RIESGOS DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO

SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

Gobierno Municipal 2020-2024
HUICHAPAN
Gobierno de trabajo y transparencia

2023 Francisco VILLA

C. EMETERIO MORENO MAGO
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL DE HUICHAPAN, HIDALGO

C. KARLA STEPHANIA WILSON BARQUERA
SECRETARIA GENERAL MUNICIPAL DE HUICHAPAN, HIDALGO

ING. CHRISTIAN MONRROY VALENCIA
ENCARGADO DE PROTECCIÓN CIVIL DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO

ARQ. CARMEN VALDÉZ
DIRECTOR DE OBRAS PÚBLICAS DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO

ARQ. MARÍA TERESA CRUZ ARANZOLO
SECRETARIO GENERAL MUNICIPAL DE HUICHAPAN, HIDALGO

INSTITUCIÓN EJECUTORA
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

MTRA. FLOR DE MARÍA HARP ITURRIBARRÍA
DIRECTORA GENERAL

ING. ENRIQUE GUSTAVO ESPINOSA ARÁMBURU
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

ING. FRANCISCO DE JESÚS CAFAGGI FÉLIX
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y EXPERIMENTACIÓN

ING. PEDRO RUBÉN MIRELES CALIXTO
GERENTE DE HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA AMBIENTAL

M. en C. MARTHA ANGÉLICA SALAS MARTÍN
COORDINADORA DE PROYECTOS DE PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS

PERSONAL TÉCNICO QUE ELABORÓ EL ESTUDIO:

ING. ENRIQUE MARTINEZ VALENCIA
ING. JOSÉ NEY ARANDA OSORIO
ING. SARA BALCÁZAR GARCÍA
ING. KARLA SALGADO BECERRIL

CONTENIDO:

I. FASE I. MARCO TEÓRICO 12

I.1 INTRODUCCIÓN 12
I.2 ANTECEDENTES 12
I.3 OBJETIVOS 14
I.3.1 GENERAL 14
I.3.2 ESPECÍFICOS 14
I.4 LOCALIZACIÓN 14
I.5 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA 15
I.5.1 MAPA BASE A NIVEL ESTADO 17
I.5.2 MAPA BASE A NIVEL MUNICIPIO 17
I.5.3 MAPA BASE A NIVEL CABECERA MUNICIPAL 18
I.5.4 MAPA BASE A NIVEL AGEB Y MANZANA 18
I.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL 23
I.6.1 FISIOGRAFÍA 23
I.6.2 GEOMORFOLOGÍA 23
I.6.3 MARCO GEOLÓGICO 27
I.6.4 EDAFOLOGÍA 32
I.6.5 HIDROGRAFÍA 33
I.6.6 CUENCAS 34
I.6.7 CLIMA 39
I.6.8 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 41
I.6.9 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 41
I.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS 44
I.7.1 DINÁMICA DEMOGRÁFICA 44
I.7.2 CARACTERÍSTICAS SOCIALES 52
I.7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA 68
I.7.4 RESERVA TERRITORIAL 74

II. FASE II. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y PELIGROS, ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL 75

II.1.1 VULCANISMO 75
II.1.2 SISMICIDAD 93
II.1.3 TSUNAMIS O MAREMOTOS 109
II.1.4 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM) 112
II.1.4.1 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO 119
II.1.4.2 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR CAÍDA DE BLOQUES 125
II.1.4.3 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJOS (LODO Y DETRITOS) 138
II.1.4.4 BANCOS DE MATERIAL 145
II.1.4.5 HUNDIMIENTOS – SUBSIDENCIA – AGRIETAMIENTOS 149
II.1.5 EROSIÓN 156
II.2 FENÓMENOS NATURALES DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO 156
II.2.1 ONDAS CÁLIDAS Y GÉLIDAS 164
II.2.2 SEQUÍA 182
II.2.3 HELADAS 199
II.2.4 TORMENTAS DE GRANIZO 212
II.2.5 TORMENTAS DE NIEVE 222
II.2.6 CICLONES TROPICALES (HURACANES-ONDAS TROPICALES) 225
II.2.7 PRECIPITACIÓN Y LLUVIAS EXTREMAS 232
II.2.8 INUNDACIONES 246
II.2.9 TORNADOS 250
II.2.10 TORMENTAS DE POLVO 258
II.2.11 TORMENTAS ELÉCTRICAS 259
II.3 FENÓMENOS QUÍMICOS TECNOLÓGICOS 269
II.3.1 ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS 269
II.3.2 TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS 281
II.3.3 TRANSPORTE POR DUCTOS DE SUSTANCIAS PELIGROSAS 287
II.3.4 INCENDIOS FORESTALES 293

III. FASE III. VULNERABILIDAD 302

III.1 VULNERABILIDAD SOCIAL 302
III.2 VULNERABILIDAD FÍSICA 309

IV. FASE IV. RIESGO/EXPOSICIÓN 313

IV.1 DETERMINACIÓN DEL RIESGO 313
IV.2 FENÓMENOS GEOLÓGICOS 313
IV.2.1 RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 313
IV.3 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS 329
IV.3.1 RIESGO POR INUNDACIONES 329

V. FASE V. PROPUESTA DE ESTUDIOS, OBRAS Y ACCIONES 342

V.1 FENÓMENOS GEOLÓGICOS 342
V.1.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 342
V.2 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS 345
V.2.1 INUNDACIONES 345

VI. BIBLIOGRAFÍA 346

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA I.1 FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL (GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS). 13
FIGURA I.2 MÉTODO GENERAL DE TRABAJO. 14
FIGURA I.3 PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO....16
FIGURA I.5.1.1MAPA BASE A NIVEL ESTADO, EN DONDE SE RESALTA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN EN EL ESTADO DE HIDALGO 19
FIGURA I.5.2.1 MAPA BASE A NIVEL MUNICIPAL....20
FIGURA I.5.3.1 MAPA BASE A NIVEL CENTRO DE POBLACIÓN 21
FIGURA I.5.4.1 MAPA BASE A NIVEL AGEB – MANZANA. 22
FIGURA I.6.1.1 PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS FISIOGRÁFICAS. 24
FIGURA I.6.2.1 TOPOFORMAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 25
FIGURA I.6.2.2 MAPA DE PENDIENTES PRESENTE EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN....26
FIGURA I.6.3.1 MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 28
FIGURA I.6.3.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN 31
FIGURA I.6.4.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN 35
FIGURA I.6.5.1 ENTIDADES HIDROLÓGICAS Y ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 36
FIGURA I.6.6.1 CUENCAS, SUBCUENCAS Y ORDEN DE ESCURRIMIENTO PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN....37
FIGURA I.6.6.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 38
FIGURA I.6.7.1 CLIMAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 40
FIGURA I.6.8.1 VEGETACIÓN Y USO DE SUELO PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 42
FIGURA I.6.9.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LAS CERCANÍAS DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN....43
FIGURA I.7.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR LOCALIDAD....46
FIGURA I.7.1.2 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR MANZANA. 47
FIGURA I.7.1.3 DENSIDAD DE LA POBLACIÓN POR LOCALIDAD. 48
FIGURA I.7.1.4 DENSIDAD DE LA POBLACIÓN POR MANZANA. 49
FIGURA I.7.2.1 POBLACIÓN SIN ESCOLARIDAD POR LOCALIDAD. 55
FIGURA I.7.2.2 POBLACIÓN SIN ESCOLARIDAD POR MANZANA....56
FIGURA I.7.2.3 POBLACIÓN ANALFABETA POR LOCALIDAD....57
FIGURA I.7.2.4 POBLACIÓN ANALFABETA POR MANZANA....58
FIGURA I.7.2.5 POBLACIÓN QUE HABLA ALGUNA LENGUA INDÍGENA POR LOCALIDAD. 59
FIGURA I.7.2.6 POBLACIÓN SIN DERECHOHABIENCIA POR LOCALIDAD....60
FIGURA I.7.2.7 POBLACIÓN SIN DERECHOHABIENCIA POR MANZANA....61
FIGURA I.7.2.8 POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD POR LOCALIDAD....64
FIGURA I.7.2.9 POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD POR MANZANA. 65
FIGURA I.7.2.10 ÍNDICE DE MARGINACIÓN POR LOCALIDAD. 66
FIGURA I.7.2.11 ÍNDICE DE MARGINACIÓN POR MANZANA. 67
FIGURA I.7.3.1 HACINAMIENTO POR LOCALIDAD. 69
FIGURA I.7.3.2 HACINAMIENTO POR MANZANA. 70
FIGURA I.7.3.3 VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA POR LOCALIDAD. 71
FIGURA I.7.3.4 VIVIENDAS CON SERVICIOS POR LOCALIDAD. 72
FIGURA I.7.3.5 VIVIENDAS CON SERVICIOS POR MANZANA. 73
FIGURA II.1.1.1 ROCAS VOLCÁNICAS ASOCIADAS A LA CALDERA DE HUICHAPAN. 76
FIGURA II.1.1.2 MÉTODO DE TRABAJO VULCANISMO. 77
FIGURA II.1.1.3 VOLCANES Y CAMPOS VOLCÁNICOS DE MÉXICO. 79
FIGURA II.1.1.4 VOLCANES ACTIVOS DENTRO DE UN RADIO DE 100 KM DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN....80
FIGURA II.1.1.5 AMENAZA POR CAÍDA DE CENIZA. WORLD TERRAIN 83
FIGURA II.1.1.6 AMENAZA POR PROYECTILES BALÍSTICOS....84
FIGURA II.1.1.7 AMENAZA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS. 85
FIGURA II.1.1.8 AMENAZA POR LAHAR O FLUJO DE LODO. 87
FIGURA II.1.1.9 AMENAZA POR FLUJO O COLADA DE LAVA. 88
FIGURA II.1.1.10 AMENAZA POR ONDAS DE CHOQUE. 89
FIGURA II.1.1.11 AMENAZA POR LLUVIA ÁCIDA Y GASES. 90
FIGURA II.1.2.1 ESQUEMA DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS....93
FIGURA II.1.2.2 TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS. 93
FIGURA II.1.2.3 PLACAS TECTÓNICAS QUE AFECTAN EL TERRITORIO MEXICANO Y EPICENTROS CON MAGNITUD >5.5° EN ESCALA RICHTER. 96
FIGURA II.1.2.4 MÉTODO DE TRABAJO PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO. 97
FIGURA II.1.2.5 MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS DEL TERRENO PARA EL SISMO DEL 19/09/2017, CON EPICENTRO EN AXOCHIAPAN, MORELOS....98
FIGURA II.1.2.6 MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS DEL TERRENO PARA EL SISMO DEL 07/09/2021, CON EPICENTRO EN ACAPULCO, GUERRERO. 99
FIGURA II.1.2.7 REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA Y UBICACIÓN DEL ESTADO DE HIDALGO. 101
FIGURA II.1.2.8 SISMICIDAD EN LOS ESTADOS DE HIDALGO, ,MÉXICO Y QUERÉTARO. 102
FIGURA II.1.2.9 MAGNITUD DE LOS SISMOS CON EPICENTRO EN HIDALGO Y UBICACIÓN DE LOS EPICENTROS MÁS CERCANOS AL MUNICIPIO DE HUICHAPAN....105
FIGURA II.1.2.10 ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS. 106
FIGURA II.1.2.11 ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. 107
FIGURA II.1.2.12 ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS. 108
FIGURA II.1.3.1 DISTANCIA DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN A LOS LÍMITES DE COSTA DEL OCÉANO PACÍFICO Y DEL GOLFO DE MÉXICO....111
FIGURA II.1.4.1. ESQUEMA DE MODIFICACIONES ANTRÓPICAS QUE ALTERAN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD....113
FIGURA II.1.4.2. A Y B. DIFERENTES TIPOS DE DESLIZAMIENTOS QUE SE PRESENTAN EN LA INESTABILIDAD DE LADERAS. 113
FIGURA II.1.4.3. CAÍDA DE ROCAS POR DESPRENDIMIENTO Y RODAMIENTO. 114
FIGURAS II.1.4.4. A, B, C. MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES. CAÍDA POR FLEXIÓN (A), CAÍDA POR VOLTEO (B) Y CAÍDA POR CUÑA. (C)....114
FIGURAS II.1.4.5. A, B, C, D, E. DIFERENTES TIPOS DE MOVIMIENTOS EN LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA. 115
FIGURAS II.1.4.6. A, B. EXTENSIÓN LATERAL EN ROCA (A) Y EN MATERIAL BLANDO (B), MOVIMIENTOS POR LICUACIÓN O FLUIDIZACIÓN DEL MATERIAL SUBYACENTE. 115
FIGURA II.1.4.7. MOVIMIENTOS COMBINADOS DONDE SE PUEDEN GENERAR CAÍDA DE BLOQUES Y DESLIZAMIENTOS SOBRE UN PLANO DE FALLA. 115
FIGURA II.1.4.8. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO EMPLEADA EN LA DETERMINACIÓN DE MAPAS ÍNDICES DE SUSCEPTIBILIDAD POR PRM. 116
FIGURA II.1.4.9. ABANICO DE CORRELACIÓN ENTRE EL VALOR DE REBOTE DE MARTILLO SCHMIDT Y PESO ESPECÍFICO. 117
FIGURA II.1.4.10. FICHA DE CAMPO PARA EVALUAR EL MACIZO ROCOSO. 117
FIGURA II.1.4.11. FICHA DE CAMPO PARA DESLIZAMIENTOS. 118
FIGURA II.1.4.12. FICHA DE CAMPO PARA FLUJO DE DETRITOS. 118
FIGURA II.1.4.1.1.A-J. FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTOS. 123
FIGURA II.1.4.1.2. MAPA ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 124
FIGURA II.1.4. 2.1.A-J. FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR CAÍDA DE BLOQUES....129
FIGURA II.1.4. 2.2. MAPA ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR CAÍDA DE BLOQUES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 130
FIGURA II.1.4.2.4 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH02**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA. 132
FIGURA II.1.4.2.5 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH03**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA. 132
FIGURA II.1.4.2.6 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH04**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA. 133
FIGURA II.1.4.2.7 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH05**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA Y VOLTEO. 134

FIGURA II.1.4.2.8 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH06**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA.....134
FIGURA II.1.4.2.9 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH07**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA.....135
FIGURA II.1.4.2.10 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH08**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA Y FALLA PLANA.....136
FIGURA II.1.4.2.11 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH09**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA.....136
FIGURA II.1.4.2.12 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH10**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA.....137
FIGURA II.1.4.2.13 INTERPRETACIÓN ESTEREOGRÁFICA (**CH11**) DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. CAÍDA POR CUÑA.....138
FIGURA II.1.4.3.1.A-J. FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJOS (LODO Y DETRITOS).....141
FIGURA II.1.4.3.2. MAPA ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO.....142
FIGURA II.1.4.4.1 UBICACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL QUE SE ENCUENTRAN EN ZONAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO.....148
FIGURA II.1.4.1 SUBSIDENCIA POR DISOLUCIÓN DE ROCAS CARBONATADAS.....149
FIGURA II.1.4.2 SUBSIDENCIA POR CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS.....150
FIGURA II.1.4.3 SUBSIDENCIA POR EROSIÓN SUBTERRÁNEA.....150
FIGURA II.1.4.4 SUBSIDENCIA POR FLUJO LATERAL (A) EN MATERIALES SALINOS Y (B) ARCILLAS PLÁSTICAS.....150
FIGURA II.1.4.5 SUBSIDENCIA TIPO COMPACTACIÓN POR CARGA.....150
FIGURA II.1.4.6 SUBSIDENCIA TIPO COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN.....151
FIGURA II.1.4.7 SUBSIDENCIA TIPO COMPACTACIÓN POR EXTRACCIÓN DE FLUIDOS.....151
FIGURA II.1.4.8 SUBSIDENCIA POR HIDROCOMPACTACIÓN.....151
FIGURA II.1.4.9 DIAGRAMA DEL MÉTODO DE TRABAJO PARA HUNDIMIENTOS.....152
FIGURA II.1.4.10 MAPA DE UBICACIÓN DE SUCESOS REPORTADOS EN LA CABECERA MUNICIPAL.....155
FIGURA II.1.6. MÉTODO DE TRABAJO PARA EL NIVEL DE INFORMACIÓN DE EROSIÓN DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO.....158
FIGURA II.1.6.1 PÉRDIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO.....160
FIGURA II.1.6.2 EROSIÓN EÓLICA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO.....161
FIGURA II.2.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA TEMPERATURAS EXTREMAS.....164
FIGURA II.2.1.2 UBICACIÓN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS.....167
FIGURA II.2.1.4 ÍNDICE DE RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS EN EL ESTADO DE HIDALGO.....169
FIGURA II.2.1.5 TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....170
FIGURA II.2.1.6 TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTREMAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....172
FIGURA II.2.1.7 GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....173
FIGURA II.2.1.8 TEMPERATURA MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS.....175
FIGURA II.2.1.9 TEMPERATURA MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS.....176
FIGURA II.2.1.10 TEMPERATURA MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.....177
FIGURA II.2.1.11 TEMPERATURA MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....178
FIGURA II.2.1.12 TEMPERATURA MÍNIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS.....180
FIGURA II.2.1.13 TEMPERATURA MÍNIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS.....181
FIGURA II.2.2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA OBTENER EL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD POR SEQUÍA.....184
FIGURA II.2.2.2 UBICACIÓN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE SEQUÍA PARA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....185
FIGURA II.2.2.3 ÍNDICE DE SEVERIDAD DE LA SEQUÍA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....188
FIGURA II.2.2.4 PORCENTAJE DE INTENSIDAD DE LA SEQUÍA INTRAESTIVAL EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....191
FIGURA II.2.2.5 DURACIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA.....193
FIGURA II.2.2.6 ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN-EVAPOTRANSPIRACIÓN A TRES MESES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....196
FIGURA II.2.2.7 ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN-EVAPOTRANSPIRACIÓN A 12 MESES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....197
FIGURA II.2.3.1 LAS NUBES REINTEGRAN CALOR A LA TIERRA Y DISMINUYE LA OCURRENCIA DE HELADAS.....199
FIGURA II.2.3.2 CUANDO EL CIELO ESTÁ DESPEJADO AUMENTA LA RADIACIÓN DE CALOR DEL SUELO HACIA EL ESPACIO Y FAVORECE LA OCURRENCIA DE HELADAS.....199
FIGURA II.2.3.3 ELEMENTOS QUE INTEGRAN LA RADIACIÓN SOLAR.....200
FIGURA II.2.3.4 MÉTODO DE TRABAJO TEMPERATURAS EXTREMAS.....201
FIGURA II.2.3.5 PROMEDIO ANUAL DE DÍAS CON HELADAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....203
FIGURA II.2.3.6 TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....204
FIGURA II.2.3.7 ÍNDICE DE PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....205
FIGURA II.2.3.8 ÍNDICE DE PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS A NIVEL ESTATAL.....206
FIGURA II.2.3.9 PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS POR HELADAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....208
FIGURA II.2.3.10 PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS POR HELADAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....209
FIGURA II.2.3.11 PERIODO DE RETORNO DE 15 AÑOS POR HELADAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....210
FIGURA II.2.3.12 PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS POR HELADAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....211
FIGURA II.2.4.1 MÉTODO DE TRABAJO POR GRANIZADAS.....212
FIGURA II.2.4.2 PROMEDIO ANUAL DE DÍAS CON GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....214
FIGURA II.2.4.3 ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS DE GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....215
FIGURA II.2.4.4 ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS DE GRANIZO A NIVEL ESTATAL.....216
FIGURA II.2.4.5 PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS PARA TORMENTAS DE GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....218
FIGURA II.2.4.6 PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS PARA TORMENTAS DE GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....219
FIGURA II.2.4.7 PERIODO DE RETORNO A 15 AÑOS PARA TORMENTAS DE GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....220
FIGURA II.2.4.8 PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS PARA TORMENTAS DE GRANIZO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....221
FIGURA II.2.5.1 ÍNDICE DE PELIGRO POR NEVADAS PARA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....223
FIGURA II.2.5.2 ÍNDICE DE PELIGRO POR NEVADAS A NIVEL ESTATAL.....224
FIGURA II.2.6.1 DIAGRAMA DE MÉTODO DE TRABAJO PARA CICLONES TROPICALES.....228
FIGURA II.2.6.2 FRECUENCIA DE TRAYECTORIAS DE CICLONES TROPICALES EN EL ESTADO DE HIDALGO.....230
FIGURA II.2.6.3 GRADO DE PELIGRO POR CICLONES TROPICALES EN EL ESTADO DE HIDALGO.....231
FIGURA II.2.7.1 DIAGRAMA DE MÉTODO DE TRABAJO PARA PRECIPITACIÓN Y LLUVIAS EXTREMAS.....233
FIGURA II.2.7.2 PRECIPITACIÓN ACUMULADA PROMEDIO ANUAL EN EL PERIODO DE 1986 A 2017 EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....235
FIGURA II.2.7.3 PRECIPITACIÓN ACUMULADA PROMEDIO DE LOS MESES DE NOVIEMBRE A MAYO EN EL PERIODO DE 1986 A 2017 EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....236
FIGURA II.2.7.4 PRECIPITACIÓN ACUMULADA PROMEDIO DE LOS MESES DE JUNIO A OCTUBRE EN EL PERIODO DE 1986 A 2017 EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....237
FIGURA II.2.7.5 CONFIGURACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN MUY LLUVIOSO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....240
FIGURA II.2.7.6 VALORES DE LOS PERIODOS DE RETORNO A 5 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....241
FIGURA II.2.7.7 VALORES DE LOS PERIODOS DE RETORNO A 10 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....242
FIGURA II.2.7.8 VALORES DE LOS PERIODOS DE RETORNO A 20 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....243

FIGURA II.2.7.9 VALORES DE LOS PERIODOS DE RETORNO A 50 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 244
FIGURA II.2.7.10 VALORES DE LOS PERIODOS DE RETORNO A 100 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 245
FIGURA II.2.8.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA INUNDACIONES. 247
FIGURA II.2.8.2 ZONAS INUNDABLES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 249
FIGURA II.2.9.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA TORNADOS. 253
FIGURA II.2.9.2 DENSIDAD DE TORNADOS EN LA REGIÓN. 255
FIGURA II.2.10.1 IMAGEN SATELITAL DEL 28 DE MARZO DEL 2021, SE OBSERVA NUBE DE POLVO EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. 259
FIGURA II.2.11.1 MÉTODO DE TRABAJO PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS. 260
FIGURA II.2.11.2 PROMEDIO ANUAL DE DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 262
FIGURA II.2.11.3 ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 263
FIGURA II.2.11.4 ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS A NIVEL ESTATAL. 264
FIGURA II.2.11.5 PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 265
FIGURA II.2.11.6 PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 266
FIGURA II.2.11.7 PERIODO DE RETORNO A 15 AÑOS PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 267
FIGURA II.2.11.8 PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 268
FIGURA II.3.1.1 IDENTIFICACIÓN EN ROMBO PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS. 270
FIGURA II.3.1.2 MÉTODO DE TRABAJO PARA EL ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. 271
FIGURA II.3.1.3 FICHA TÉCNICA PARA PELIGROS QUÍMICOS-TECNOLÓGICOS. 272
FIGURA II.3.1.4 MAPA DE INSTALACIONES CON ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS. 273
FIGURA II.3.1.5 RADIOS DE AFECTACIÓN POR FUGA EN GASOLINERAS. 278
FIGURA II.3.1.6 RADIOS DE AFECTACIÓN POR FUGA EN GASERAS. 279
FIGURA II.3.1.7 RADIOS DE AFECTACIÓN POR FUGA EN INDUSTRIA. 280
FIGURA II.3.2.1 CARTELES DE IDENTIFICACIÓN DESTINADAS AL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS. 281
FIGURA II.3.2.2 METODOLOGÍA PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. 283
FIGURA II.3.2.3 ÁREAS DE AFECTACIÓN POR FUGA E INCENDIO EN TRANSPORTE TERRESTRE DE HIDROCARBUROS. 284
FIGURA II.3.2.4 RADIOS DE AFECTACIÓN POR FUGA E INCENDIO EN TRANSPORTE TERRESTRE DE GAS LP. 286
FIGURA II.3.3.1 SEÑALAMIENTO INFORMATIVOS DESTINADOS A INDICAR LA POSICIÓN DE LOS DUCTOS. 287
FIGURA II.3.3.2 SEÑALES DE RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES QUE PONGAN EN RIESGO LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS Y LAS INSTALACIONES DE PEMEX. 287
FIGURA II.3.3.3 INDICA ACERCA DE LAS CONDICIONES DE RIESGO EN LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE MANTENIMIENTO. 288
FIGURA II.3.3.4 METODOLOGÍA PARA EL TRANSPORTE POR DUCTOS DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. 289
FIGURA II.3.3.5 DERECHO DE VÍA EN GASODUCTOS Y OLEODUCTOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 292
FIGURA II.3.4.1 TRIANGULO DEL FUEGO. 293
FIGURA II.3.4.2 TIPOS DE INCENDIOS. 294
FIGURA II.3.4.3 MAPA DE PELIGRO POR INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 301
FIGURA II.3.4.1 CUESTIONARIO DE CAPACIDAD DE RESPUESTA 305
FIGURA II.3.4.2 CUESTIONARIO DE PERCEPCIÓN LOCAL. 306
FIGURA II.3.4.3 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DONDE SE REALIZÓ LA ENCUESTA DE PERCEPCIÓN LOCAL DE RIESGO. 308
FIGURA II.3.4.1 MAPA DE VULNERABILIDAD POR TIPOLOGÍA DE VIVIENDA A NIVEL LOCALIDAD. 311
FIGURA II.3.4.2 MAPA DE VULNERABILIDAD POR TIPOLOGÍA DE VIVIENDA POR MANZANA. 312
FIGURA IV.2.1A-D FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL MAPA DE VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MVPRM) 316
FIGURA IV.2.2. MAPA DE VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 317
FIGURA IV.2.3A-D FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL MAPA DE PELIGRO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MVPRM) 319
FIGURA IV.2.4. MAPA DE PELIGRO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 320
FIGURA IV.2.4A-D FACTORES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL MAPA DE PELIGRO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MPPRM) 322
FIGURA IV.2.5. MAPA DE PELIGRO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 324
FIGURA IV.2.6. MAPA DE RIESGO ACTUAL POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 325
FIGURA IV.2.7. MAPA DE RIESGO CON PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 327
FIGURA IV.2.8. MANZANAS AFECTADAS POR RIESGO MUY ALTO EN LA LOCALIDAD DE TLAXCALILLA, MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 328
FIGURA IV.3.1.1 ACUMULACIÓN Y DIRECCIÓN DE FLUJO DE LA PRESA JAVIER ROJO GÓMEZ. 332
FIGURA IV.3.1.2 ACUMULACIÓN Y DIRECCIÓN DE FLUJO DEL BARRIO EL CALVARIO. 333
FIGURA IV.3.1.3 ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LOCALIDADES URBANAS 334
FIGURA IV.3.1.4 ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 341
FIGURA V.1.1.1. MURO DE CONTENCIÓN PARA ESTABILIZAR LADERAS O TALUDES. 342
FIGURA V.1.1.2. MURO DE GAVIONES PARA ESTABILIZAR LADERAS O TALUDES. 343
FIGURA V.1.1.3. MUROS ANCLADOS PARA ESTABILIZAR LADERAS O TALUDES. 343

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA II.1.1.1 AFLORAMIENTO DE TOBA RIOLÍTICA EN LA LOCALIDAD DE JONACAPA. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.2 AFLORAMIENTO DE IGNIMBRITA EN LA LOCALIDAD DE ZOTHÉ. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.3 VISTA PANORÁMICA DE IGNIMBRITA EN LA LOCALIDAD DE DANDHÓ. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.4 VISTA A DETALLE DE ROCA IGNIMBRITA EN LA LOCALIDAD DE BONDOJITO. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.5 AFLORAMIENTO DE ROCAS PIROCLÁSTICAS EN LA LOCALIDAD DEL GAVILLERO. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.6 AFLORAMIENTO DE ROCA ANDESITA EN LA LOCALIDAD DE SAN ISIDRO EL ASTILLERO. 91
FOTOGRAFÍA II.1.1.7 AFLORAMIENTO DE TOBA RIOLÍTICA EN EL CERRO GEXCA. 92
FOTOGRAFÍA II.1.1.8 VISTA PANORÁMICA DE LOS DOMOS GEXCA Y HUALTEPEC. 92
FOTOGRAFÍA II.1.1.9 DEPÓSITOS VULCANO-SEDIMENTARIOS EN EL CAMINO HACIA EL GAVILLERO. 92
FOTOGRAFÍA II.1.1.10 AFLORAMIENTO DE BASALTO-ANDESITA EN LA LOCALIDAD DE SABINA GRANDE. 92
FOTOGRAFÍAS II.1.4.1.1A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA UN CORTE DE TALUD INESTABLE CON OBRA DE MITIGACIÓN PARA EVITAR EL DESPLAZAMIENTO DEL MATERIAL, EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVA LA PUMICITA CON MATRIZ ARENOSA, EN LÍNEA ROJA EL PLANO DE DISCONTINUIDAD. 125
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.2A-B. 131
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.3A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA PARTE DEL TALUD CON ALTO CONTENIDO DE DISCONTINUIDADES. EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVAN BLOQUES DESPRENDIDOS Y CON POSIBILIDAD A RODAMIENTO. 132
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.4A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVAN ALGUNAS DE LAS DISCONTINUIDADES Y PLANOS DE FLUJO (FLECHA VERDE). EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVA ALGUNOS DE LOS APILAMIENTOS CON TENDENCIA A RODAMIENTO. 133

FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.5A-B. 133
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.6A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA UNA BARDA PERIMETRAL, SISTEMA DE DRENAJE Y DISTANCIA AL CORTE DEL TALUD (3.5 M). EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVA LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO. 134
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.7A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA DUCTO DE AGUA POTABLE SIN RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO. EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVA LAS DISCONTINUIDADES (DIACLASAS) DEL MACIZO ROCOSO. 135
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.8A-B. 135
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.9A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA BANCO DE MATERIAL PÉTREO Y AL FONDO VIVIENDAS SIN RIESGO A SER AFECTADAS. EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVAN TRES FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES. 136
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.10A-B. EN LA IMAGEN **A** SE OBSERVA FRENTE DE DEPÓSITOS Y DISPOSICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES. EN LA IMAGEN **B** SE OBSERVA EL TALUD INESTABLE Y POSIBLE AFECTACIÓN A LA VIVIENDA EN CASO DE DESPRENDIMIENTO Y RODAMIENTO DE UN BLOQUE. 137
FOTOGRAFÍAS II.1.4.2.11A-B 137
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.1A-B. EN AMBAS IMÁGENES (**A** Y **B**).SE OBSERVA MATERIAL SUELTO SOBRE LAS CALLES, SUSCEPTIBLES AL ARRASTRE EN TEMPORADAS DE LLUVIAS. 143
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.2A-B. EN LA IMAGEN (**A**) SE OBSERVA EL TIPO DE MATERIAL ARENOSO DE TIPO VOLCÁNICO, DELEZNABLE Y SUSCEPTIBLE A LA EROSIÓN, EN LA IMAGEN (**B**) SE OBSERVA LA AFECTACIÓN QUE LE PROVOCA AL CAMINO EMPEDRADO, EN TEMPORADA DE LLUVIAS. 143
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.3A-B. EN AMBAS IMÁGENES (**A** Y **B**).SE OBSERVA MATERIAL SUELTO EL CUAL ES REMOVIDO EN TEMPORADAS DE LLUVIAS. 143
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.4A-B. EN LAS IMÁGENES **A** Y **B** SE OBSERVA MATERIAL SUELTO EL CUAL ES REMOVIDO EN TEMPORADA DE LLUVIAS. 144
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.5A-B. EN LAS IMÁGENES **A** Y **B** SE OBSERVA MATERIAL SUELTO EL CUAL ES REMOVIDO EN TEMPORADA DE LLUVIAS. 144
FOTOGRAFÍAS II.1.4.3.6A-B. EN LAS IMÁGENES **A** Y **B** SE OBSERVA MATERIAL SUELTO EL CUAL ES REMOVIDO EN TEMPORADA DE LLUVIAS. 144
FOTOGRAFÍA II.1.4.4.1 LOCALIDAD DE SAN ISIDRO EL ASTILLERO, EN EL MOSAICO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS, SE OBSERVA LAS DIMENSIONES DEL BANCO Y LA CERCANÍA CON LAS VIVIENDAS. 145
FOTOGRAFÍA II.1.4.4.2 LOCALIDAD BONDOJITO, EN EL MOSAICO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS, SE APRECIA LAS DIMENSIONES DEL BANCO DE EXPLOTACIÓN, EL CUAL SE REALIZA ENTRE EL RÍO Y LA ZONA URBANA. 146
FOTOGRAFÍA II.1.4.4.3 LOCALIDAD GUADALUPE, EN EL MOSAICO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS, SE APRECIA LA DISTRIBUCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDAS CON RESPECTO AL BANCO 146
FOTOGRAFÍAS II.1.4.4.4A-F EN LAS IMÁGENES SE OBSERVAN LAS CONDICIONES ACTUALES DE LOS DIFERENTES BANCOS DE MATERIAL EN ZONAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, HIDALGO. 147
FOTOGRAFÍA II.1.5.1 ELEMENTO DE LA POLICÍA MUNICIPAL EN EL ÁREA COLAPSADA. 152
FOTOGRAFÍA II.1.5.2 CAVIDADES CONECTADAS DE DIFERENTES DIMENSIONES. 152
FOTOGRAFÍA II.1.5.3 BIBLIOTECA PÚBLICA MUNICIPAL MANUEL JIMÉNEZ. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.4 IGLESIA DE SAN MATEO 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.5 PRESIDENCIA MUNICIPAL. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.6 PORTAL UNIÓN (SITIO DONDE OCURRIÓ EL SOCAVÓN EN 2015) 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.7 CAPILLA DE LA VIRGEN DE GUADALUPE. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.8 MERCADO MUNICIPAL. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.9 PANTEÓN MUNICIPAL. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.10 IGLESIA DEL SEÑOR DEL CALVARIO. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.11 LA CASA DEL DIEZMO. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.12 BANAMEX. 153
FOTOGRAFÍA II.1.5.13 UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PROFESIONAL. 154
FOTOGRAFÍA II.1.5.14 ESTACIÓN DEL FERROCARRIL. 154
FOTOGRAFÍA II.1.6.1 CONDICIONES SEMIDESÉRTICAS EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD DE SAN JOSÉ DANDHÓ (LOS JARAMILLO) (ERH-02) EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO. 162
FOTOGRAFÍA II.1.6.2 CONDICIONES SEMIDESÉRTICAS EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD, MANEY (ERH-07) EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO. 162
FOTOGRAFÍA II.1.6.3 CONDICIONES SEMIDESÉRTICAS EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD EL TENDIDO (ERH-14) EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN, ESTADO DE HIDALGO. 162
FOTOGRAFÍA II.1.6.4 CAÑADA DEL ARROYO HONDO LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD DE DANDHÓ (ERH-03), EN DONDE SE DEPOSITAN LOS MATERIALES EROSIONADOS POR LA ACCIÓN PLUVIAL. 163
FOTOGRAFÍA II.1.6.5 MATERIALES ARRASTRADOS POR LA ACCIÓN PLUVIAL Y QUE SON TRANSPORTADAS AL FONDO DE LA CAÑADA EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD EL TENDIDO (ERH-13). 163
FOTOGRAFÍA II.1.6.6 CANTERA EN LA LOCALIDAD DE DANDHÓ (ERH-03), SE PRESENTA LA PÉRDIDA DE SUELO POR TRABAJOS DE DESCAPOTE, ESTOS MATERIALES SON DEPOSITADOS AL FONDO DE LA BARRANCA EN DONDE SE LOCALIZA EL ARROYO HONDO). 163
FOTOGRAFÍA II.1.6.7 CANTERA SIN OPERACIÓN EN DONDE SE PRESENTA UNA COBERTURA VEGETAL Y ESPESOR DE SUELO BAJO, SITIO LOCALIZADO ENTRE LAS LOCALIDADES DE ZOTHÉ Y LA CRUZ (ERH-06). 163
FOTOGRAFÍA II.1.6.8 CANTERA LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE LA PRESA MADERO (ERH-10), SE PRESENTA LA PÉRDIDA DE SUELO POR TRABAJOS DE DESCAPOTE, ESTOS MATERIALES SON DEPOSITADOS EN EL CAUCE DE LA PRESA (ARROYO HONDO) 163
FOTOGRAFÍA II.1.6.9 CANTERA LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD DE DANDHÓ (ERH-15), SE PRESENTA LA PÉRDIDA DE SUELO POR TRABAJOS DE DESCAPOTE, ESTOS MATERIALES SON DEPOSITADOS EN EL FONDO DE LA CAÑADA DE ARROYO HONDO. 163
FOTOGRAFÍA II.2.8.1 PUENTE AFECTADO TRAS DESBORDE DEL ARROYO QUE ATRAVIESA LA LOCALIDAD DE TLAXCALILLA. (EL BOCÓN, 2017) 248
FOTOGRAFÍA II.2.8.2 CALLES DE TLAXCALILLA AFECTADAS POR ESCURRIMIENTO PROVENIENTE ZONAS DE CULTIVO UBICADOS AGUAS ARRIBA AL SUROESTE DE LA LOCALIDAD (EL BOCÓN, 2017). 248
FOTOGRAFÍA II.2.8.3 LOCALIDAD EL CARMEN (EL BOCÓN , 2017). 248
FOTOGRAFÍA II.2.8.4 LOCALIDAD PEDREGOSO. DIRECCIÓN DE FLUJO. 248
FOTOGRAFÍA II.2.8.5 ESCURRIMIENTO EN LA CALLE FRANCISCO I. MADERO EN LA CABECERA MUNICIPAL DE HUICHAPAN DURANTE LA FERIA DE EL CALVARIO. (PORTILLO,2022) 248
FOTOGRAFÍA II.2.8.6 EL ESCURRIMIENTO EN LA CALLE FRANCISCO I. MADERO DURANTE RECORRIDO DE VERIFICACIÓN, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE HUICHAPAN ES NOTABLE, A PESAR DE QUE LA LLUVIA QUE OCURRIÓ EN ESE MOMENTO NO FUE INTENSA. 248
FOTOGRAFÍA II.2.9.1 TORNADO CAPTADO EN LOCALIDAD DE TLAXCALILLA, HUICHAPAN 256
FOTOGRAFÍA II.2.10.1 TORMENTA DE POLVO. 258
FOTOGRAFÍA II.3.1.1 BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN EN LA ESTACIÓN DE SERVICIO EMAJUFH. 272
FOTOGRAFÍA II.3.1.2 VISTA DEL ACCESO SOBRE LA CARRETERA IXMIQUILPAN-QUERÉTARO. 272
FOTOGRAFÍA II.3.1.3 BOMBA DE DISTRIBUCIÓN EN LA ESTACIÓN DE CARBURACIÓN HIDALGAS. 272
FOTOGRAFÍA II.3.1.4 ENTREVISTA CON EL ENCARGADO PARA LLENADO DE LA FICHA TÉCNICA. .272
FOTOGRAFÍA II.3.1.5 VISTA DEL ACCESO SOBRE LA CARRETERA HUICHAPAN-TECOZAUTLA. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.6 VÁLVULAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y TUBOS DE VENTEO. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.7 BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO BP MS90. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.8 VISTA DEL ACCESO SOBRE LA CARRETERA LIBRAMIENTO HUICHAPAN. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.9 VISTA DEL ACCESO SOBRE LA CALLE JORGE ROJO LUGO. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.10 BOMBA DE DISTRIBUCIÓN Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO EN LA ESTACIÓN DE CARBURACIÓN SONIGAS. 274
FOTOGRAFÍA II.3.1.11 VISTA DEL ACCESO SOBRE LA AVENIDA PEDRO MARÍA ANAYA. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.12 BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO ES05352. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.13 TANQUES DE GAS PARA SERVICIO A DOMICILIO DE LA ESTACIÓN GAS EXPRÉS NIETO. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.14 BOMBA DE DISTRIBUCIÓN Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LA ESTACIÓN GAS EXPRÉS NIETO. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.15 ESTACIÓN DE SERVICIO UBICADA EN LA CARRETERA IXMIQUILPAN-PALMILLAS. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.16 BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN EN LA ESTACIÓN DE SERVICIO BP 0842. 275
FOTOGRAFÍA II.3.1.17 ACCESO PRINCIPAL A LA INDUSTRIA CEMEX SAB DE CV. 276
FOTOGRAFÍA II.3.1.18 INSTALACIONES DE CEMEX SAB DE CV. 276

FOTOGRAFÍA II.3.3.1 VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO OBSERVADA CERCA DE LA LOCALIDAD LLANO LARGO.....289
FOTOGRAFÍA II.3.3.2 VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO XAJAY, CERCA DE LA LOCALIDAD DE TLAXCALILLA.....289
FOTOGRAFÍA II.3.3.3 SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO CERCA DE LA LOCALIDAD EN CARMEN, A UN COSTADO DE LA CARRETERA PORTEZUELO-PALMILLAS.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.4. RECTIFICADOR EL REFUGIO OBSERVADO SOBRE LA CARRETERA PORTEZUELO-PALMILLAS.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.5 SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO A ESCASOS METROS DE LA BARDA DE UNA VIVIENDA.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.6 SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO PARA UN DUCTO DE GAS NATURAL CERCA DE LA LOCALIDAD DE JONACAPA.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.7 CARTEL DE INFORMACIÓN EN EL RECTIFICADOR.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.8 RECTIFICADOR OBSERVADO CERCA LA LOCALIDAD BONDOJITO.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.9 SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO OBSERVADO EN EL PUNTO HD-09.....290
FOTOGRAFÍA II.3.3.10 SEÑALAMIENTO RESTRICTIVO OBSERVADO EN EL PUNTO HD-11.....290
FOTOGRAFÍA II.3.4.1 PASTIZALES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN CORRESPONDIENTES A LA CLAVE GSA DE CAMAS COMBUSTIBLES.....296
FOTOGRAFÍA II.3.4.2 MATORRALES –PASTIZALES EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN CORRESPONDIENTES A LA CLAVE SWS DE CAMAS COMBUSTIBLES.....296
FOTOGRAFÍA II.3.4.3 BOSQUE DE ENCINO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN CORRESPONDIENTES A LA CLAVE QTS DE CAMAS COMBUSTIBLES.....296
FOTOGRAFÍA II.3.4.4 ZONA DE CULTIVO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN CORRESPONDIENTE A LA CLAVE AGR/URB DE CAMAS FORESTALES.....296
FOTOGRAFÍA II.3.4.5 BORDO EN LA LOCALIDAD DE SABINA GRANDE EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN CORRESPONDIENTE AL A CLAVE AGU DE CAMAS FORESTALES.....297
FOTOGRAFÍA IV.3.1 PRESA JAVIER ROJO GÓMEZ SE APRECIA LA CERCANÍA DEL FRACCIONAMIENTO A LA PRESA Y A SU LLANURA DE INUNDACIÓN.....331
FOTOGRAFÍA IV.3.2 CALLE FCO. I. MADERO EN LA CABECERA MUNICIPAL DURANTE RECORRIDO DE VERIFICACIÓN AL TÉRMINO DE UNA LLUVIA MODERADA (AGOSTO, 2023).....331
FOTOGRAFÍA IV.3.3 CANAL DE RIEGO PERPENDICULAR A ARROYO NATURAL.....331
FOTOGRAFÍA IV.3.4 PUENTE DEL CENTRO DE TLAXCALILLA EN ÉPOCA DE ESTIAJE.....331
FOTOGRAFÍA IV.3.5 PUENTE DEL CENTRO TLAXCALILLA EN EL AÑO 2021 DAÑADO POR EL DESBORDE DEL ARROYO. (EL BOCÓN, 2017).....331
FOTOGRAFÍA IV.3.6 CALLE LIRIOS AL SUROESTE DE LA LOCALIDAD DE TLAXCALILLA EN ÉPOCA DE ESTIAJE.....331
FOTOGRAFÍA IV.3.7 CALLE LIRIOS EN EL AÑO 2017 (EL BOCÓN, 2017).....331
FOTOGRAFÍA IV.3.8 LOCALIDAD DE PEDREGOSO SE OBSERVA LA DIRECCIÓN DEL FLUJO DEL ARROYO, ASÍ COMO LAS VIVIENDAS ALEDAÑAS AL BORDO DEL CAUCE.....335
FOTOGRAFÍA IV.3.9 LA PRESIÓN QUE SE GENERÓ AL ACULARSE EL AGUA PROVOCABA FILTRACIONES A CASAS VECINAS SE OBSERVA LA APERTURA DE LA PUERTA QUE CONECTABA CON EL ARROYO DETRÁS DE LAS VIVIENDAS.(FOTO PROPORCIONADA POR HABITANTE DE LA LOCALIDAD).....335
FOTOGRAFÍA IV.3.10 LOCALIDAD DE ZOTHÉ SE OBSERVA EL ARROYO DE NOMBRE ARROYO HONDO, SE SEÑALA EL PUENTE CON FLECHA AMARILLA.....335
FOTOGRAFÍA IV.3.11 EN LA LOCALIDAD EXISTEN VIVIENDAS CONSTRUIDAS AL PASO DE ESCURRIMIENTOS QUE CONDUCEN AL ARROYO HONDO, QUE DE ACUERDO A LOS HABITANTES PROVOCAN DAÑOS A LAS VIVIENDAS EN ÉPOCA DE LLUVIAS.....335
FOTOGRAFÍA IV.3.12 SE APRECIA EL BORDO QUE SE LOCALIZA EN LAS CERCANÍAS DE LA LOCALIDAD BONDOJITO.....336
FOTOGRAFÍA IV.3.13 ACERCAMIENTO AL RECTÁNGULO DE LA FOTOGRAFÍA CONTIGUA, SE MUESTRA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS A ESCASOS METROS DEL BORDO LOS SAUCES EN LA LOCALIDAD.....336
FOTOGRAFÍA IV.3.14 LOCALIDAD EL SAUCILLO, SE OBSERVAN DOS BORDOS.....336
FOTOGRAFÍA IV.3.15 LOCALIDAD SABINA GRANDE EL BORDO QUE SE OBSERVAN ALGUNAS VIVIENDAS TIPO III CERCANAS AL BORDO.....336
FOTOGRAFÍA IV.3.16 SE OBSERVAN LOS TRES BORDOS, DOS SE LOCALIZAN EN LA LOCALIDAD DE XAJAY, EXISTEN VIVIENDAS CERCANAS AL VASO DE ALMACENAMIENTO LA MAYORÍA DE VIVIENDAS SON DE TIPO III., SE CUENTA CON LA INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA DESFOGAR EN ZONAS QUE NO AFECTEN A LA POBLACIÓN.....336
FOTOGRAFÍA IV.3.17 LOCALIDAD EJIDO HUICHAPAN, BORDO CON CERCANÍA A VIVIENDAS A ESCASOS 20 METROS DEL LÍMITE DEL BORDO.....337
FOTOGRAFÍA IV.3.19 LOCALIDAD DE TAGUÍ SE APRECIA QUE HAY VIVIENDAS CERCANAS AL VASO DE ALMACENAMIENTO.....337
FOTOGRAFÍA IV.3.20 LOCALIDAD LA CRUZ SE OBSERVA QUE EXISTEN VIVIENDAS CERCANAS A LA VASO DE ALMACENAMIENTO Y CORTINA SIN EMBARGO PASANDO LA CORTINA EXISTE UN DESNIVEL DE CUATRO A SEIS METROS.....337
FOTOGRAFÍA IV.3.21 LOCALIDAD DE LLANO LARGO SE OBSERVA LA PENDIENTE QUE EXISTE EN LA LOCALIDAD QUE FORMA PARTE DE LA ZONA DE ESCURRIMIENTO QUE SE DIRIGE AL ARROYO...337
FOTOGRAFÍA IV.3.22 EN LA LOCALIDAD DOTHÍ SE OBSERVA LA LOCALIDAD AGUAS ARRIBA DEL ARROYO CERCANO, SE IDENTIFICA CON FLECHA AZUL EL POSIBLE ESCURRIMIENTO QUE SE GENERARÍA EN LA CALLE PRINCIPAL.....337
FOTOGRAFÍA IV.3.23 LOCALIDAD JONACAPA, SE OBSERVA ESTRUCTURA DEL BORDO QUE SE UBICA AGUAS ARRIBA DE LA LOCALIDAD, LA FLECHA AZUL INDICA EL SENTIDO DEL FLUJO DE AGUA QUE CAPTA UN ESCURRIDERO, Y LA ZONA AFECTADA AL DESBORDARSE EN ESA ZONA....338
FOTOGRAFÍA IV.3.24 LOCALIDAD MANEY SE INDICA CON LA FLECHA AZUL LA CALLE AFECTADA POR EL FLUJO DEL AGUA QUE SE DIRIGE AL BORDO.....338
FOTOGRAFÍA IV.3.25 LOCALIDAD MANEY AFECTACIÓN A VIVIENDA EN LA CALLE MARCADA CON FLECHA AZUL EN LA FOTOGRAFÍA ANTERIOR.(FOTOGRAFÍA PROPORCIONADA POR HABITANTE DE LA LOCALIDAD).....338
FOTOGRAFÍA IV.3.26 VISTA PANORÁMICA DE LA PRESA MAMITHÍ.....338
FOTOGRAFÍA IV.3.27 LOCALIDAD EL APARTADERO, SE SEÑALAN LAS DIRECCIONES DE FLUJO DE LOS ESCURRIDEROS EN LA LOCALIDAD.....339
FOTOGRAFÍA IV.3.28 EL CARMEN, CALLE BUGAMBILIAS EN ÉPOCA DE ESTIAJE.....339
FOTOGRAFÍA IV.3.29 EL CARMEN, CALLE BUGAMBILIAS (FOTOGRAFÍA RECUPERADA DE EL BOCÓN, 2017).....339
FOTOGRAFÍA IV.3.31 PRESA FRANCISCO I. MADERO AGUAS ARRIBA EN 2021 FOTOGRAFÍA RECUPERADA DE (HIDALGO ONLINE, 2021).....339
FOTOGRAFÍA IV.3.31 PRESA FRANCISCO I MADERO AGUAS ARRIBA EN ÉPOCA DE ESTIAJE.....340
FOTOGRAFÍA V.1.1.4. BARRERA CONTRA CAÍDA, CONTROL DE MATERIAL SUELTO SOBRE UNA LADERA O TALUD.....343
FOTOGRAFÍAS V.1.1.4A-G. EN LAS IMÁGENES A-G SON ALGUNAS DE LAS LOCALIDADES QUE REQUIEREN OBRAS DE MITIGACIÓN ANTES CITADAS, ESTOS CON EL FIN DE PREVENIR RIESGO A LA INFRAESTRUCTURA Y EN EL PEOR DE LOS ESCENARIOS LA AFECTACIÓN O PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS.....344

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I.1 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA.....17
TABLA I.6.4.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....32
TABLA I.6.5.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....33
TABLA I.6.7.1 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE CLIMAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....39
TABLA I.6.8.1 DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN.....41
TABLA I.7.1.1 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL DE LAS LOCALIDADES CON MÁS DE 1 000 HABITANTES.....45
TABLA I.7.2.1 MATRÍCULA DE PROFESORES Y ALUMNOS POR NIVEL EN HUICHAPAN.....52
TABLA I.7.4.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN HUICHAPAN.....74
TABLA I.7.4.2 ESPECIES DE FLORA Y FAUNA PROTEGIDAS EN HUICHAPAN.....74
TABLA I.7.4.3 ESPECIES PROTEGIDAS EN EL ANP DE NOPALA.....74
TABLA II.1.1.1 ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA.....77
TABLA II.1.1.2 CATEGORIZACIÓN DE PELIGRO VOLCÁNICO.....78
TABLA II.1.1.3 VOLCANES Y CAMPOS VOLCÁNICOS CUATERNARIOS DE MÉXICO.....78

TABLA II.1.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS ESTIMADAS PARA AMENAZAS VOLCÁNICAS. 82
TABLA II.1.2.1 ESCALA DE INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA..... 95
TABLA II.1.2.2 MAGNITUDES DE LOS TERREMOTOS E INCIDENCIA MUNDIAL..... 95
TABLA II.1.2.3 EPICENTROS MÁS CERCANOS AL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 104
TABLA II.1.3.1. EVENTOS HISTÓRICOS OCURRIDOS EN LA REPÚBLICA MEXICANA..... 109
TABLA II.1.4.1. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA(PRM). 113
TABLA II.1.4.1.1. MEDIDAS DE ESCALA RELATIVA..... 119
TABLA II.1.4.1.2 MATRIZ SIMÉTRICA PARA LA OBTENCIÓN DEL VALOR DE PESO DE CADA FACTOR. 119
TABLA II.1.4.1.3. ASIGNACIÓN DE PESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE IMPORTANCIA PARA LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LOS DESLIZAMIENTOS. 122
TABLA II.1.4.2.1... MATRIZ SIMÉTRICA PARA LA OBTENCIÓN DEL VALOR DE PESO DE CADA FACTOR. 125
TABLA II.1.4.2.2. ASIGNACIÓN DE PESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE IMPORTANCIA PARA LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA CAÍDA DE BLOQUES..... 127
TABLA II.1.4.3. 1. MATRIZ SIMÉTRICA PARA LA OBTENCIÓN DEL VALOR DE PESO DE CADA FACTOR. 138
TABLA II.1.4.3.2. ASIGNACIÓN DE PESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE IMPORTANCIA PARA LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LOS FLUJOS. 140
TABLA II.1.4.4.1. BANCOS DE MATERIAL QUE SE UBICAN EN LAS CERCANÍAS DE ZONAS URBANAS145
TABLA II.1.5.1 TIPOS DE SUBSIDENCIA 149
TABLA II.1.5.2 SITIOSPROBABLES DONDE OCURRIO UN SOCAVÓN..... 152
TABLA II.1.6.1 LISTADO DE LOS SITIOS DE EROSIÓN PROSPECTADOS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN..... 159
TABLA II.1.6.2 ASIGNACIÓN DE PESO A LAS VARIABLES POR EROSIÓN EÓLICA..... 159
TABLA II.2.1.1 EVENTOS ASOCIADOS A ONDAS CÁLIDAS Y GÉLIDAS EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN..... 164
TABLA II.2.1.2 ESTACIONES CLIMATOLÓGICA USADAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS..... 165
TABLA II.2.1.3 TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS HISTÓRICAS POR ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA. 165
TABLA II.2.1.4 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS USADAS PARA DETERMINAR EL GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL. 171
TABLA II.2.1.5 PERIODOS DE RETORNO DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS OBTENIDOS MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. 174
TABLA II.2.1.6 PERIODOS DE RETORNO DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE WEIBULL..... 179
TABLA II.2.2.1 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS USADAS PARA EL ANÁLISIS DE SEQUÍA 184
TABLA II.2.2.2 EJEMPLO DEL CÁLCULO DE ÍNDICE DE SEVERIDAD DE LA SEQUÍA EN LA ESTACIÓN 13012 HUICHAPAN EN EL AÑO 1983 SUMATORIA X Y Y**.** 186
TABLA II.2.2.1 RESULTADO DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS..... 187
TABLA II.2.2.2 CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE ÍNDICE DE SEVERIDAD DE LA SEQUÍA 187
TABLA II.2.2.5 VALORES OBTENIDOS PARA LA INTENSIDAD DE LA SEQUÍA INTRAESTIVAL EN CADA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA..... 189
TABLA II.2.2.6 CLASIFICACIÓN DE INTENSIDAD DE SEQUÍA INTRAESTIVAL..... 190
TABLA II.2.3.1 REGISTRO DE HELADAS EN LAS 7 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS QUE CIRCUNDAN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN..... 201
TABLA II.2.3.2 CATEGORIZACIÓN DE INTERVALOS DE ACUERDO A LA PRESENCIA DE DÍAS CON HELADAS..... 201
TABLA II.2.3.3 REGISTRO DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS QUE CIRCUNDAN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 202
TABLA II.2.3.4 RANGOS Y VALORES RECLASIFICADOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA..... 202
TABLA II.2.3.5 RECLASIFICACIÓN DE INTERVALOS PARA EL ÍNDICE DE PELIGROS POR BAJAS TEMPERATURAS. 202
TABLA II.2.3.6 PERIODOS DE RETORNO PARA EL FENÓMENO DE HELADAS..... 207
TABLA II.2.4.1 DÍAS CON GRANIZO REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS. 213
TABLA II.2.4.2 RANGOS Y VALORES RECLASIFICADOS PARA DETERMINAR EL IPTG. 213
TABLA II.2.4.3 PERIODOS DE RETORNO PARA EL FENÓMENO DE TORMENTAS DE GRANIZO..... 217
TABLA II.2.5.1 CATEGORIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PELIGRO POR NEVADAS. 222
TABLA II.2.6.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON..... 225
TABLA II.2.6.2 AFECTACIÓN OCASIONADAS POR CICLONES TROPICALES EN MÉXICO..... 226
TABLA II.2.6.3 TRAYECTORIAS CICLÓNICAS QUE HAN CRUZARON EL ESTADO DE HIDALGO A PARTIR DE 1852 AL 2021 PROVENIENTES DE LA CUENCA DEL ATLÁNTICO..... 227
TABLA II.2.6.4 TRAYECTORIAS CICLÓNICAS QUE HAN CRUZARON EL ESTADO DE HIDALGO A PARTIR DE 1852 AL 2021 PROVENIENTES DE LA CUENCA DEL PACIFICO. 228
TABLA II.2.7.1 IMPACTO SOCIOECONÓMICO PROVOCADO POR LLUVIAS E INUNDACIONES EN MÉXICO Y EN EL ESTADO DE HIDALGO..... 232
TABLA II.2.7.2 CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ACUERDO A SU INTENSIDAD..... 233
TABLA II.2.7.3 ESTACIONES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN DEL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 233
TABLA II.2.7.4 CARACTERIZACIÓN DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN DE ACUERDO AL NÚMERO DE PERCENTIL. 238
TABLA II.2.7.5 RANGO Y VALORES RESULTANTES DE LOS UMBRALES DE PRECIPITACIÓN..... 239
TABLA II.2.7.6 VALORES RESULTANTES DEL CÁLCULO DE PERIODO DE RETORNO DE LAS INTERPOLACIONES EN LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS ANALIZADAS. 239
TABLA II.2.8.1 SITIOS VERIFICADOS EN CAMPO POR EL FENÓMENO DE INUNDACIÓN..... 247
TABLA II.2.9.1 ESCALA FUJITA USADA PARA CATEGORIZAR TORNADOS..... 251
TABLA II.2.9.2 EVENTOS DE TORNADOS REGISTRADOS EN DIVERSAS PARTES DE LA REPÚBLICA MEXICANA. 252
TABLA II.2.9.3 EVENTOS DE TORNADOS REGISTRADOS EN EL ESTADO DE HIDALGO. 254
TABLA II.2.11.1 PROMEDIO DE DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS. 261
TABLA II.2.11.2 PONDERACIÓN DE VALORES..... 261
TABLA II.2.11.3 PERIODOS DE RETORNO PARA TORMENTAS ELÉCTRICAS. 261
TABLA II.3.1.1 TIPOS DE INCENDIOS DE SUSTANCIAS PELIGROSAS..... 270
TABLA II.3.1.2 EFECTOS ESPERADOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA..... 270
TABLA II.3.1.3 ESTACIONES DE SERVICIO Y DE CARBURACIÓN EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 276
TABLA II.3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS..... 281
TABLA II.3.2.2 TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL 2022 DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS DE HUICHAPAN. 282
TABLA II.3.2.3 VALORES UTILIZADOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN POR FUGA E INCENDIO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE DE HIDROCARBUROS. 283
TABLA II.3.3.1 PUNTOS DE VERIFICACIÓN EN CAMPO PARA TRANSPORTE POR DUCTOS. 289
TABLA II.3.4.1 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE INCENDIO..... 294
TABLA II.3.4.2 MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA CON LOS CRITERIOS 298
TABLA II.3.4.1 RESULTADO DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS..... 299
TABLA II.3.4.1 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD Y VALOR ASIGNADO PARA LA CATEGORÍA DE SALUD..... 302
TABLA II.3.4.2 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD Y VALOR ASIGNADO PARA LA CATEGORÍA DE EDUCACIÓN. 302
TABLA II.3.4.3 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD Y VALOR ASIGNADO PARA LA CATEGORÍA DE VIVIENDA..... 303
TABLA II.3.4.4 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD Y VALOR ASIGNADO PARA LA CATEGORÍA DE EMPLEO E INGRESOS..... 303
TABLA II.3.4.5 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD Y VALOR ASIGNADO PARA LA CATEGORÍA DE POBLACIÓN..... 304
TABLA II.3.4.6 PROMEDIOS POR CATEGORÍA PARA OBTENER LA VULNERABILIDAD SOCIAL..... 304
TABLA II.3.4.7 RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA PARA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 305
TABLA II.3.4.8 RESULTADO DE LA PERCEPCIÓN LOCAL DE PELIGRO PARA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 306
TABLA II.3.4.9 RESULTADOS PARA DETERMINAR EL GVS. 307

TABLA II.3.4.10 GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL PARA EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 307
TABLA II.3.4.1 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS..... 309
TABLA II.3.4.2 ACTUALIZACIÓN DE COSTOS POR TIPOLOGÍA DE VIVIENDA..... 309
TABLA II.3.4.3 NÚMERO DE VIVIENDAS DE ACUERDO A LA TIPOLOGÍA DE VIVIENDA. 310
TABLA II.3.4.1 MATRIZ DE NIVELES DE RIESGO DE ACUERDO AL GRADO DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD. 313
TABLA II.3.4.2 CÁLCULOS ESTIMADOS DE ACUERDO A TIPO DE VIVIENDA Y NIVEL DE PELIGRO. ...313
TABLA IV.2.1. PONDERACIÓN A LAS VARIABLES PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MVPRM). 315
TABLA IV.2.2. PONDERACIÓN A LAS VARIABLES PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA DE PELIGRO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MPPRM). 318
TABLA IV.2.3. PONDERACIÓN A LAS VARIABLES PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA DE PELIGRO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MVPRM). 321
TABLA IV.2.4. MANZANAS AFECTADAS POR RIESGO MUY ALTO A LOS PRM. 326
TABLA IV.3.1 LOCALIDADES CLASIFICADAS POR TIPO DE VIVIENDA Y COSTO DE MENAJE POR TIPO DE VIVIENDA. 330
TABLA IV.3.2 MATIZ RESULTADO PARA RIESGO POR INUNDACIONES. 330

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA I.7.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN MUNICIPAL POR GÉNERO EN PORCENTAJE. 44
GRÁFICA I.7.1.2 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR RANGO DE EDAD EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN. 44
GRÁFICA I.7.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LA CABECERA MUNICIPAL DE HUICHAPAN. 45
GRÁFICA I.7.1.4 TASA BRUTA DE NATALIDAD Y DE MORTALIDAD GENERAL E INFANTIL 50
GRÁFICA I.7.1.5 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN DEL 2015 AL 2030. 50
GRÁFICA I.7.1.6 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN DE LA CABECERA MUNICIPAL HUICHAPAN (2015-2030). 51
GRÁFICA I.7.1.7 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA SAN JOSÉ ATLÁN (2015-2030). 51
GRÁFICA I.7.1.8 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA TLAXCALILLA (2015-2030). 51
GRÁFICA I.7.1.9 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA LA SABANITA (2015-2030). 52
GRÁFICA I.7.1.10 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA LLANO LARGO (2015-2030). 52
GRÁFICA I.7.1.11 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA MAMITHÍ (2015-2030). 52
GRÁFICA I.7.2.1 NÚMERO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE CARÁCTER PÚBLICO Y PRIVADO....53
GRÁFICA I.7.2.2 POBLACIÓN CON ANALFABETISMO POR GÉNERO. 53
GRÁFICA I.7.2.3 POBLACIÓN CON ACCESO A SERVICIOS DE SALUD. 53
GRÁFICA I.7.2.4 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN SEGÚN SU AFILIACIÓN A ALUNA INSTITUCIÓN DEL SECTOR SALUD. 54
GRÁFICA I.7.2.5 POBLACIÓN CON ALGUNA DISCAPACIDAD. 62
GRÁFICA I.7.2.6 POBLACIÓN OCUPADA POR SECTOR DE ACTIVIDAD ECONÓMICA (1990-2020). 62
GRÁFICA I.7.2.7 INDICADORES DE POBREZA Y VULNERABILIDAD EN PORCENTAJES. 63
GRÁFICA I.7.3.1 VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON MATERIALES PRECARIOS. 68
GRÁFICA I.7.3.2 DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS EN LAS VIVIENDAS. 68
GRÁFICA I.7.3.3 VIVIENDAS CON DISPONIBILIDAD DE TIC.. 68
GRÁFICA II.1.2.1 NÚMERO DE EPICENTROS REGISTRADOS EN LOS MUNICIPIOS DE HIDALGO DE 1990 A 2023. 103
GRÁFICA II.2.1.1 TEMPERATURA MÁXIMA POR ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA. 166
GRÁFICA II.2.1.2 TEMPERATURA MÍNIMA POR ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA. 166
GRÁFICA II.2.2.1 TENDENCIA DE AUMENTO O DECREMENTO DE LA PRECIPITACIÓN POR ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA 186
GRÁFICA II.2.2.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA ESTACIÓN 22003 – CADEREYTA. 189
GRÁFICA II.2.2.3 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA ESTACIÓN 13083 – PRESA MADERO..... 190
GRÁFICA II.2.2.4 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA ESTACIÓN 13012 – HUICHAPAN. 190
GRÁFICA II.2.2.5 TENDENCIA DE AUMENTO O DECREMENTO DE LA CATEGORÍA DE SEQUÍA EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN SEGÚN EL MONITOR DE SEQUÍA EN MÉXICO 192
GRÁFICA II.2.4.1 PROMEDIO ANUAL DE DÍAS CON GRANIZO POR MES. 213
GRÁFICA II.2.9.1 NÚMERO DE TORNADOS Y WATERSPOUT POR ENTIDAD FEDERATIVA. 252
GRÁFICA II.2.10.1 DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO EN EL MUNICIPIO DE HUICHAPAN ...259
GRÁFICA II.2.11.1 PROMEDIO ANUAL DE DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS POR MES. 261
GRÁFICA II.3.2.1 PORCENTAJE DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR. 282
GRÁFICA III.2.1 NÚMERO DE VIVIENDAS DE ACUERDO A LA TIPOLOGÍA DE VIVIENDA. 310

FASE I. MARCO TEÓRICO

I.1 Introducción

México es uno de los países que cuenta con una extensa biodiversidad, presenta una riqueza cultural y una variedad de ecosistemas, aunado a su posición geográfica y diferentes altitudes, razones por las cuales el país es característico, sin embargo, su carencia ante la planeación territorial, ha provocado irregularidades en asentamientos humanos anómalos, situando en riesgo a la población presente, principalmente por diferentes tipos de fenómenos naturales y antrópicos, dando como resultado, grandes pérdidas económicas, ambientales y lo más relevante, en ocasiones la pérdida de la vida de los pobladores en las áreas afectadas.

Un detonante para que se incremente la vulnerabilidad de los hogares ante las amenazas de origen natural y antrópico es el aumento acelerado territorial de las ciudades y localidades en zonas cuya competencia del suelo, pendientes del terreno, condiciones hidrometeorológicas, entre otros parámetros para el asentamiento de una población se considera inadecuada; lo anterior aunado a las condiciones socioeconómicas de las familias de escasos recursos, las cuales habitan viviendas asentadas en zonas de alta marginación en donde la infraestructura y los servicios básicos son carentes, la combinación de ambos factores incrementa potencialmente las posibilidades de ocurrencia de una catástrofe.

El Estado de Hidalgo se caracteriza por la presencia de diversos fenómenos naturales que han provocado un gran impacto en diversas regiones y parte del estado, dentro de las cuales se encuentra el municipio de Huichapan.

El Servicio Geológico Mexicano elaboró de modo institucional el presente Atlas de Riesgos, herramienta que fortalecerá las capacidades en materia de prevención de riesgos, mediante obras y gestiones que disminuyan la vulnerabilidad de la población ante el impacto de fenómenos naturales que inciden en el municipio de Huichapan. Esta herramienta, entre otros, apoyará los programas de desarrollo y de ordenamiento territorial.

Por su ubicación geográfica y por condiciones de terreno, el municipio ha sufrido desastres por fenómenos naturales y factores antropogénicos, ocasionando daños a la población y cuantiosos daños materiales, particularmente en vías de comunicación e infraestructura.

El atlas de riesgos es un instrumento del que se desprenden estrategias de prevención, reducción y mitigación de desastre. Contiene información de índole geográfica, geológica, hidrológica y antropogénica plasmada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite identificar los peligros y riesgos a los que está expuesta la población, lo cual facilita la toma de decisiones con la finalidad de salvaguardar la integridad física de la población, así como de su infraestructura.

Adicionalmente permite establecer bases de datos y realizar el análisis de peligro, de la vulnerabilidad, exposición y del riesgo, con el objeto de generar mapas y Sistemas de Información Geográficos (SIG´s). Así mismo generar escenarios de los peligros para desarrollar medidas de prevención y mitigación necesarias, con la finalidad principal de salvaguardar la integridad física de la población.

El análisis de peligro y riesgo de este documento implica una sinergia entre los especialistas en la materia y los, funcionarios del municipio de Huichapan, siendo sumamente transcendental la integración inicial de los miembros del municipio al trabajo de análisis y evaluación, con el objetivo de trasmitir algunos conocimientos a éstos, entender más de la realidad de la localidad y garantizar la continuidad e implementación de las recomendaciones vertidas en el documento resultado del estudio.

I.2 Antecedentes

Como se anotó, la zona en que se encuentra el municipio de Huichapan es susceptible de sufrir la incidencia de fenómenos tanto de origen geológicos como hidrometeorológicos que implican condiciones de peligro y riesgo. A continuación, se relacionan algunos de estos eventos:

El día 22 de agosto de 2007, la Secretaría de Gobernación pronuncio declaratoria de desastre natural por la ocurrencia y efectos del ciclón tropical Dean en 60 municipios del estado de Hidalgo, incluyendo el municipio de Huichapan. (DOF, 2007).

El 26 de noviembre del 2007, la Secretaria de Gobernación proclamo una declaratoria por la presencia de heladas atípicas, ocurridas del 23 de octubre al 5 de noviembre de 2007, en 30 municipios del Estado de Hidalgo, incluyendo el municipio de Huichapan.

En 2011, la Secretaria de Gobernación proclamó una declaratoria de desastre natural por la ocurrencia de lluvia severa del 29 de junio al 1 de julio de 2011, en 54 municipios del estado de Hidalgo, incluyendo el municipio de Huichapan (DOF, 2011).

En marzo del 2013, la bióloga Carmen Dorantes Martínez, delegada dela SEGARPA en Hidalgo informo la afectación en cultivos en 12 municipios, incluido el municipio de Huichapan, lo anterior derivado de las heladas ocurridas en el periodo del 3 al 5 de marzo del año 2013 (Agricultura Hidalgo, 2013).

El 2 de julio del 2017 derivado de la intensa lluvia fueron afectadas las localidades de Tlaxcalilla, El Carmen y El Sitio, en las que existió riesgo de inundaciones al poderse desbordar los ríos que convergen (El Bocón, 2017).

En agosto del 2019 Fuertes lluvias se presentaron en el estado Hidalgo la tarde del día 6 de agosto. En el municipio Huichapan el agua alcanzó hasta un metro de altura afectando vialidades (La Silla Rota Hidalgo, 2019).

En abril del 2020 las autoridades gubernamentales del estado de Hidalgo alertaron a la población para que extreme cuidados, debido a principios de este mes subirá la temperatura y exista la posibilidad de una ola de calor, pues se alcanzará temperaturas entre 40 o 45 °C en la Huasteca, la Sierra y el Valle del mezquital (área en donde se ubica el municipio de Huichapan) (Pérez, L, 2023).

En julio del 2021 una fuerte lluvia causo daños en viviendas y vías de comunicación, principalmente en la localidad de San José Atlán en donde se afectó la red de drenaje (La Silla Rota Hidalgo, 2021). En la localidad de Tlaxcalilla, la presa del mismo nombre aumento su nivel hasta llegar casi al límite de su capacidad (Aranda, 2021).

En septiembre del 2021, derivado de las intensas lluvias que se generaron en la región la presa Francisco I. Madero alcanzo su máxima capacidad originado el desbordamiento de las aguas de origen pluvial (Hidalgo On Line, 2021).

En abril del 2022, derivado de las intensas lluvias se generó una fuerte corriente en el barrio del Calvario, lo que resultó en una importante cantidad de agua que se acumuló sobre la región (La Silla Rota, 2022).

En abril del 2023, el Monitor de Sequía en México, a través de la Dirección Local Hidalgo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), informó que 6 municipios reportan sequía extrema, siendo las regiones del Altiplano y el centro del estado las más afectadas por la ola de calor. Mientras que 20 municipios están clasificados con sequía severa incluyendo el municipio de Huichapan, (Milenio, 2023).

MÉTODO DE TRABAJO

Los principales fenómenos naturales a analizar y que puedan ser causantes de algún tipo de desastre son los geológicos e hidrometeorológicos, aunados a aquellos relacionados con actividades antrópicas, como la modificación del medio natural por actividades humanas que pueda generar un desastre en caso de alguna eventualidad.

En los fenómenos geológicos actúa la dinámica cortical y los materiales del interior de la Tierra o de su superficie. Entre ellos están los sismos, el vulcanismo, los tsunamis o maremotos (que no aplican en este estudio) y los procesos de remoción en masa (movimientos de laderas y suelos) entre otros. Mientras que los fenómenos hidrometeorológicos son agentes perturbadores que se genera en la atmosfera (lluvia, temperatura, viento y humedad) tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados. (**Figura I.1**).

Figura I.1 *Fenómenos perturbadores de origen natural (geológicos e hidrometeorológicos).*

Para la elaboración de este Atlas de Riesgos, se tomó como base la metodología establecida en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”, desarrollada por el Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED, 2021) y la declaratoria “Guía del Contenido Mínimo para la elaboración de Atlas de Riesgos” (DOF, 2016) y los Niveles de Análisis, que se establecen en el documento desarrollado por la Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU, 2016) “Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catalogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2016”.

Se utilizan métodos básicos de interpretación de los sensores remotos disponibles como son las imágenes de satélite, imágenes epipolares, fotografías aéreas y el modelo digital de elevación, para que, mediante la interpretación, extraer información relativa a nivel regional de los peligros causados por fenómenos naturales y en la limitación de las áreas de peligro en zonas urbanas.

Para cada uno de los tipos de peligros analizados, se aplica el método de trabajo señalado por las instituciones que se mencionaron anteriormente, realizando adecuaciones de acuerdo al área de estudio, condiciones del terreno, así como las necesidades del proyecto. Así también las metodologías establecidas para la clasificación de las viviendas, para el desarrollo de los niveles de información de vulnerabilidad para cada peligro.

Las actividades ejecutadas para la realización del Atlas de Riesgos se dividen en tres etapas:

1.- Análisis de información en trabajos de gabinete,

2.- Verificación y obtención de datos en campo y

3.- Procesamiento de información y análisis de resultados en gabinete (**Figura I.2**).

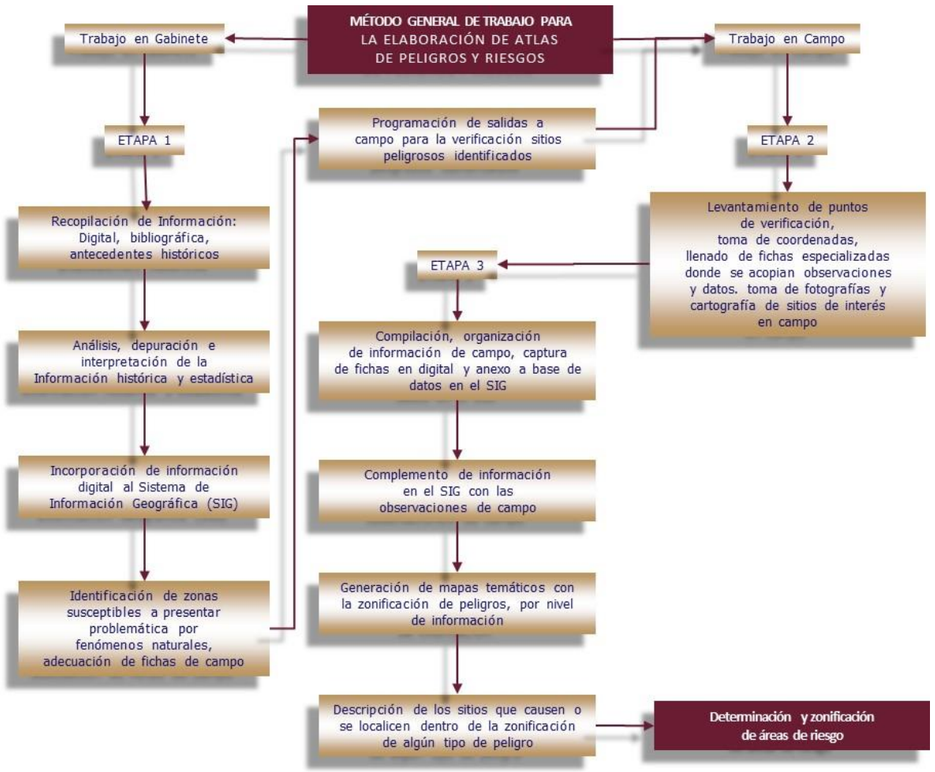


Figura I.2 *Método general de trabajo.*

Se emplea el Sistema de Información Geográfica Arc Map versión 10.5, para el análisis y la generación de mapas de los peligros.

Los productos obtenidos en el Atlas de Riesgos, se basan con los mapas de peligro o susceptibilidad para cada uno de los fenómenos a los que se encuentra expuesto el municipio y mapas de vulnerabilidad de la población.

I.3 OBJETIVOS

I.3.1 General

Generar el Atlas de Riesgos del municipio de Huichapan el cual sirva como herramienta estratégica para identificar, diagnosticar y cuantificar los distintos tipos de peligros y riesgos asociados a fenómenos naturales, para que en la región se pueda implementar medidas de prevención, mitigación y atención de desastres a los que están expuestos la población y su infraestructura.

I.3.2 Específicos

- Identificar y zonificar los de peligros por fenómenos naturales con incidencia en el municipio de Huichapan, según su origen.
- Generar y diseñar una base de datos de los peligros por fenómenos naturales, confiable y de fácil manejo, en formato digital, la cual pueda ser consultada y actualizada permanentemente.

I.4 LOCALIZACIÓN

El municipio se localiza en la parte poniente del estado de Hidalgo, entre los paralelos 20°30´a 20°16´de latitud norte y los meridianos 99°51´a 99°29´de longitud oeste, la altitud varía de 1 840 m s. n. m. (porción centro norte del municipio) y 3 010 m s. n. m. (porción sureste del municipio) y una superficie territorial 6 60.3 km^2 (3.17% superficie del estado) y se encuentra dentro de la región que se denomina llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo. Colinda al norte con el municipio de Tecozautla; al este con los municipios de Tecozautla, Alfajayucan y Chapantongo; al sur con los municipios de Chapantongo y Nopala de Villagrán; y al oeste con el municipio de San Juan del Río, estado de Querétaro (**Figura I.3**). Cuenta con 85 localidades y una población de 47 425 habitantes de acuerdo al censo de población y vivienda generado por INEGI en 2020.

Para llegar al municipio de Huichapan, desde la capital del estado de Hidalgo, se realiza un recorrido de aproximadamente 127 kilómetros sobre la carretera federal No. 85, con un tiempo de recorrido estimado de 2 horas con 20 minutos, se transita

por las localidades El Arenal, Actopan, Caxuxí, Cañada Grande, Patria Nueva, Yolotepec, Julián Villagrán, Taxadho, El Tephé e Ixmiquilpan donde se localiza el entronque hacia la carretera federal No. 45 que conduce al municipio de Huichapan. O bien se realiza un recorrido de aproximadamente 202 kilómetros sobre la autopista Arco Norte ingresando desde el Boulevard Felipe Ángeles y autopista México-Pachuca hasta Jilotepc de Molina continuando por la carretera Querétaro-México 57D hasta la localidad de Palmillas donde localiza el entronque con la carretera federal No. 45 que conduce al municipio de Huichapan con un tiempo de recorrido estimado de 2.30 horas.

I.5 Determinación De Niveles De Análisis Y Escalas De Representación Cartográfica

La estructura cartográfica es la base para la representación de la información espacial del proyecto que comprende el canevá, la cuadrícula y la gradícula. Sobre de ella se definen los niveles de información y se construyen de acuerdo al tipo de elementos gráficos requeridos como son puntos, líneas, polígonos o celdas. Además de datos vectoriales como el límite municipal, vías de comunicación, zonas urbanas e infraestructura urbana a nivel municipal en formato “shapefile” (.shp).

El formato cartográfico

El formato cartográfico para la elaboración del Atlas de Riesgos del municipio de Huichapan, se tomó principalmente de la cartografía del INEGI, 2015 de las cartas topográficas escala 1: 50,000 con claves F14-C78 Huichapan, F14-C68 Tecozautla y F17-C77 San Juan del Río.

Proyección Cartográfica

La proyección utilizada para la cartografía base, temática y de peligros que se utilizara para el presente trabajo, es la Universal Transversa de Mercator (UTM), con sistema geodésico WGS 84 comprendiendo la zona 14 Norte y unidades en metros, así mismo se integrara al proyecto una copia de la información (geodatabase) con una proyección ITRF época 2010, que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para México que establece INEGI como punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) Datúm del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 2008 con datos de la época 2010.

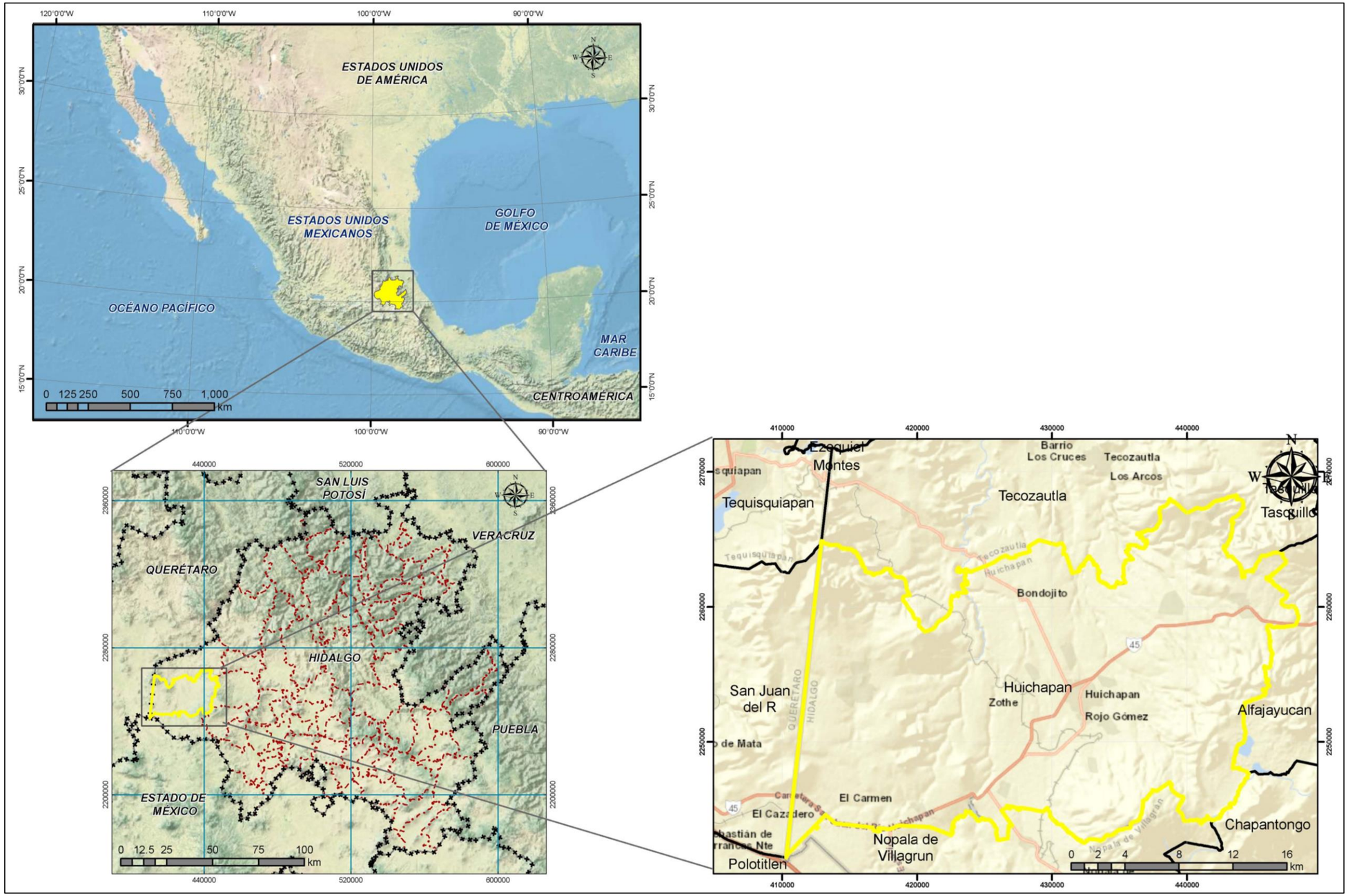


Figura I.3 *Plano de localización del municipio de Huichapan, estado de Hidalgo, 2023.*

Las escalas cartográficas

Las escalas que se utilizarán para este trabajo estarán definidas por la superficie del municipio de Huichapan, la escala utilizada para análisis a nivel estatal es 1: 800,000; para análisis municipal es de 1: 160,000; a nivel cabecera municipal y nivel AGEB, la escala varía de 1: 29,000 (San José Atlán), 1: 35,000 (Tlaxcalilla) y 1: 40,000 (Huichapan). Cada una de estas se utilizará en función al fenómeno a estudiar, por lo cual se manejarán a nivel estatal, nivel municipio, nivel cabecera municipal y AGEB. Establecer estos niveles de información, tiene como objetivo representar de manera clara y precisa cada uno de los fenómenos perturbadores presentes en el municipio, así como generar una base de datos homologados y de fácil manejo.

A continuación, se muestra en la **Tabla I.1** los fenómenos perturbadores y las escalas posibles a manejar para cada uno de ellos.

Tabla I.1 *Determinación de niveles de análisis y escala de representación cartográfica.*

TIPO	FENÓMENO		ESCALA DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA	NIVEL DE ESCALA DE MAPA BASE	NIVEL DE ANÁLISIS
GEOLÓGICO	Vulcanismo		1:900,000	País (México)	Peligro
	Sismos		1:900,000	País (México)	Peligro
			1:800,000	Estatal	Peligro
					Riesgo
	Tsunamis o maremotos		1:10,000,000	País (México)	No aplica
	Inestabilidad de laderas	Deslizamientos	1:160,000	Municipal	Susceptibilidad
					Riesgo
		Flujos (lodo, tierra, suelo y lahar)	1:160,000	Municipal	Susceptibilidad
					Riesgo
		Caídos o derrumbes	1:160,000	Municipal	Susceptibilidad
					Riesgo
	Hundimientos - Subsidencia		1:160,000	Municipal	Peligro
					Riesgo
	Agrietamientos (Fallas y fracturas)		1:160,000	Municipal	Susceptibilidad
					Riesgo
HIDROMETEOROLOGICO	Ondas cálidas y gélidas		1:160,000	Municipal	Peligro
	Sequías		1:160,000	Municipal	Peligro
	Heladas		1:160,000	Municipal	Peligro
	Tormentas de granizo		1:160,000	Municipal	Peligro
	Tormentas de nieve		1:160,000	Municipal	Peligro
	Ciclones tropicales		1:800,000	Estatal	Peligro
	Lluvias extremas		1:160,000	Municipal	Peligro
	Inundaciones pluviales, fluviales, y lacustres		1:160,000	Municipal	Peligro
					Riesgo
	Tornados		1:160,000	Municipal	Peligro
	Tormentas de polvo		1:160,000	Municipal	Peligro
	Tormentas eléctricas		1:160,000	Municipal	Peligro
QUÍMICOS TECNOLÓGICOS	Almacenamiento de sustancias peligrosas		1:160,000	Municipal	Peligro
	Autotransporte ferroviario de sustancias peligrosas		1:160,000	Municipal	Peligro
	Transporte por ductos		1:160,000	Municipal	Peligro
	Incendios forestales		1:160,000	Municipal	Peligro

Base de Datos, Diccionario y Metadatos

El presente trabajo cuenta con un conjunto de información geoespacial temática de los diversos tipos de peligros y riesgos a que está expuesto el municipio, ordenada en un Sistema de Información Geográfico (SIG), con archivos en formato "shapefile", los cuales a su vez están ligados a una base de datos en formato *.dbf y *.excel, que muestran las, características y atributos de cada capa de información; considerando algunos datos bibliográficos y los tomados a partir del trabajo de campo por medio de fichas de control.

I.5.1 Mapa base a nivel estado

De acuerdo con los Términos de Referencia de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), se ha creado una plantilla para representar información a nivel estatal, con el objetivo de dar cuenta de fenómenos naturales que afectan a regiones extensas. Esta representación se realiza a una escala de 1: 800,000-1: 900,000, lo que permite una visualización más detallada de los datos (**Figura I.5.1.1**).

I.5.2 Mapa base a nivel municipio

La representación cartográfica del Sistema de Información Geográfica (SIG) del Atlas de Riesgos del municipio de Huichapan se basa en tres cartas topográficas elaboradas por el INEGI a una escala de 1: 50,000 con clave F14C78, F14C77 yF14C68. Los datos vectoriales se tomaron de estas cartas, identificando los rasgos topográficos de la región y proporcionando apoyo para el análisis de los fenómenos naturales que afectan al municipio. La escala utilizada para este nivel es 1: 160,000 (**Figura I.5.2.1**).

I.5.3 Mapa base a nivel cabecera municipal

Para el mapa a nivel centro poblacional, se han identificado las calles, las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) y los equipamientos urbanos de la cabecera municipal y de las localidades de San José Atlán y Tlaxcalilla como cementerios, centros de asistencia médica, escuelas, instalaciones deportivas, etc. (**Figura I.5.3.1**).

I.5.4 Mapa base a nivel AGEB y Manzana

Para analizar las características sociales y demográficas de la población del municipio, se necesita trabajar a una escala mayor. Para ello, se ha generado una plantilla a nivel de AGEB y manzana a una escala de 1: 40,000 para la cabecera municipal, 1: 29,000 para la localidad de San José Atlán y 1: 35,000 para Tlaxcalilla, que son las localidades que disponen de esta información. Esta plantilla se utiliza para el análisis de vulnerabilidad física y social (**Figura I.5.4.1**).

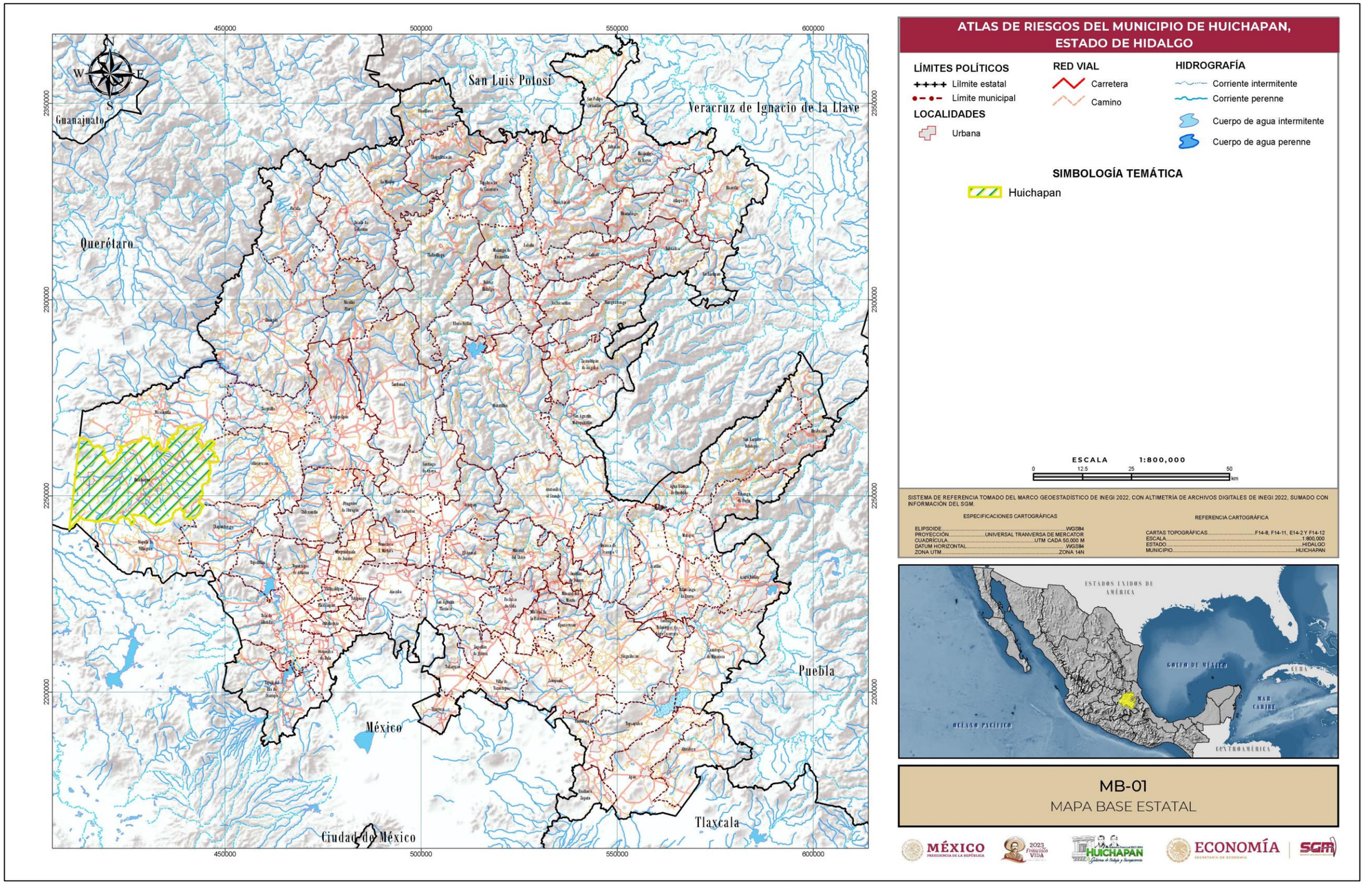
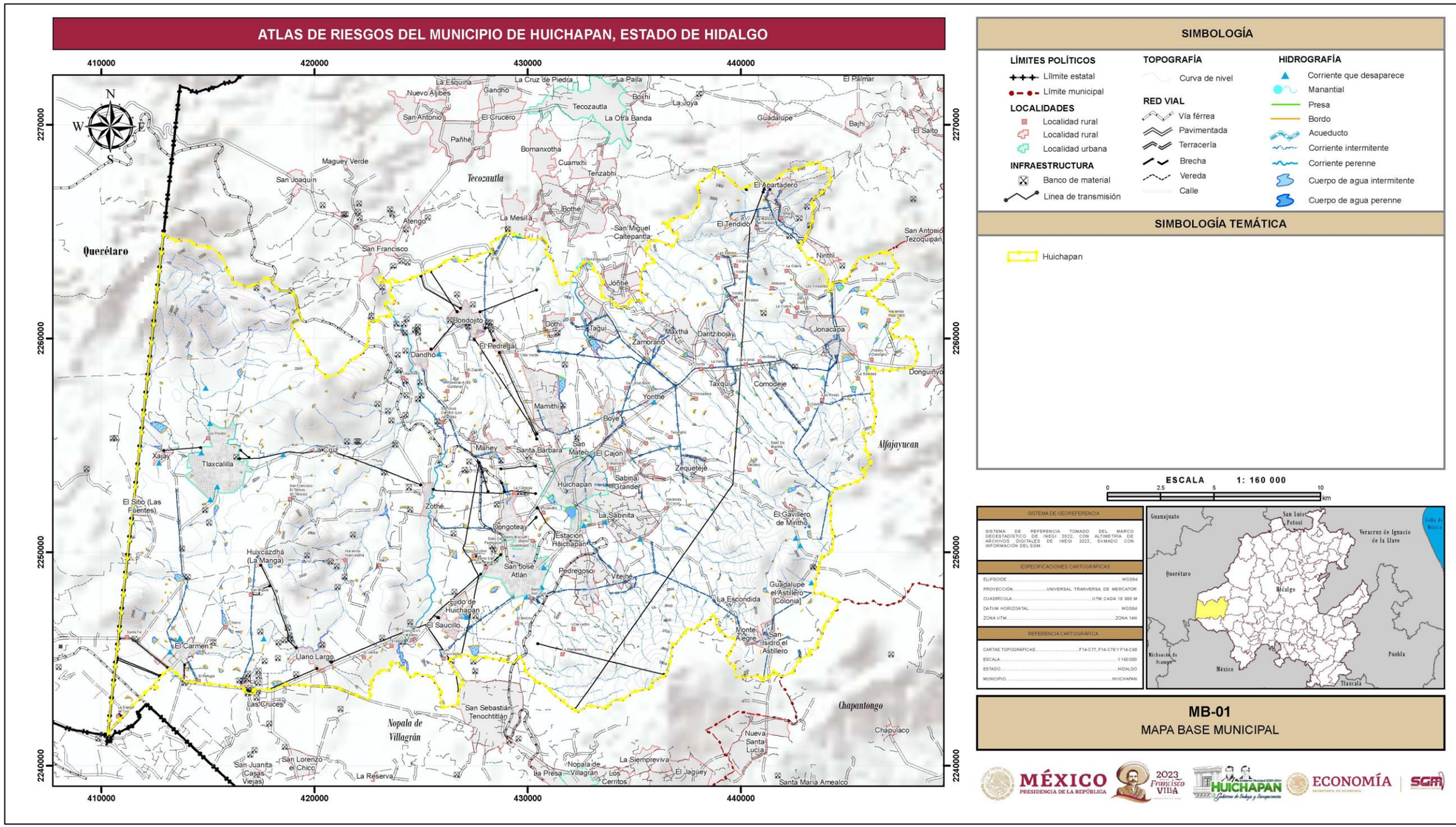


Figura I.5.1.1*Mapa base a nivel estado, en donde se resalta el municipio de Huichapan en el estado de Hidalgo.*

Fuente: *Elaboración propia, con datos INEGI, 2022.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

MB-01
MAPA BASE MUNICIPAL

Figura I.5.2.1 *Mapa base a nivel municipal.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de INEGI, 2021, INEGI, 2021b e INEGI, 2019.*

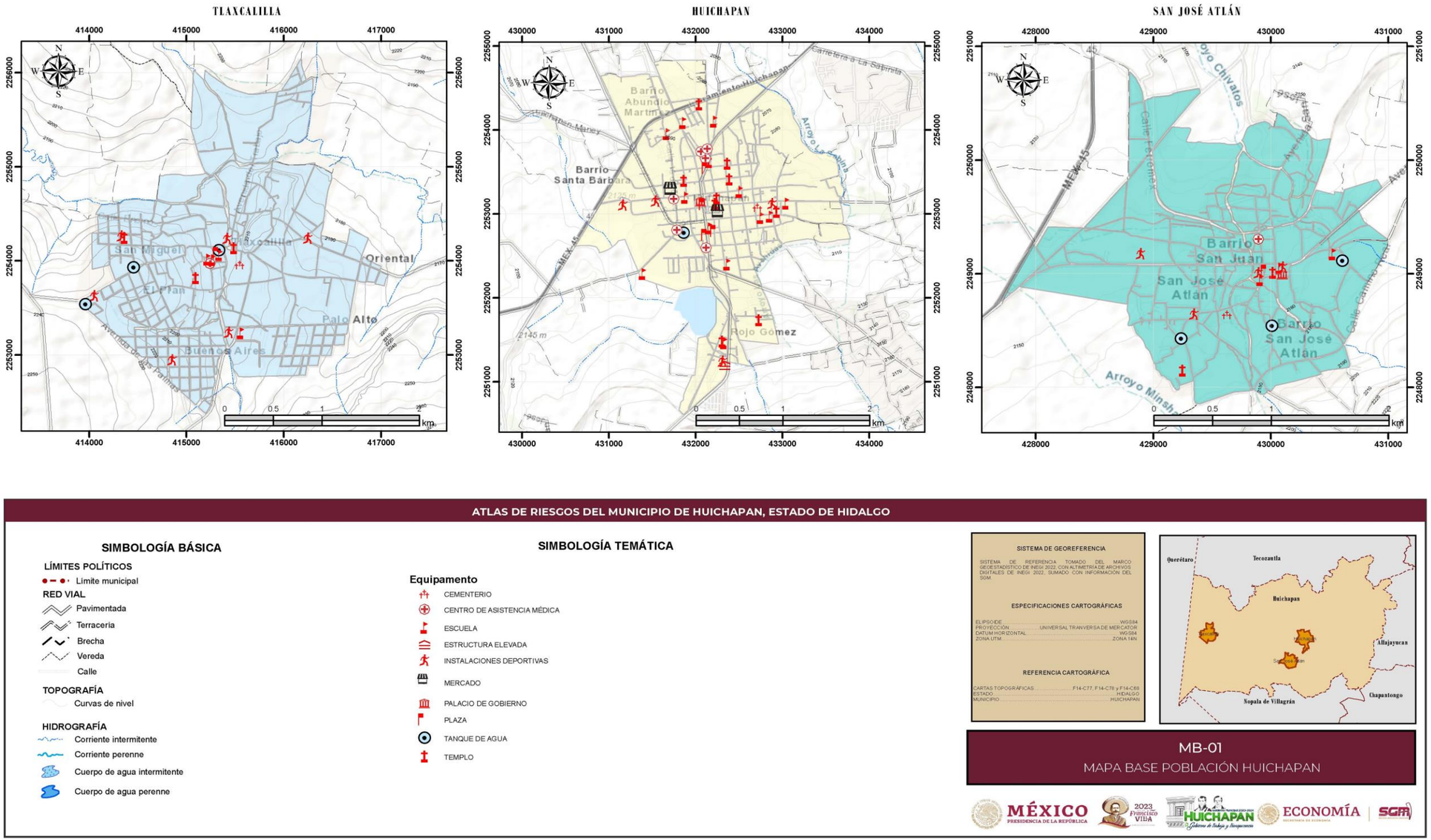


Figura I.5.3.1 *Mapa base a nivel centro de población*
Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI, 2021.

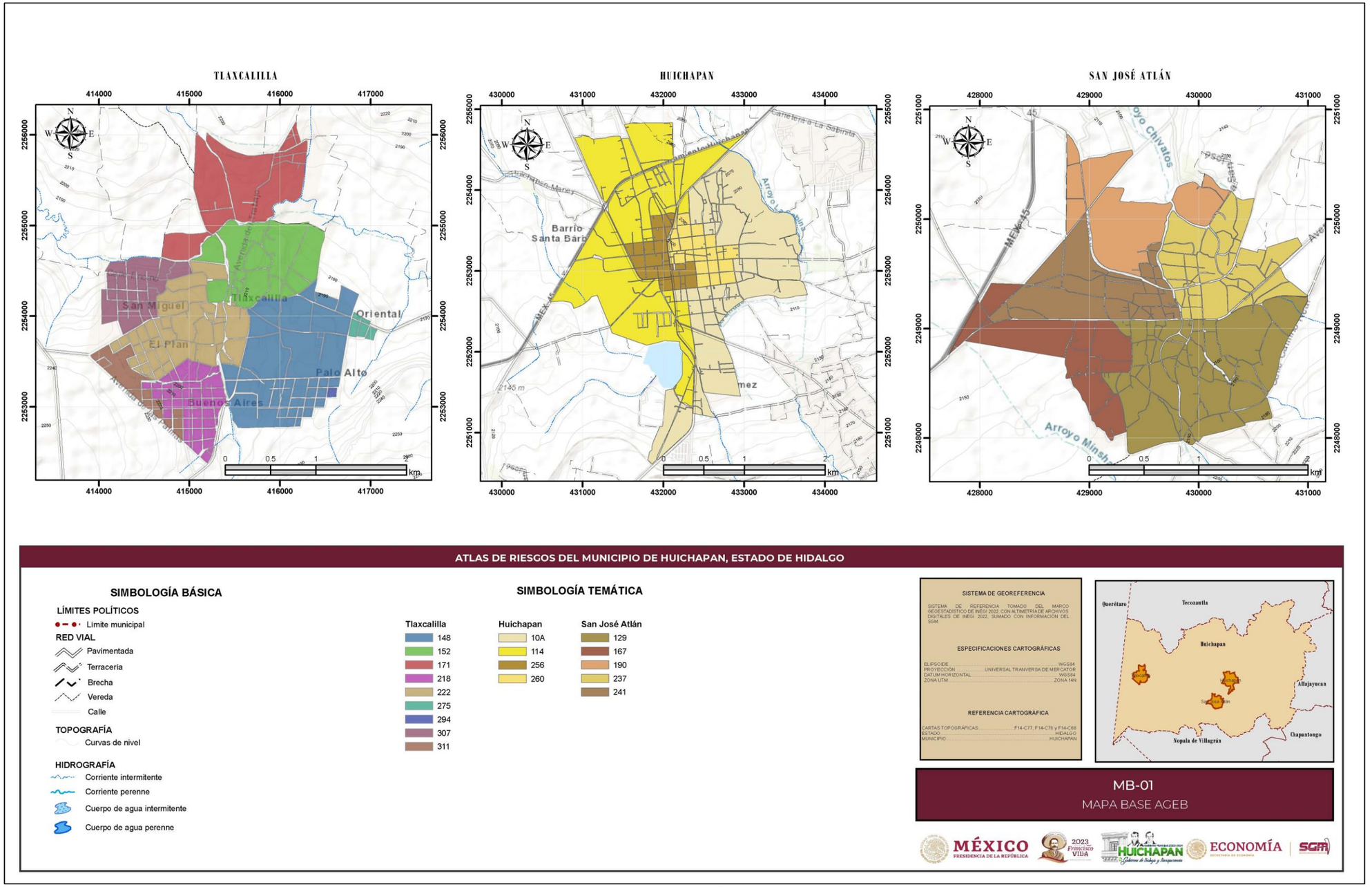


Figura I.5.4.1 *Mapa Base a nivel AGEB – manzana.*
Fuente: *Elaboración propia, con base en información de INEGI, 2021.*

I.6 Caracterización De Los Elementos Del Medio Natural

I.6.1 Fisiografía

El municipio de Huichapan se ubica en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano, conocida actualmente como la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Este arco volcánico se desarrolla sobre el margen de la placa tectónica de Norteamérica por la subducción de las placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Acapulco (Ferrari, 2000). Se extiende desde la costa del Pacífico hasta el golfo de México y se caracteriza por la gran variabilidad del estilo volcánico y la composición química a lo largo del arco, debido a la acumulación de sucesivas etapas de formación desde mediados del Terciario, hace unos 35 millones de años (INEGI, 1992), y la presencia de un volcanismo alcalino de tipo intraplaca.

En lo que se refiere a la subprovincia fisiográfica el municipio se encuentra en la denominada Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, la cual se extiende desde la ciudad de Pachuca hasta el oeste de la ciudad de Querétaro. De poniente a oriente presenta un corredor de lomeríos bajos de material volcánico y llanuras, por debajo de los 2 000 m s. n. m. Solo una cumbre, la del cerro Nopala al sur de Huichapan, tiene más de 3 000 m de altitud. En el municipio de Huichapan se localiza la caldera de Huichapan, una de las estructuras más extraordinarias de toda la provincia, ubicada en lo alto de un antiguo aparato volcánico (INEGI, 1992) (**Figura I.6.1.1**).

I.6.2 Geomorfología

En el municipio de Huichapan se pueden identificar cuatro tipos de topoformas: sierra compleja, llanura de piso rocoso, lomerío de basalto y escudo volcanes con calderas. La sierra compleja se encuentra en dos zonas del municipio, una al noroeste y otra al noreste, con elevaciones que varían entre 1 880 y 2 720 m s. n. m. La llanura de piso rocoso se encuentra en una zona al suroeste, con elevaciones entre 2170 y 2350 m s. n. m. El lomerío de basalto está presente en dos zonas, la más extensa de sur a noroeste en la porción central del municipio, con elevaciones entre 1 850 y 2 180 m s. n. m. y la más pequeña se ubica en el extremo suroeste, con elevaciones entre 2 540 y 2 630 m s. n. m. Por último, el escudo volcanes con calderas se encuentra al sureste del municipio, con elevaciones que varían entre 2 280 y 2 740 m s. n. m.

En cuanto a las pendientes, el 82.86% del territorio presenta ángulos de inclinación entre 0 y 14°. Las pendientes ligeramente inclinadas, con ángulos que varían de 15° a 24°, representan el 10.98% del territorio. Las pendientes moderadamente inclinadas, con ángulos de entre 25° y 34°, cubren el 3.24% del área total. Aquellas con ángulos de inclinación de 35° a 44° ocupan el 1.54% de la superficie. Finalmente, las pendientes más severas, con ángulos de inclinación mayores a 45° y que representan las de mayor peligro, ocupan una superficie de 1.36% del territorio (**Figura I.6.2.1**).

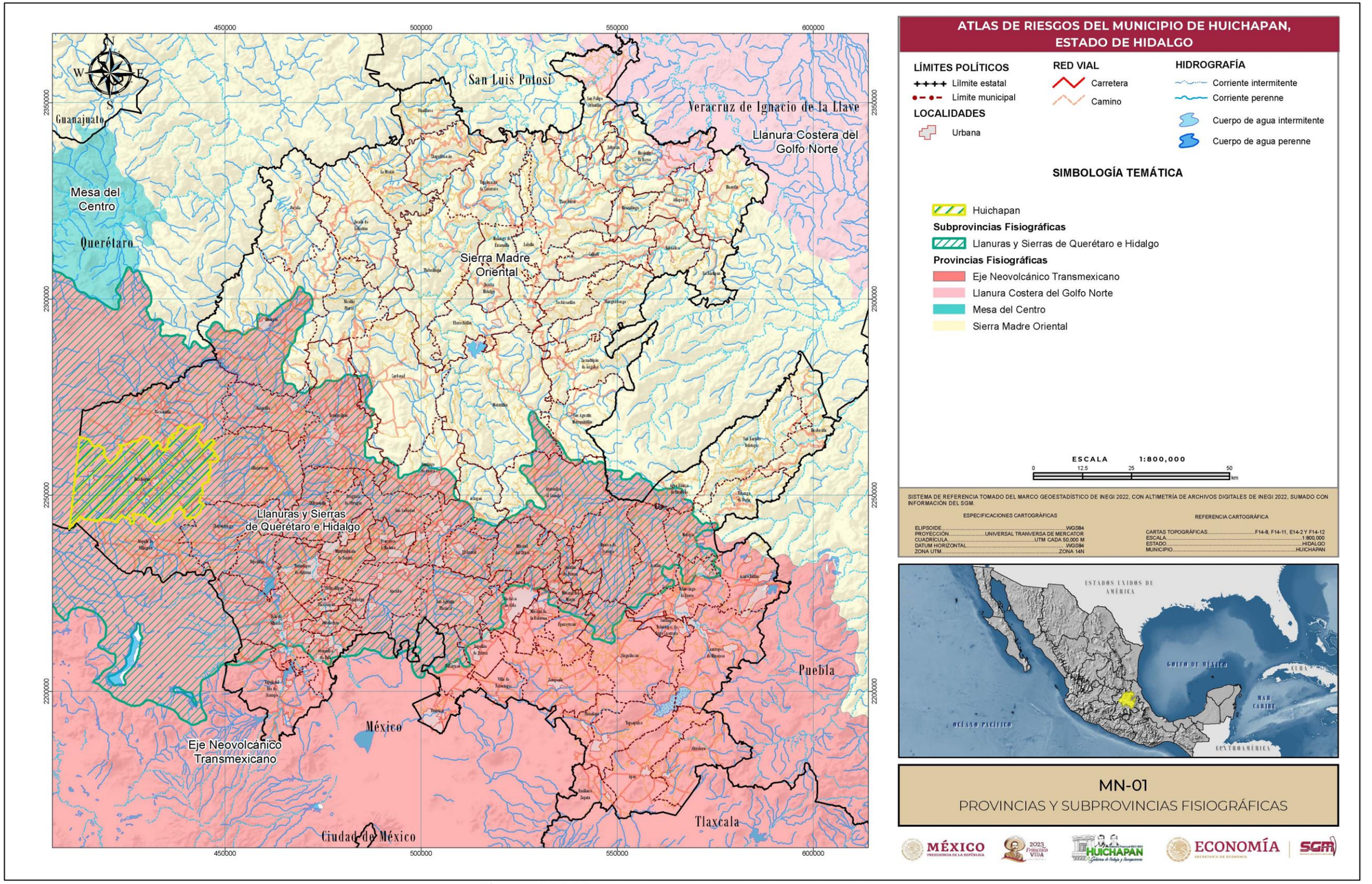


Figura I.6.1.1 *Provincias y subprovincias fisiográficas.*
Fuente: *Elaboración propia, con información de INEGI, 2001 y 2001b.*

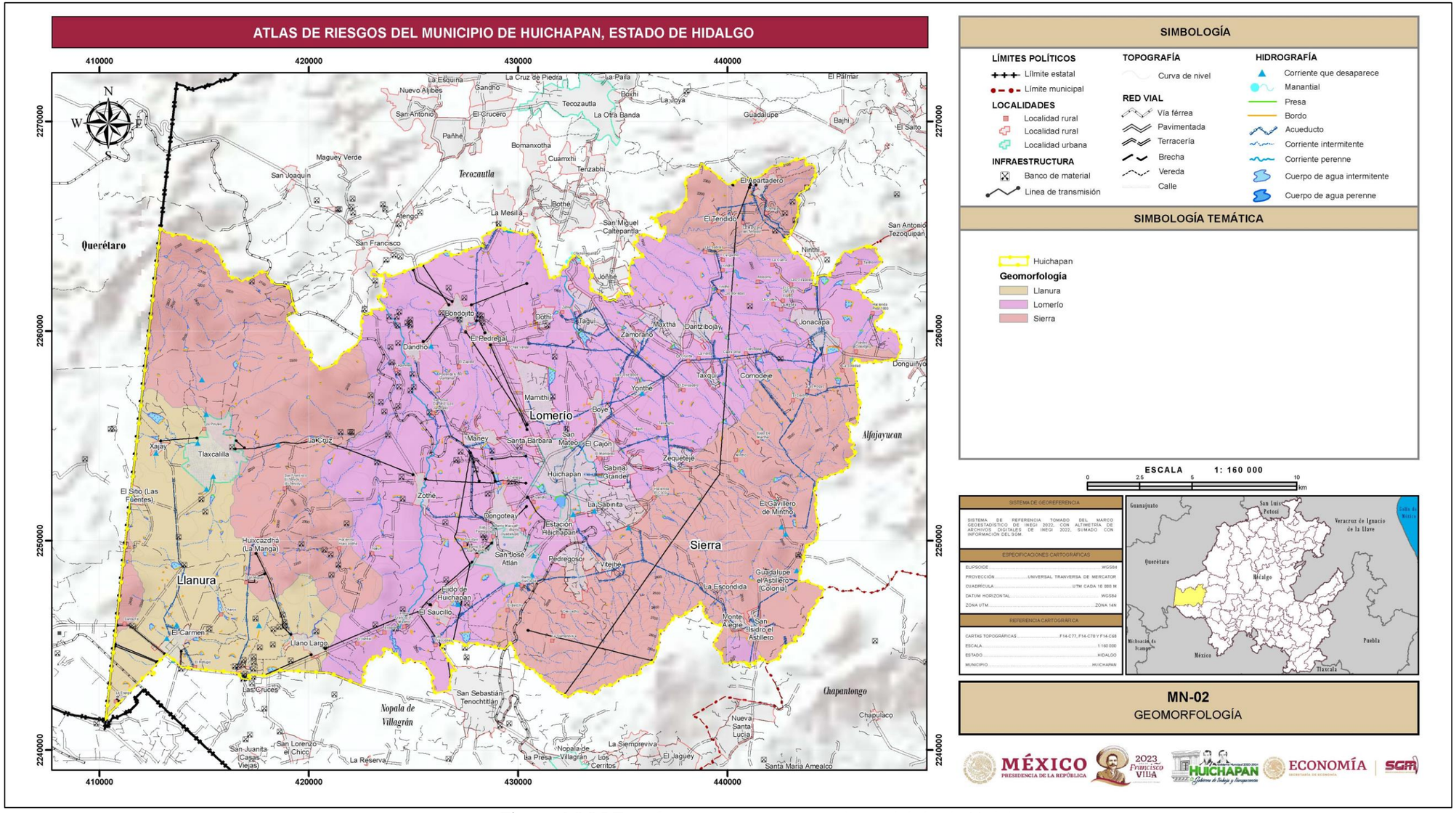


Figura I.6.2.1 *Topoformas presentes en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos INEGI, 2001c.*

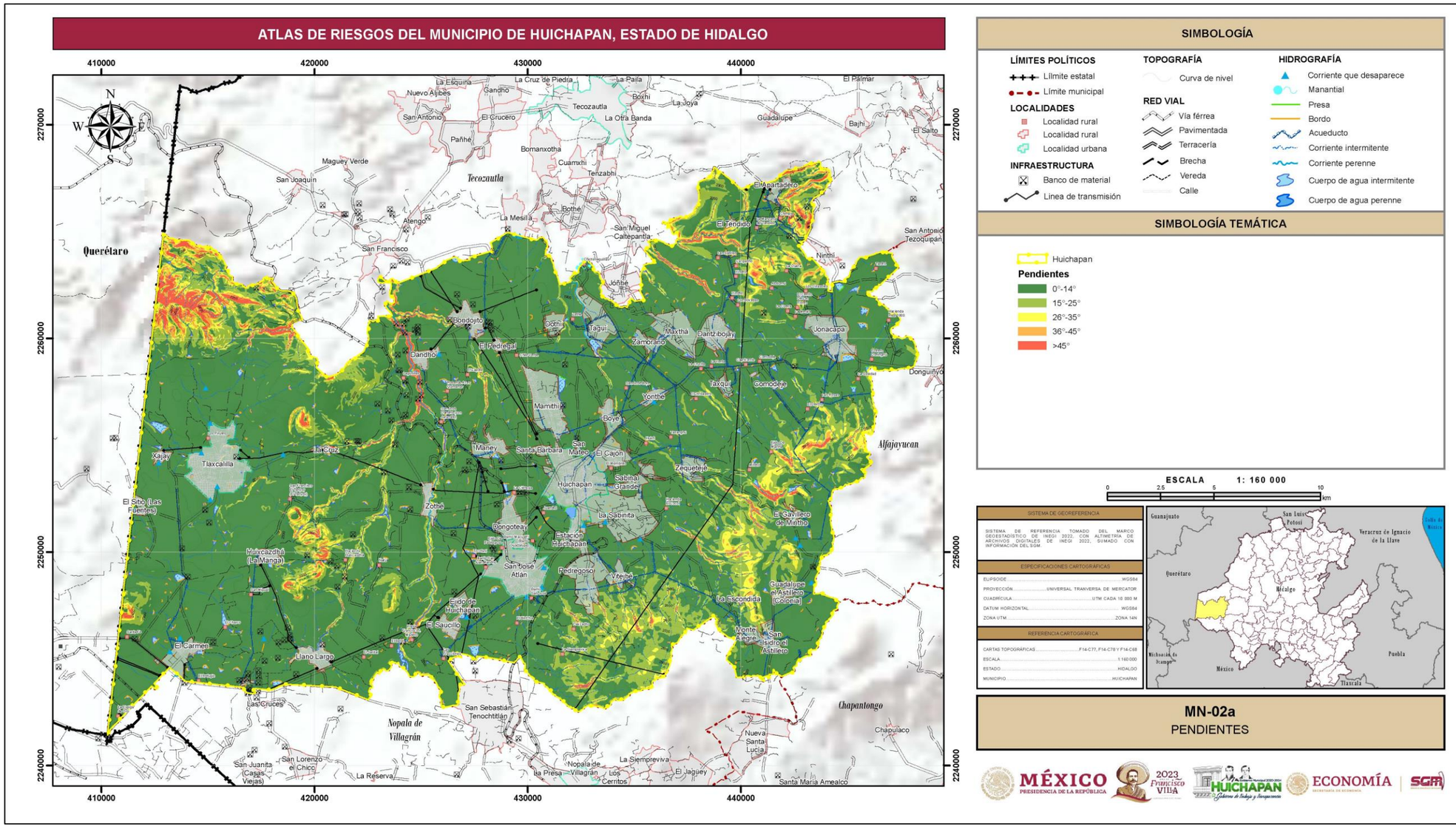


Figura I.6.2.2 *Mapa de pendientes presente en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos INEGI, 2021.*

I.6.3 Marco geológico

La mayor parte del municipio está conformado por rocas volcánicas de edades y composiciones que indican a asignarlas al Cinturón Volcánico Mexicano, sin embargo, existen algunos afloramientos de rocas sedimentarias en la parte noreste del municipio, como es la Formación El Doctor y la Formación Soyatal, lo que permite ubicarlas como parte de la Sierra Madre Oriental (SMO).

Las rocas más antiguas que afloran en el municipio, está representado por el macizo calcáreo El Doctor, el cual consiste en cuatro facies. La facies Cerro Ladrón consiste de un banco arrecifal con estratificación gruesa y con espesores aproximados de 300 m, la facies Socavón es un cuerpo pre arrecifal compuesto por conglomerados de caliza y calcarenitas de estratificación gruesa, la facies San Joaquín es una caliza oscura de estratificación gruesa con nódulos de pedernal negro. Finalmente, la facies La Negra corresponde al ambiente de cuenca, donde el pedernal presenta cuerpos lenticulares interestratificados con la caliza de grano fino y estratos de 0.10 a 0.20 m de espesor.

Para el Cretácico tardío se presenta aflorando la Formación Soyatal, la cual descansa sobre la Formación El Doctor. Esta formación se presenta en capas delgadas de lutita calcárea, marga y arenisca. Para el Terciario se tienen rocas de origen volcánico asociados en su mayoría a la caldera de Huichapan y/o El Astillero. Autores que han trabajado la zona hacen referencia a este vulcanismo como de tipo pre-caldera, originado por la caldera y post-caldera.

Sobreyaciendo a la secuencia sedimentaria discordantemente, se encuentran rocas de composición intermedia a máfica, que consisten en una andesita (***Tm A***) que la ubican en el Mioceno superior. Posterior a estos eventos volcánicos se genera la Caldera de Huichapan que da origen a una serie de tobas líticas e ignimbritas de composición andesítica, traquidacítica y riolítica, que de acuerdo a la cartografía geológica-minera del SGM (1997), esta unidad fue considerada como la unidad ***Tpl TR-TRDa***, que consiste en una toba de composición riolítica a dacítica, Aguirre-Díaz (2005) las separa en Tobas Donguinyó y Toba Huichapan.

Las rocas que sobreyacen a la unidad anterior y de acuerdo a Verma S.P. (2001) hace referencia a estas rocas como vulcanismo post-ignimbrítico y como una serie de domos resurgentes en la periferia del anillo de la caldera y los caracteriza geoquímicamente como dacíticos. Sobreyaciendo indistintamente y de manera discordante a las unidades anteriores se tiene una alternancia de tobas líticas de composición riolítica e intercaladas indistintamente con horizontes y lentes de conglomerado polimíctico mal clasificado y con matriz de composición riolítica del tamaño de las arenas. SGM (2002).

Para el Cuaternario se presentan emplazamientos de rocas volcánicas de composición basáltica, las cuales corresponden al volcán Nopala, ubicado al centro sur del municipio. Finalmente se tienen depósitos plio-cuaternarios como conglomerado polimíctico-arenas.

En relación a la evolución tectónica de la región, se considera que durante el Plioceno se produjo el plegamiento y fallamiento laramídico con pliegues y cabalgaduras con dirección NW-SE con dirección al NE. Mientras que las rocas terciarias presentan ligero fallamiento normal y lateral incipiente que algunos autores lo asocian al régimen extensional de Cuencas y Sierras (Basin and Range). SGM (2008). (**Figura I.6.3.1**).

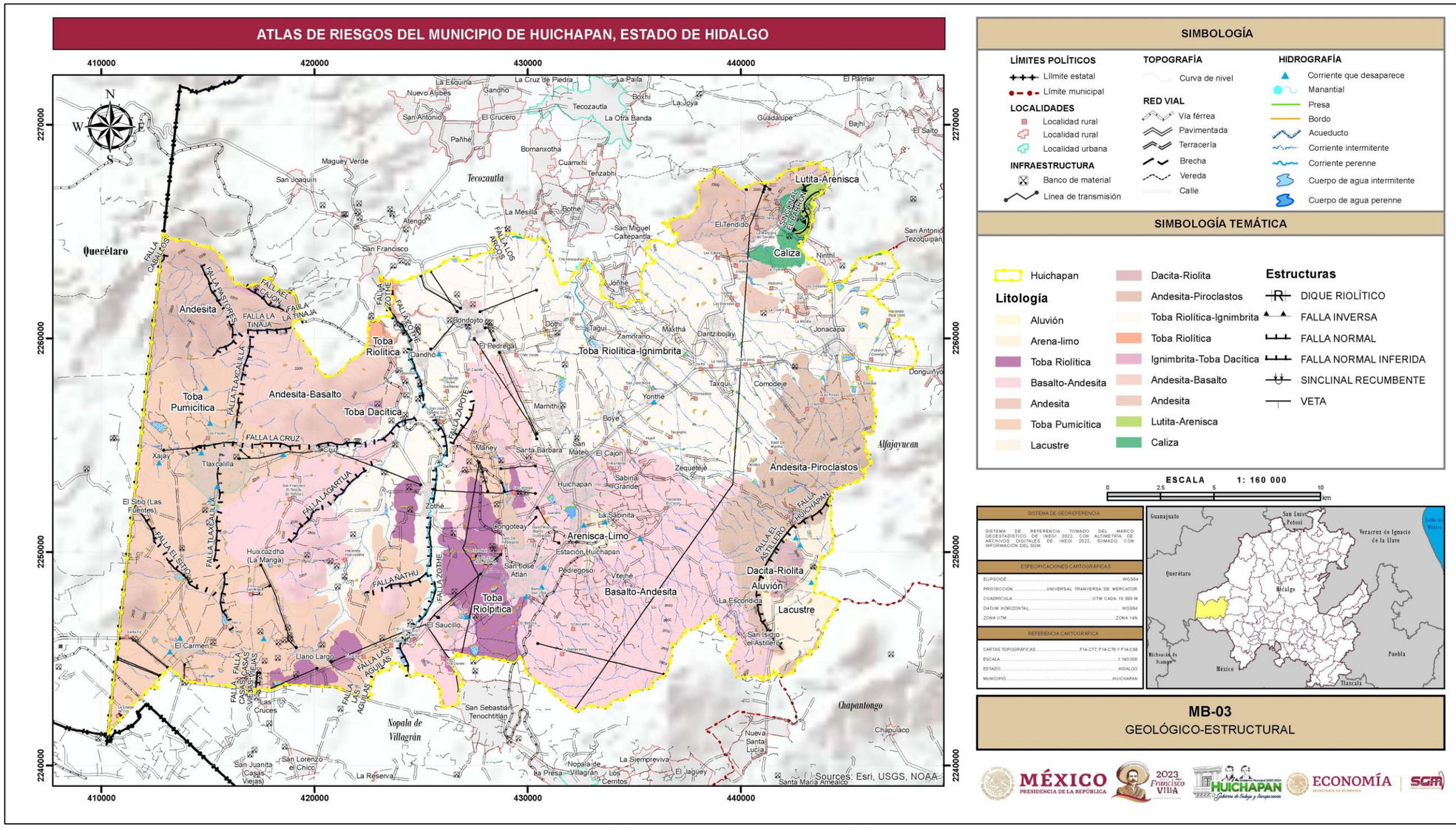


Figura I.6.3.1 *Mapa geológico-estructural del municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente *Elaboración propia, con datos del SGM, (2002, 2008 y 2009).*

Estratigrafía

Caliza (KaceCz); Formación El Doctor
Esta unidad es la más antigua, se encuentra distribuida en la porción nororiente del municipio de Huichapan, en las inmediaciones de las localidades El Apartadero, Chimpa, La Güera y parte norte de la localidad Taxthó; la cual cubre una superficie aproximada de 4.93 km^2. La caliza presenta tono gris claro con textura mudstone, se observan horizontes fosilíferos, así como bandas y nódulos de pedernal negro con espesores de 0.05 m, de igual manera, estructuras estilolíticas bien formadas, con estratos de hasta 0.40 m en promedio. Esta unidad le subyace, de forma concordante a lutita y arenisca de la Formación Soyatal. SGM (2008).

Lutita-arenisca (KtcLu-Ar); Formación Soyatal
Estos estratos calcáreos arcillosos se ubican en la porción nororiente del municipio, al oriente de la localidad El Apartadero y norte de la comunidad Ninthí; cubre una superficie 1.64 km^2. De manera general, se presenta una alternancia de lutita de color amarillento y arenisca de color amarillo ocre, con estratificación delgada y espesor de hasta 0.20 m con una granulometría que varía de grano grueso a fino. Sobreyace a la Formación El Doctor y subyace discordantemente a depósitos piroclásticos de composición félsica del Plioceno. SGM (2008).

Andesita (TmA)
Estos derrames de lava de composición andesítica, se ubican en la porción nororiente, en las inmediaciones de las localidades de El Tendido, Apartadero, Los Girasoles y El Cerrito de Las Flores; en la porción poniente, al norte de la localidad de Tlaxcalilla y sur de la comunidad El Sitio (Las Fuentes); comprende una superficie de 47.7 km^2. Esta unidad consiste en una roca máfica a intermedia de color negro a gris oscuro al fresco y café a gris claro a la intemperie, presenta una estructura masiva y en ocasiones fluidal además de presentar una textura afanítica. Esta unidad yace de forma discordante sobre la Formación El Doctor y subyace a las tobas riolíticas, tobas riolíticas-ignimbrita y basaltos. SGM (2008).

Andesita-basalto (TmA-B)
Unidad constituida por derrames de lava de composición intermedia a máfica, se ubica en la porción poniente del municipio, en las inmediaciones de las localidades de Tlaxcalilla, La Cruz y Dandhó; comprende una superficie aproximada de 30.7 km^2. Consiste en una andesita y basalto de color gris oscuro a negro al fresco e intemperiza a tonos castaño y rojizo, de textura porfídica, constituida por fenocristales de plagioclasas y olivino. En algunas partes esta roca presenta una estructura vesicular y fluidal con inclinaciones pronunciadas. Esta unidad sobreyace en forma discordante a las del Oligoceno de composición riolítica, de igual manera, es cubierta en forma discordante por secuencias piroclásticos del Mioceno tardío-Plioceno y derrames de lava del Plioceno. SGM (2009).

Ignimbrita-Toba dacítica (TmIg-TDa)
Esta secuencia piroclástica se encuentra expuesta en la porción norponiente del municipio de Huichapan, al norte de Tlaxcalilla y sur poniente de la localidad de Dandhó, la cual cubre una superficie aproximada de 1.2 km^2. La unidad consiste en cuerpos ignimbríticos de composición dacíta-andesítica de color negro, café oscuro, marrón y naranja ocre, con abundantes fiammes (líneas que cruzan la roca) de color negro, y líticos de roca de composición máfica-intermedia, esporádicamente presenta fragmentos de pómez de color naranja y café ocre, medianamente soldada y estructura tabular. Esta unidad cubre discordantemente a coladas de lava de composición máfica-intermedia de las unidades ***TmA y TmAB***. SGM (2009).

Toba riolítica (TplTR); Toba Donguinyó
Esta unidad volcánica, producto de eventos explosivos, se encuentra distribuida al noroeste de la localidad Dandhó, poniente de la localidad Bondojito y en los alrededores de Chichimequillas, la cual cubre una superficie aproximada de 2.2 km^2. Presenta depósitos tobáceos de composición riolítica de color gris a beige al fresco y de color blanquecino a amarillento a la intemperie. La unidad presenta dos horizontes; hacia la base uno arenoso constituido por litos de andesita, ceniza, abundante cuarzo, feldespatos y plagioclasas, mientras que hacia la cima está constituida por ceniza, líticos de andesita, fragmentos de pómez de color beige, blanco y gris, además de cristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas. Esta unidad cubre discordantemente a unidades ***Tm A, Tm A-B*** y ***Tm Ig-TDa***; subyace de forma discordante a la secuencia ignimbrita Huichapan (***Tpl TR-Ig***). SGM (2009).

Toba riolítica-ignimbrita (TplTR-Ig); Toba Huichapan (Toba San Francisco)
Este material volcánico consiste de varios derrames cineríticos que forman cuerpos tabulares, se encuentran ampliamente distribuidos en el municipio, en las inmediaciones de las localidades de Zothé, Dandhó, Bondojito, El Pedregal, Mamithí, Dothí, Taguí, Zamorano, Maxthá, Dantzibojay, Jonacapa y norte de Huichapan entre otras; la cual cubre una superficie de 205 km^2, siendo la unidad de mayor extensión en el municipio. La unidad litológica es de un color rosa claro al fresco y café a naranja a la intemperie; presenta seudoestratificación de mediana compactación, la matriz consiste de pómez y ceniza de grano medio con abundancia de líticos de pómez, además de contener líticos de andesita y escoria basáltica, se observan fenocristales de cuarzo, sanidino, plagioclasa, feldespato y óxidos. Esta unidad cubre a rocas de manera discordante a rocas andesíticas miocénicas (***TM A y TM A-B***), secuencias piroclásticas del Plioceno (***Tpl TR)***, es

cubierta por coladas de lava de composición máfica de la unidad ***Tpl B-A*** y por secuencias piroclásticas del Plioceno (***Qpt TR***). SGM (2009).

Andesita-piroclastos (TplA-Pc)
Estas lavas están asociadas al anillo de la caldera de Huichapan, se encuentran en la porción oriente del municipio, la cual cubre una superficie aproximada de 42.2 km^2. La unidad consiste de andesita basáltica, andesita y depósitos piroclásticos de composición félsica, en su mayoría compuesta por pómez de tonos amarillos. Se compone por rocas de color negro a gris oscuro al fresco, mientras que a la intemperie son café rojizas; de estructura masiva y en partes fluidal, con fracturamiento en forma de lajas, intercaladas con depósitos piroclásticos de caída libre; yace en forma discordante a caliza de la Formación El Doctor, subyace de forma discordante a las rocas dacíticas-riolíticas del Plioceno. SGM (2008).

Dacita-riolita (TplDa-R)
Los domos de composición félsica se ubican en la parte central de la caldera de Huichapan, esto es, en la parte oriente del municipio; en las inmediaciones de la localidad Guadalupe El Astillero y oriente de San Isidro El Astillero, la cual cubre una superficie de 3.2 km^2. La unidad presenta rocas de color rosa claro con tono a la intemperie de rosa lechoso, de composición riolítica con textura afanítica, con fenocristales de cuarzo, sanidino, plagioclasa y feldespatos. Estas rocas presentan una estructura fluidal, con espesores en las lajas de 0.05 a 0.1 m e inclinación de los planos de flujo de 30° hasta verticales. La unidad se encuentra sobreyaciendo a andesitas basálticas y subyace a depósitos lacustres. SGM (2008).

Lacustre (TplLa)
Estos depósitos sedimentarios de tipo continental se ubican al suroriente del municipio de Huichapan, en el interior de la caldera, en las inmediaciones de las localidades de Guadalupe El Astillero y San Isidro El Astillero, la cual, cubre una superficie aproximada de 11.3 km^2. La unidad consiste en depósitos continentales estratificado de color café claro, dispuesto en capas subhorizontales de espesor variado, conformado por arenas finas y lentes de conglomerado polimíctico consolidado y mal seleccionado, soportado por una matriz que presenta cristales de cuarzo y nódulos de hematita y pirolusita. Esta unidad cubre a derrames basálticos-andesíticos (***Tpl A-PC***) y derrames dacíticos (***Tpl Da-R***). SGM (2008).

Toba pumicítica (TplTpu)
A estos depósitos y flujos de pómez de composición riolítica se encuentran expuestas en la parte centro y poniente del municipio de Huichapan, en las inmediaciones de las localidades de Maney, Dongoteay, Tlaxcalilla, El Sitio (las Fuentes), Xajay, El Carmen, Guadalupe y Llano Largo; el cual cubre una superficie de 114.3 km^2. De manera general a esta unidad se le considera como toba pumicítica a una serie de depósitos y flujos de pómez de composición riolítica, conformado por pómez de color beige, gris claro y naranja claro, con espesores de 0.02 a 0.1 m, de forma subredondeada y ligeramente tabular, además de contener líticos de composición intermedia de color gris oscuro a negro, con tamaños no mayores a 0.05 m, soportados en una matriz de ceniza fina a mediana de textura arenosa y de aspecto pumicítico. Esta unidad cubre de manera discordante a andesitas de Plioceno (***Tpl A-Pc, Tpl TR-Ig***) y a una secuencia piroclástica de composición riolítica. SGM (2008).

Andesita-(TplA)
A esta secuencia de flujos de lava y escoria, intercalados con horizontes de tefra, se encuentran distribuidos en la porción surponiente del municipio de Huichapan, al norte de la localidad de El Carmen y Santa Fe, la cual comprende una superficie de 3.1 km^2. La unidad consiste en una andesita de color violeta a gris en superficie fresca con tonos rosados y rojizos a la intemperie, textura afanítica con matriz granular a vesicular con presencia de cristales de auguita, biotita, feldespatos alterados a blanco lechoso, plagioclasas y algunos óxidos, de estructura fluidal con inclinaciones de 65°-80°; también se observa brecha volcánica de composición máfica-intermedia. Esta unidad cubre a rocas andesíticas miocénicas (***Tm A***), así como a secuencias piroclásticas del Plioceno (***Tpl Ig-TPu, Tpl TR-Ig y Tpl Pu***) y es cubierta de igual forma por secuencias piroclásticas del Plioceno. SGM (2008).

Basalto-andesita (TplB-A)
Esta unidad corresponde a derrames de lava de composición máfica e intermedia, representadas por rocas basálticas y andesítica, se encuentran expuestas ampliamente distribuidas en la parte central y sur del municipio de Huichapan, en las inmediaciones de las localidades de Huixcazdhá, San Miguel, Ñatu, San Francisco El Tonyoy, La Cruz, Maney, El Pedregal, Huichapan (cabecera municipal), La Sabinita, Estación Huichapan, San José Atlán, Pedregoso, Vitejhé, Monte Alegre, San Isidro El Astillero, Ejido de Huichapan y El Saucillo entro otras; el cual cubre una superficie de 155.4 km^2, siendo la segunda en extensión territorial. La unidad consiste de rocas de composición máfica a intermedia de color negro e intemperiza a tonos café-naranja, de estructura masiva-fluidal, en partes se observa vesicular con relleno de minerales transparentes a lechosos; la textura es afanítica con fenocristales de hornblenda, epidota y plagioclasas. Esta unidad cubre de manera discordante a secuencias piroclásticas del Plioceno (***Tpl TR-Ig***, ***Tpl Pu***), así como a rocas andesíticas (***Tpl A-Pc***); esta unidad es cubierta por una secuencia piroclástica del Plioceno (***Qpt TR***), así como depósitos de relleno (***Qho ar-lm, Qho al***). SGM (2008).

Toba riolítica (QptTR)

Estos depósitos piroclásticos de color naranja y tonos rojizos, se ubican en la porción centro-sur del municipio de Huichapan, en las inmediaciones de las localidades de Zothé, La Ciénega, Dongoteay, Tocofani, San José Atlán, Ejido de Huichapan y Llano Largo. Esta unidad consta de una secuencia piroclástica de composición riolítica la cual fue depositada en medio acuoso; presenta coloración ocre a marrón en superficie fresca y tono beige a café rojizo a la intemperie, de textura granular, seudoestratificada, conformada por cristales de cuarzo, sanidino, plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio. Esta unidad cubre discordantemente a basaltos y andesitas pliocénicas, así como pumicitas de la secuencia Huichapan, ignimbritas, pumicitas y andesitas del Plioceno; esta unidad es cubierta de manera discordante por depósitos continentales recientes y suelos residuales. SGM (2009).

Arena-limo (Qhoar-lm)

Estos depósitos de arenas, limos y arcilla, se ubican entre las localidades de Huichapan (cabecera municipal), La Sabinita, Estación Huichapan, Vitajhé, Pedregoso e Isidro el Astillero, comprende una superficie aproximada de 3.4 km^2. Esta unidad está constituida por depósitos de arena, limos y arcillas derivados de la erosión de las rocas preexistentes, transportado por corrientes fluviales, localizadas en las partes bajas y en los causes de los arroyos. Se encuentra sobreyaciendo a diferentes rocas, andesitas, basaltos y depósitos lacustres. SGM (2008).

Aluvión (Qhoal)

Material de relleno mal consolidado, se ubican al sur de la localidad de San Miguel Caltepantla y poniente de la localidad de Guadalupe El Astillero, la cual cubre una superficie de 0.5 km^2, siendo la de menor exposición en el municipio. Estos depósitos corresponden a arenas, arcillas y gravas de diferentes tamaños y formas, los cuales varían de subredondeados a redondeados. Estos depósitos se encuentran burdamente estratificados, se observan en algunos cortes de caminos y canales de riesgo con espesores no mayores a 1 m. Cubre principalmente a secuencias piroclásticas antes mencionadas, así como a coladas de lavas. SGM (2008) (**Figura 1.6.3.2**).

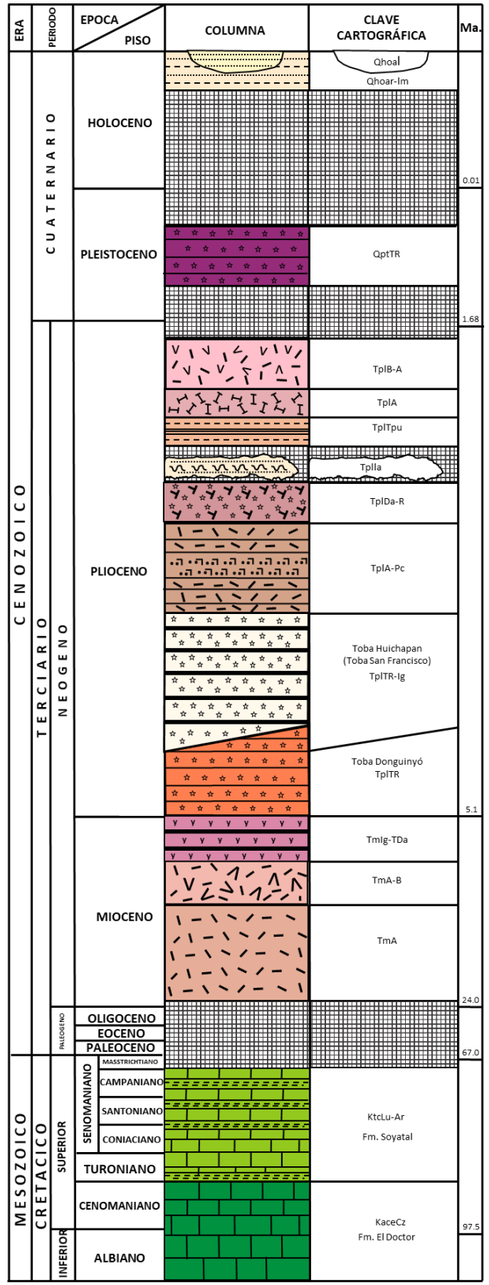


Figura 1.6.3.2 *Columna estratigráfica del municipio de Huichapan.*

Geología Estructural

En la porción nororiente del municipio de Huichapan, se observan evidencias de deformación pre-cenozoica correspondiente al dominio dúctil-frágil, que se relaciona con la compresión laramídica, cuyos esfuerzos compresivos tienen una dirección NE. La deformación dúctil frágil está representada por el sinclinal El Barrón, mientras que la deformación frágil está asociada al emplazamiento de la caldera de Huichapan y parte centro occidente del municipio.

Gran parte de las estructuras presentes en el municipio son de deformación frágil, están relacionadas a un sistema de fallas regionales y fases de deformación, por mencionar algunas de ellas, se tienen las fallas Zapote, Los Arcos, El Cajón, Pastores y El Sitio, que corresponden al sistema Taxco-San Miguel de Allende (TSMA); por otro lado, las fallas Ñathu, Tinaja, Caballos, Lagartija, La Cruz, Las Águilas y Apartadero que corresponden al sistema Chapala-Tula; finalmente, la fallas Casa Viejas, Tlaxcalilla y Zothé que corresponde al sistema N-S. Una de las estructuras más relevantes del municipio es la caldera de Huichapan, tiene forma de herradura y/o semi-elíptica, alargada con dirección NE-SW, con un diámetro máximo de 9 km y mínimo de 7.5 km, la cual comprende las fallas El Astillero y Huichapan.

Hacia la porción nororiente del municipio, el sinclinal El Barrón, intraformacional, con pliegues cerrados principalmente en arenisca y lutita de la Formación Soyatal, con una vergencia al NE. La cabalgadura Pardo se ubica en la porción nororiente del municipio, presenta una orientación N-S y una vergencia E-NE, pone en contacto tectónico a caliza de la Formación El Doctor y lutita y arenisca de la Formación Soyatal, se aprecian sigmoides con longitudes de hasta 8 m de longitud e inclinaciones de hasta 40°. SGM (2008) (**Figura 1.6.3.1**).

I.6.4 Edafología

El municipio de Huichapan cuenta con diversas características físicas y geográficas que favorecen la presencia de diferentes tipos de suelo. De acuerdo al Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (**IUSS, 2014**), que es la clasificación internacional vigente para los suelos, en el municipio se encuentran presentes cinco de los 32 grupos de suelos a nivel mundial. En orden de extensión, los suelos que se encuentran en el municipio son Phaeozems, Vertisol, Plantosol, Rendzina y Leptosol (**Tabla I.6.4.1**).

Tabla I.6.4.1 *Distribución de los tipos de suelo en el municipio de Huichapan*

NOMBRE	ÁREA (km²)	PORCENTAJE (%)
Cuerpo de agua	0.07	0.01
Phaeozems	456.5	69.14
Vertisol	151.45	22.94
Planosol	44.36	6.72
Rendzina	4.82	0.73
Leptosol	3.11	0.47
Fuente: Elaboración propia, con información de CONABIO, 2008.		

Los **Planosols** son suelos que presentan un horizonte principal de color claro y muestran signos de estancamiento periódico de agua. Estos suelos suelen encontrarse en áreas planas estacionalmente anegadas y se desarrollan generalmente sobre un material más fino, como arcillas. Su origen se relaciona principalmente con depósitos aluviales y coluviales (IUSS, 2014). Se encuentra presente en las porciones extremas oeste y este del municipio.

Los suelos tipo **Phaeozems** son suelos medianamente profundos de 40 a 100 cm y se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave y rica en material orgánico y nutrientes. Pueden tener cualquier tipo de vegetación y en relieves planos presentan aptitud agrícola y una aptitud media para el desarrollo urbano. Cuando se presentan junto con relieves pedregosos, su uso puede ser pecuario y urbano. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego (IUSS, 2014). Este tipo de suelos se presenta en la porción central, sur, norte y oriente abarcando una gran extensión territorial, también se presenta en la porción occidental del municipio.

Rendzina es un tipo de suelo con textura fina, arcillosa a media, que presenta colores oscuros o pardos rojizos y alto contenido de materia orgánica, con pH ligeramente alcalino. Son poco profundos y tienen un desarrollo moderado, con una limitante física a menos de 50 cm de profundidad. Estos suelos se derivan de la roca caliza, y son el resultado del alto intemperismo físico y químico en zonas donde el clima húmedo juega un papel importante, son de origen residual y coluvial y tienen un gran potencial para las actividades pecuarias y forestales. (INEGI, 2002). Se encuentra presente solo en una zona al límite noreste del municipio.

Los suelos **Leptosol** se caracterizan por ser muy superficiales y delgados sobre roca continua, y contienen una gran cantidad de fragmentos gruesos. Se forman principalmente en terrenos con elevada o mediana altitud y fuerte pendiente topográfica, y provienen de distintos tipos de roca y materiales no consolidados (IUSS, 2014). Está presente en la zona centro-poniente del municipio.

Los **Vertisoles** son suelos de arcillas pesadas con una alta proporción de arcillas expandibles. Se forman generalmente en depresiones y áreas planas a onduladas, y presentan profundas y anchas grietas que se forman desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo cual sucede en la mayoría de los años. El comportamiento expansión-retracción de estos suelos puede ocasionar la formación de un microrelieve gilgai (micro-lomas o micro-depresiones), especialmente en climas secos (IUSS, 2014). (**Figura I.6.4.1**). Está presente en dos amplias zonas al oeste y noreste del área municipal.

I.6.5 Hidrografía

La zona de estudio se encuentra en las subregiones hidrológicas de Río San Juan Querétaro y Río Tula (CONABIO, 2009b), que pertenecen a la Región Hidrológica número 26 Pánuco. Esta región hidrológica se extiende desde el Valle de México hasta la desembocadura del cauce principal en el Golfo de México, y abarca principalmente la Ciudad de México y los estados de Guanajuato, Hidalgo, México, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, además de pequeñas porciones de Nuevo León, Puebla y Tlaxcala (CONABIO, 2009). Su superficie total es de 97 195.72 km^2.

En el municipio se presentan cuatro acuíferos: Chapantongo-Alfajayucan, El Astillero, Huichapan-Tecozautla y Valle de San Juan del Río. De acuerdo a la **tabla I.6.5.1**, el acuífero Huichapan-Tecozautla abarca el 94.5% del municipio, El Astillero ocupa el 4.4%, y los acuíferos Chapantongo - Alfajayucan y Valle de San Juan del Río ocupan el 1.1%.

Tabla I.6.5.1 *Distribución de los acuíferos en el municipio de Huichapan.*

ACUÍFERO	ÁREA (km^2)	PORCENTAJE (%)
Valle de San Juan del Rio	7.33	1.1
El Astillero	29.04	4.4
Huichapan - Tecozautla	623.69	94.5
Chapantongo - Alfajayucan	0.24	0.0
Fuente: Elaboración propia, con datos de la CONAGUA, 2021		

El acuífero Huichapan-Tecozautla es de tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisótropo, y está formado principalmente por materiales volcánicos, incluyendo ignimbritas fracturadas, coladas de lavas basálticas y materiales piroclásticos. El nivel de saturación del agua subterránea varía de 12 a 280 metros, siendo más profundo en las zonas topográficamente más altas, y se encuentra entre 50 y 100 metros en la zona de mayor explotación. La alternancia de derrames lávicos y tobas impermeables permite el flujo de agua subterránea a través de las fracturas de las rocas volcánicas.

Durante el periodo del año 2006 al 2011, se ha registrado un abatimiento del nivel estático del agua subterránea en el acuífero Huichapan-Tecozautla. En la zona de Tecozautla, los niveles han disminuido entre dos y siete metros debido a la extracción intensiva. En la parte sur del acuífero, se ha observado un abatimiento de entre dos y cinco metros en Nopala y Dañú, mientras que, en la parte central del acuífero, se ha registrado un abatimiento de 10 metros. En la zona de descarga, en la Presa Zimapán, se han registrado variaciones de entre un metro de recuperación y tres metros de abatimiento. En las zonas topográficamente elevadas los afloramientos de las rocas volcánicas funcionan como zonas de recarga o dan origen a acuíferos colgados

El balance de agua subterránea, en el acuífero Huichapan-Tecozautla recibe una recarga total media anual de 56.7 millones de metros cúbicos. Esta recarga está compuesta por tres componentes: 37.5 millones de metros cúbicos anuales ingresan por flujo subterráneo, 11.4 millones de metros cúbicos anuales provienen de la recarga vertical por lluvia y 7.8 millones de metros cúbicos anuales se generan por recarga inducida a través de retornos de riego y fugas en las redes de distribución de agua potable.

La descarga del acuífero consta de tres componentes: 28.5 millones de metros cúbicos anuales fluyen hacia el norte como salidas subterráneas, 5.0 millones de metros cúbicos anuales se descargan a través de manantiales y 52.3 millones de metros cúbicos anuales se extraen del acuífero. El cambio en el almacenamiento del acuífero es de -29.1 millones de metros cúbicos anuales, lo que indica que la extracción del acuífero se realiza a expensas de la reserva de almacenamiento no renovable del mismo (DOF, 2015).

El acuífero El Astillero, es de tipo libre, heterogéneo y anisótropo, y está conformado por sedimentos aluviales y rocas ígneas extrusivas. La porción superior está compuesta por sedimentos aluviales y es la que se explota actualmente en el valle del extremo noreste. La porción inferior se aloja en rocas ígneas con permeabilidad secundaria por fracturamiento, que en superficie funcionan como zonas de recarga. Tanto las barreras del flujo subterráneo como el basamento hidrogeológico del acuífero están formados por las mismas rocas volcánicas, y el fracturamiento desaparece a profundidad. Las condiciones de recarga son limitadas y no recibe recarga inducida por aguas residuales, lo que lo convierte en el acuífero más pobre de la cuenca.

En el acuífero El Astillero, la profundidad del nivel estático varía de 50 a 75 metros, siendo menor en las partes más bajas del valle y mayor en las laderas de la depresión volcánica. La elevación del nivel estático es concéntrica y el flujo subterráneo se dirige hacia el centro de la depresión volcánica. Solo hay cuatro captaciones de agua subterránea con un volumen prácticamente nulo para uso público urbano y doméstico. La recarga total media anual es de 3.3 millones de metros cúbicos anuales integrados por la suma del volumen que ingresa por recarga vertical a partir de agua de lluvia y la entrada subterránea proveniente de las zonas de recarga hacia el valle, en cambio el almacenamiento se considera nulo ya que la extracción de agua subterránea es prácticamente nula. Por lo tanto, el acuífero se encuentra en equilibrio y las salidas son iguales a la recarga (DOF, 2016).

Debido a que los acuíferos Valle de San Juan del Río y Chapantongo-Alfajayucan se encuentran en una zona muy restringida en los límites del municipio, su influencia en la región es limitada (**Figura I.6.5.1**).

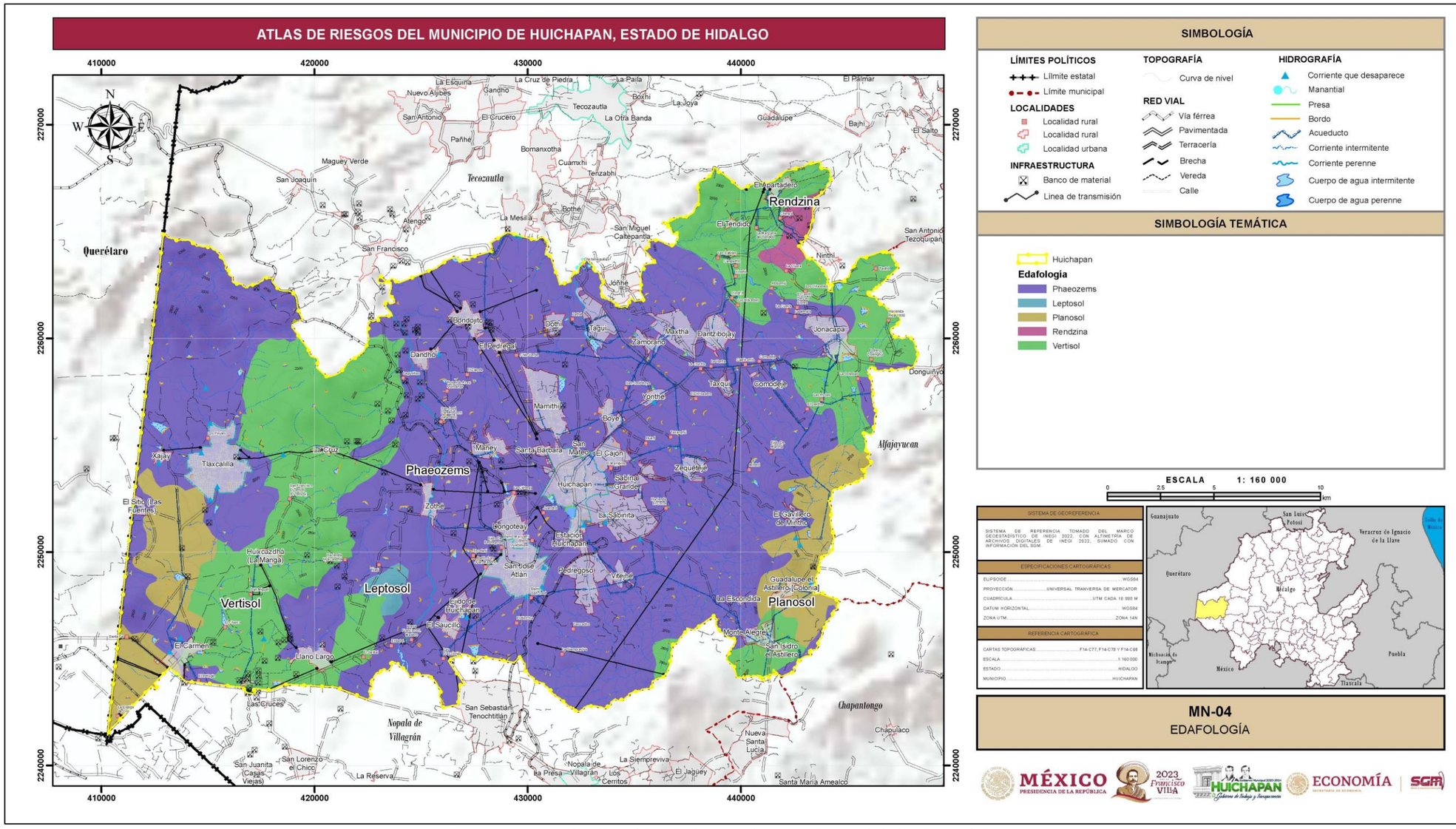
I.6.6 Cuencas

Para la gestión del recurso hídrico superficial en el municipio de Huichapan, se ha dividido la Región Hidrológica Número 26 Pánuco a la cual pertenece el municipio en 77 cuencas hidrológicas, cuyo escurrimiento medio anual es de 20,223.564 millones de metros cúbicos (INEGI, 2023).

En lo que respecta a la hidrología superficial, el territorio del municipio de Huichapan se ubica dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma, la cual se compone de diversas subcuencas, en el área municipal, se identifican cuatro subcuencas hidrológicas: Río Tecozautla, Río Alfajayucan y Río Arroyo Zarco, siendo la primera de ellas la más extensa y con más influencia en el municipio de Huichapan (**Figura I.6.1.1**). Adicionalmente, cuenta con dos corrientes de carácter perenne: Arroyo Hondo y Pathecito, (INEGI, 2010).

Arroyo Hondo se encuentra en la zona central del municipio y comienza en la presa Francisco I. Madero, dirigiéndose al sur y atravesando todo el municipio. Al cruzar al municipio de Tecozautla, toma el nombre de Río San Francisco.

Los escurrimientos de la zona de la caldera de Huichapan, ubicada en la zona sureste del área de estudio, dan origen al río Pathecito. Este río se encuentra en la porción noreste del municipio y al atravesar el límite municipal toma el nombre de Río El Molino y posteriormente Río Tecozautla. Al unirse con el Río San Francisco, forman la Presa Zimapán (**Figura I.6.6.2**).



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Edafología
- Phaeozems
- Leptosol
- Planosol
- Rendzina
- Vertisol

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

MN-04
EDAFOLOGÍA

Figura I.6.4.1 *Distribución de los suelos en el municipio de Huichapan*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de CONABIO, 2008.*

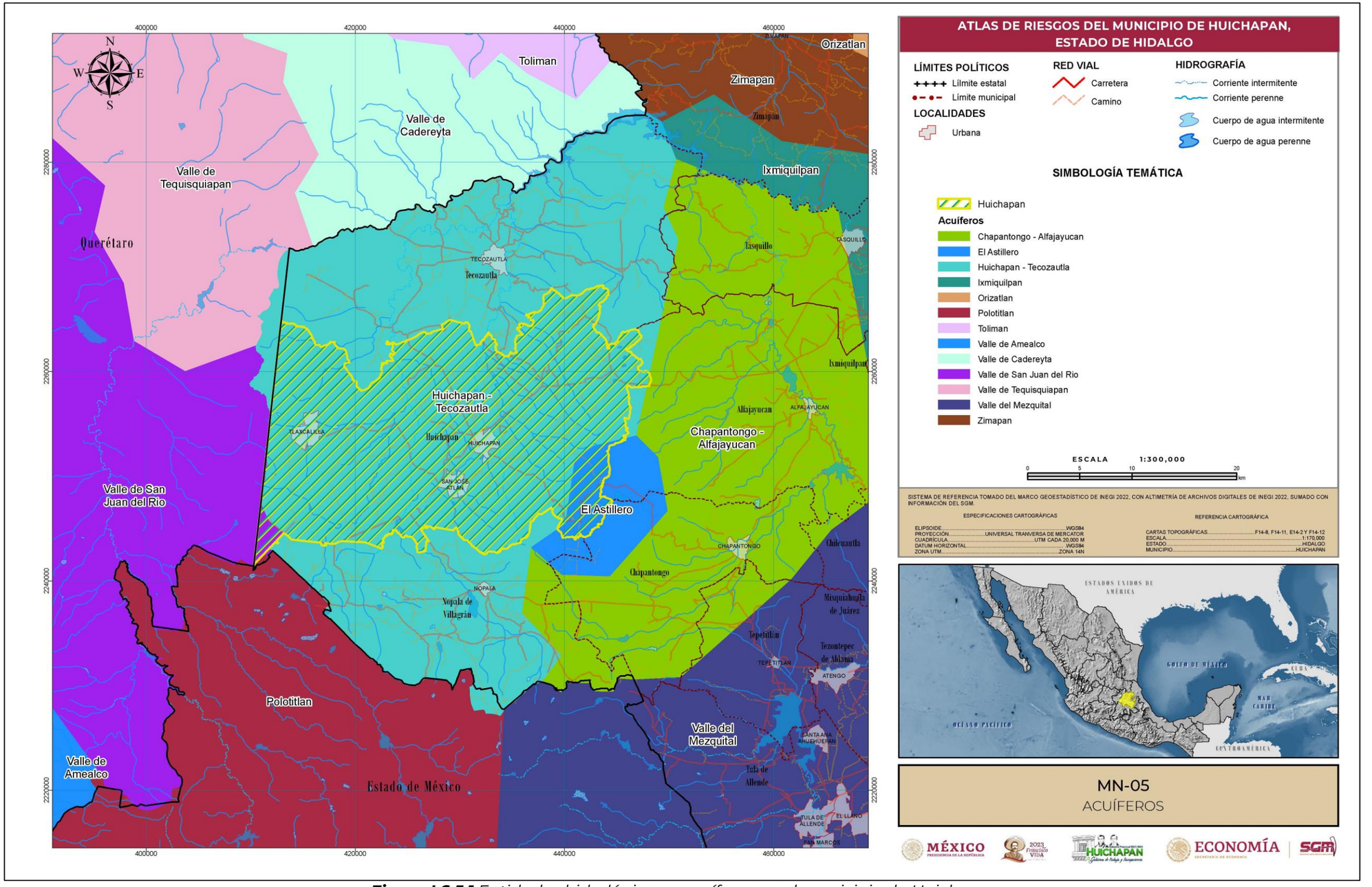


Figura I.6.5.1 *Entidades hidrológicas y acuíferos en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de la CONAGUA, 2021.*

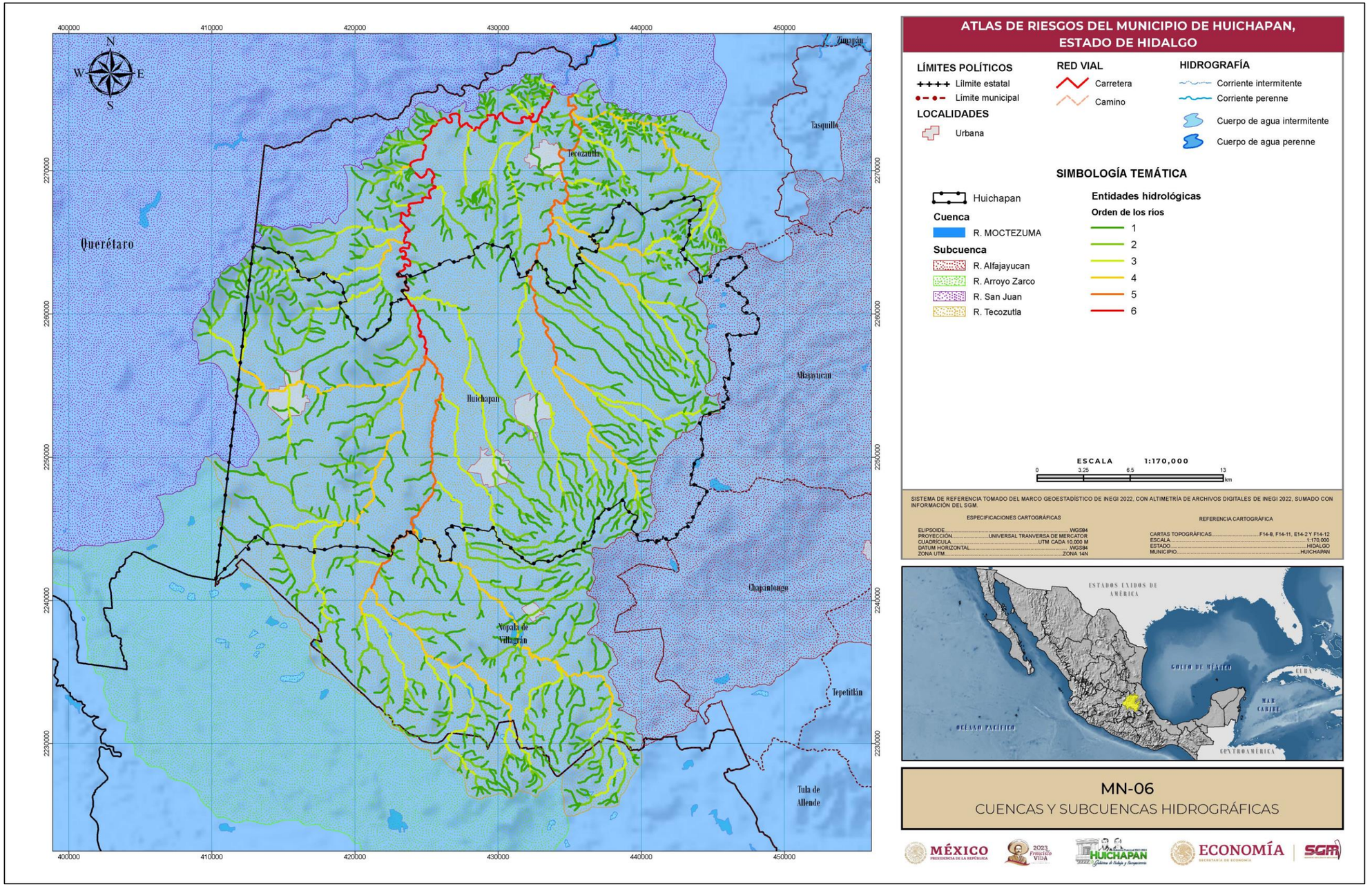
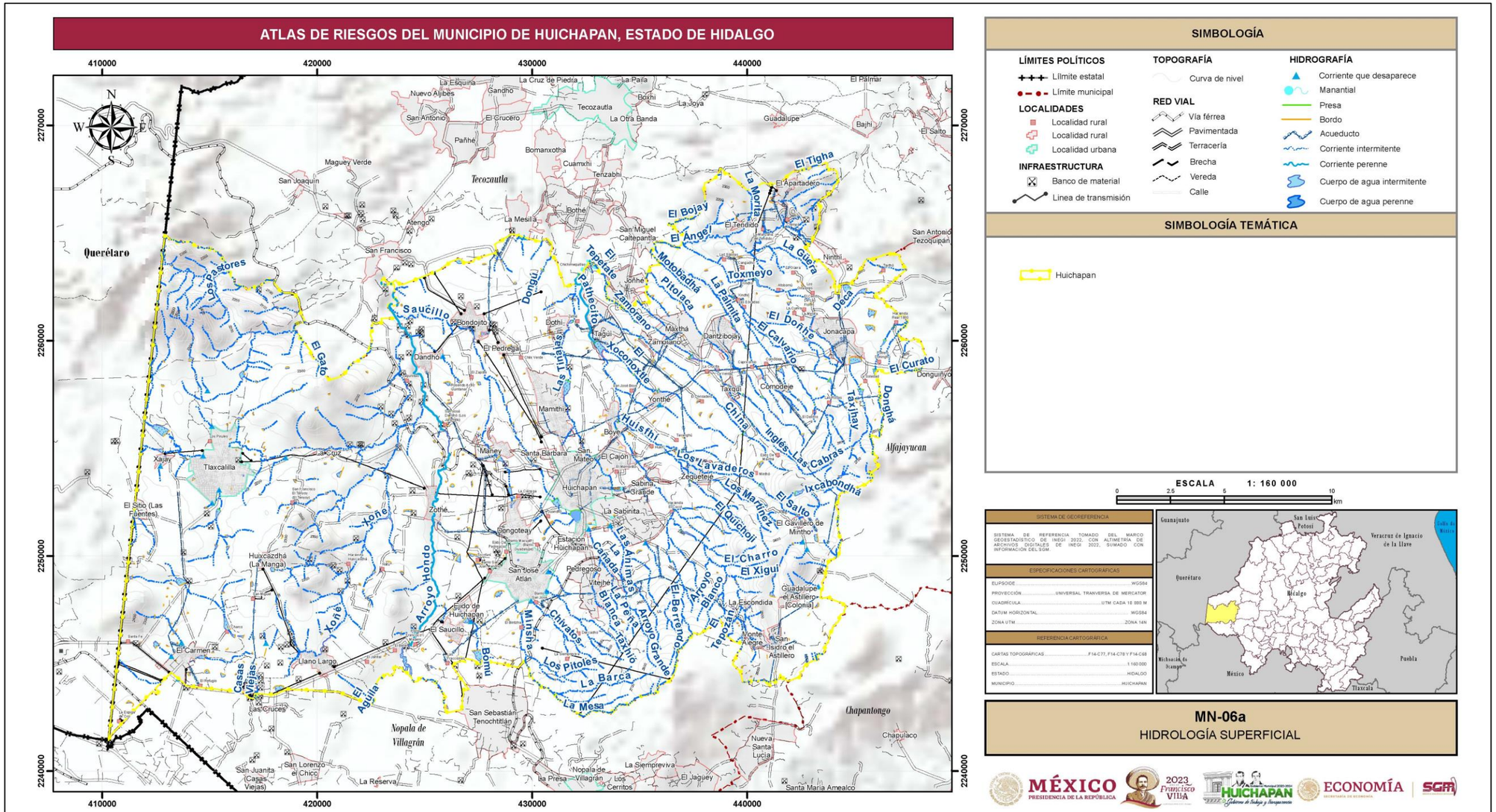


Figura I.6.6.1 *Cuencas, subcuencas y orden de escurrimiento presentes en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de INEGI, 2023 e INEGI, 2023 b.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

MN-06a
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Figura I.6.6.2 *Hidrología superficial en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de INEGI, 2010.*

I.6.7 Clima

El clima se refiere a las variaciones de temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación y otras condiciones meteorológicas en una región geográfica determinada. Las regiones geográficas de todo el mundo tienen un clima asociado a factores físicos y relaciones entre ellos, lo que se conoce como sistema climático. Estos sistemas se componen de cinco estratos de interacción: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera. El clima es un factor importante en la planificación de las actividades humanas, especialmente en la agricultura. El cambio climático y el calentamiento global son preocupaciones importantes debido a sus posibles impactos negativos en la vida humana.

El clima del municipio de Huichapan está representado por dos tipos de climas: Semiárido templado BS1kw y templado subhúmedo en dos variantes C(wo) y C(w1) (**Tabla I.6.7.1**).

Tabla I.6.7.1 *Distribución del tipo de climas en el municipio de Huichapan*

TIPO DE CLIMA	TIPO	TEMPERATURA MEDIA ANUAL	TEMPERATURA DEL MES MÁS FRÍO	TEMPERATURA DEL MES MÁS CALIENTE	ÁREA (km²)	PORCENTAJE (%)
BS1kw	Semiárido templado	12°C - 18 °C	-3°C - 18°C	<22°C	419.2	63.5
C(wo)	Templado subhúmedo	12°C - 18 °C	-3°C - 18°C	<22°C	171.6	26.0
C(w1)	Templado, subhúmedo	12°C - 18 °C	-3°C - 18°C	<22°C	69.5	10.5

Fuente: Elaboración propia, con datos de CONABIO, 2008b.

Las siglas (A)C(m)(f) se refieren al clima semicálido húmedo que cubre una superficie aproximada de 119.72 km² en la porción central del municipio. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual de 18°C, con lluvias que se presentan entre verano e invierno y una precipitación en temporada de estiaje mayor a 40 mm, mientras que el porcentaje de lluvia invernal es menor al 18% del total anual.

Las siglas BS1kw corresponden al clima semiárido templado que cubre una superficie de 419.2 km2, lo que equivale al 63.5% del área total del municipio. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual de entre 12 y 18°C, con una precipitación en época de estiaje y de lluvias correspondiente del 5% al 10.2%.

El clima templado subhúmedo se presenta en dos variantes en el municipio, C(wo) y C(w1). Ambas variantes comparten características como una temperatura media anual que varía de 12°C a 18°C, una precipitación en época de estiaje de menos de 40mm y un porcentaje de lluvia anual invernal del 5% al 10.2% del total anual. La diferencia radica en la precipitación en verano, siendo el índice de P/T (Precipitación / Temperatura o también llamado índice de Lang) menor de 43.2 en la variante C(wo), mientras que en la C(w1) el índice P/T se encuentra entre 43.2 a 55 (**Figura I.6.7.1**).

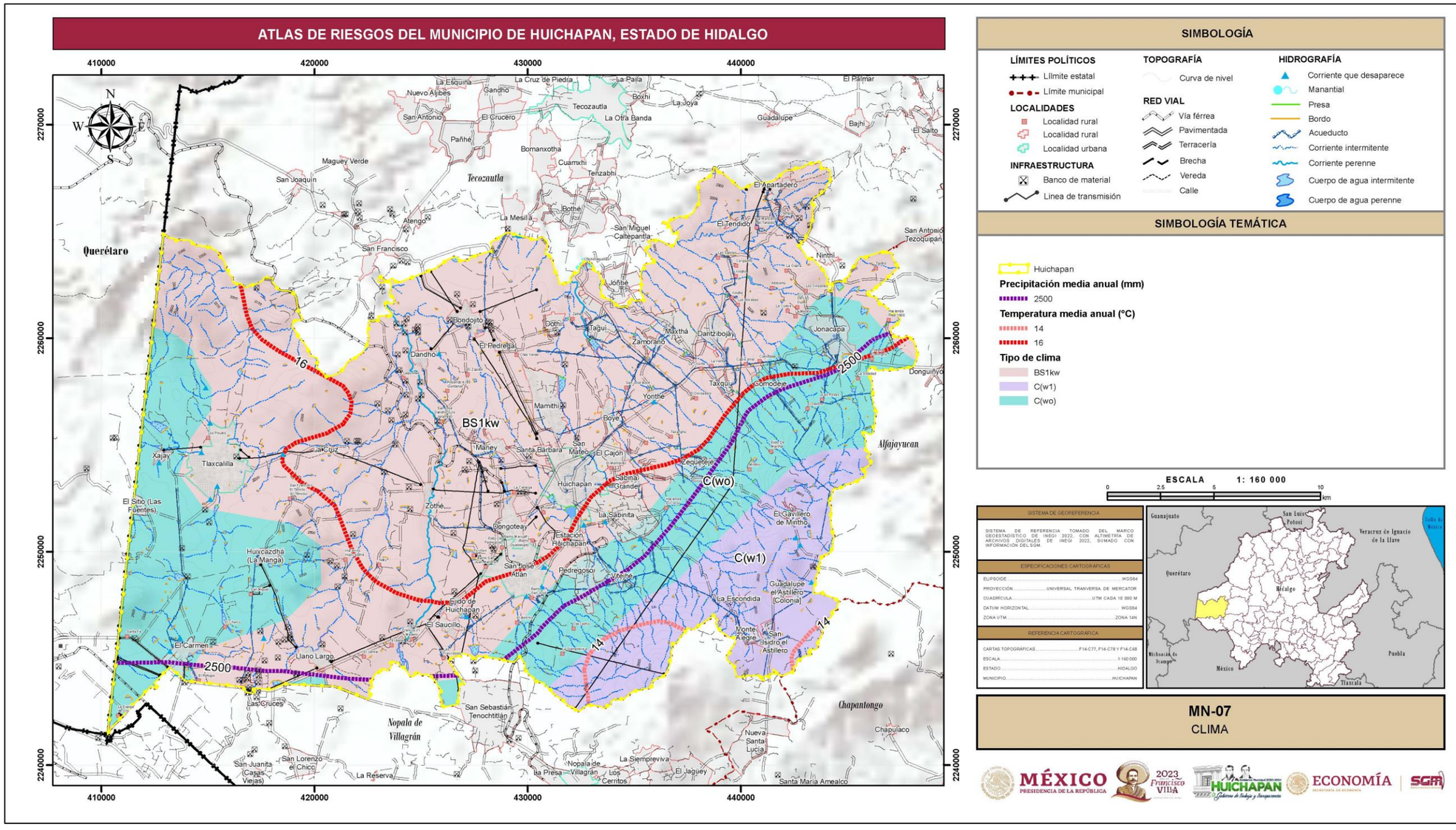


Figura I.6.7.1 *Climas presentes en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de CONABIO, 2008b e INEGI 2004,2006 y 2007.*

I.6.8 Uso de Suelo y Vegetación

Se entiende por vegetación al conjunto de vegetales que habitan en una región o terreno específico (RAE, 2022). El aspecto de la vegetación de una zona está determinado por factores ambientales como la humedad atmosférica, las precipitaciones, los vientos, el relieve y los diferentes tipos de suelos.

En el municipio de Huichapan se pueden identificar ocho tipos de vegetación: agricultura en diferentes variantes, vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule y de bosque de encino, pastizal inducido, matorral crasicaule, bosque de encino, pastizal natural, y vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, adicionalmente en la **Tabla I.6.8.1**, se muestra la extensión de las zonas urbanas construidas, cuerpos de agua y áreas sin vegetación.

Tabla I.6.8.1 *Distribución de la vegetación en el municipio de Huichapan.*

ENTIDAD	ÁREA (km²)	PORCENTAJE (%)
Agricultura de temporal permanente, temporal anual y permanente, anual, anual y semipermanente, anual.	*307.2*	*46.5*
Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	*147.4*	*22.3*
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	*97.2*	*14.7*
Pastizal inducido	*68.6*	*10.4*
Matorral crasicaule	*18.2*	*2.8*
Urbano construido	*8.5*	*1.3*
Bosque de encino	*8.4*	*1.3*
Agua	*1.9*	*0.3*
Área desprovista de vegetación	*1.1*	*0.2*
Pastizal natural	*0.9*	*0.1*
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	*0.9*	*0.1*
Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI, 2018.		

Las siguientes descripciones del uso de suelo y vegetación fueron obtenidas a partir de la guía para la interpretación del uso de suelo y vegetación generada por el INEGI en 2017.

En el municipio de Huichapan, la agricultura de temporal anual, permanente y semipermanente es la entidad con mayor área ocupada, representando el 46.5% del total distribuidas de oriente a poniente. Los cultivos principales son maíz grano, frijol y avena forrajera, y están distribuidos de oriente a poniente.

La vegetación secundaria, compuesta por la arbustiva de matorral crasicaule y la arbustiva y arbórea de bosque de encino, ocupa el 37.1% del área municipal. Esta vegetación se refiere a zonas de disturbio que han alterado la estructura o la composición florística de la comunidad de manera heterogénea, como heladas, incendios, sequías e inundaciones (INEGI, 2017).

El pastizal inducido, que abarca el 10.4% del área, está distribuido en diversas zonas del municipio, especialmente en la porción oriental. El pastizal natural se concentra en una pequeña zona limítrofe al sureste del municipio, que apenas alcanza los 0.9 km2.

El matorral crasicaule cubre el 2.8% del área total del municipio, principalmente en la zona noreste. Esta especie se desarrolla en suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica, aunque también se encuentra en suelos aluviales contiguos en zonas semiáridas.

El bosque de encino, presente en el 1.3% del área total, es una comunidad que se ha observado en diferentes clases de rocas y tipos de suelos comunes en todas las zonas de la república mexicana. En este caso, se concentra en pequeñas zonas al oeste y este del municipio, con árboles de 4 a 30 metros de altura (**Figura I.6.8.1**).

I.6.9 Áreas Naturales Protegidas

De acuerdo a SEMARNATH en 2023, en el municipio de Huichapan se encuentran cuatro Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro del municipio. Mamithí, una ANP de dimensiones pequeñas con apenas 10 ha, se encuentra al norte del municipio; Dothí, ubicada al oeste de la ANP anterior, cuenta con un área total de 20 ha; Zothé cuanta con 20 ha ubicada al norte del municipio y Dandhó con 30 ha se superficie, ubicado al norte del municipio las cuatro ANP fueron decretadas en 2007 y cuentan con la clasificación de Zona de Preservación Ecológica.

Bondojito se encuentra en las afueras del municipio, al noroeste, y cuenta con una superficie de 67.9 ha, decretada en el año 2021 de las cuales solo 38 metros cuadrados se encuentra dentro del municipio de Huichapan. Por último, aunque se encuentra en el municipio de Nopala de Villagrán, el Área de Uso Común del Ejido Nopala decretada en 2005 como Reserva Ecológica, cuenta con una superficie total de 1753.75 ha de las cuales 179.2 ha se encuentran dentro del municipio al sureste (**Figura I.6.9.1**).

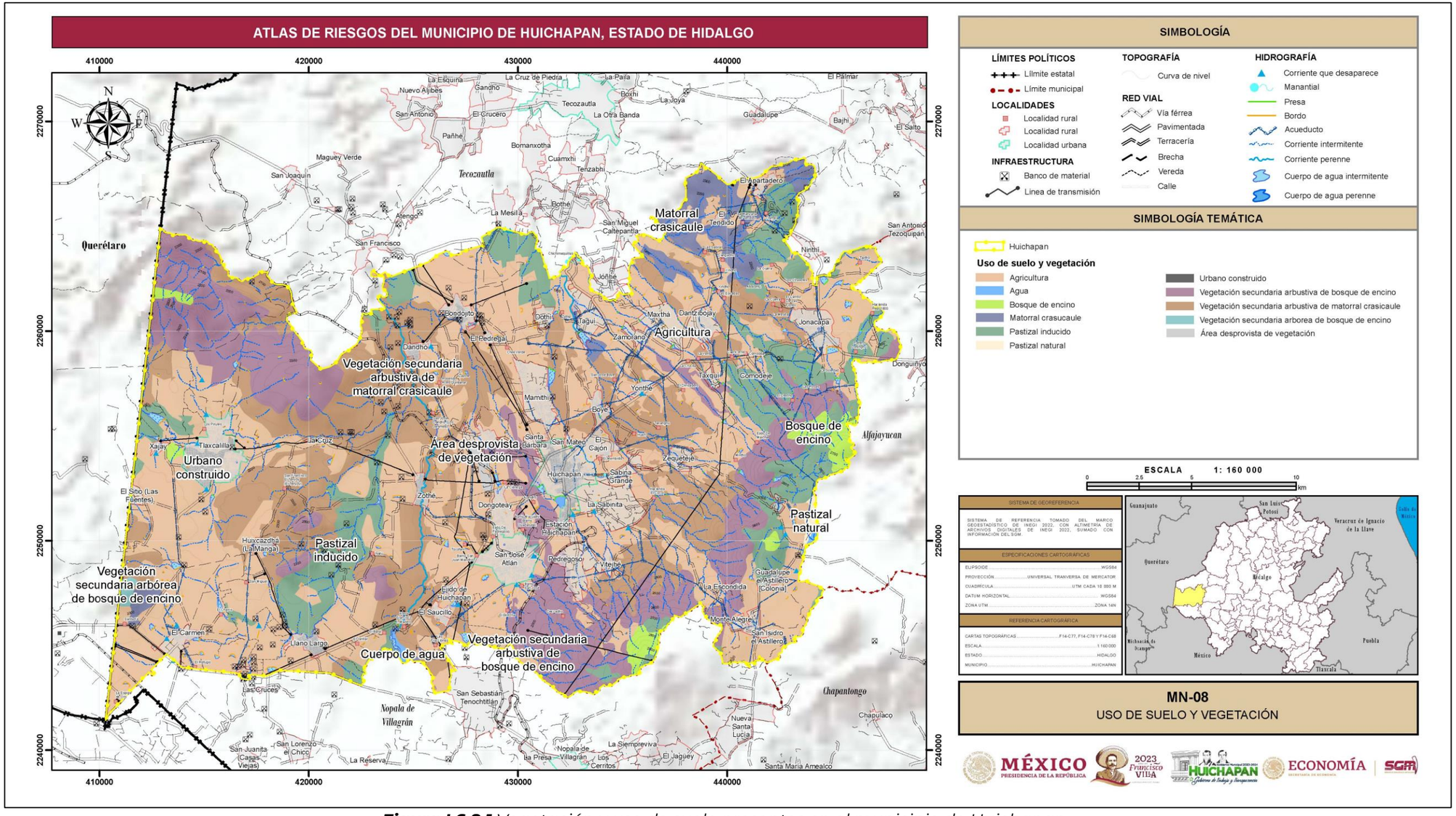


Figura I.6.8.1 *Vegetación y uso de suelo presentes en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de INEGI, 2018.*

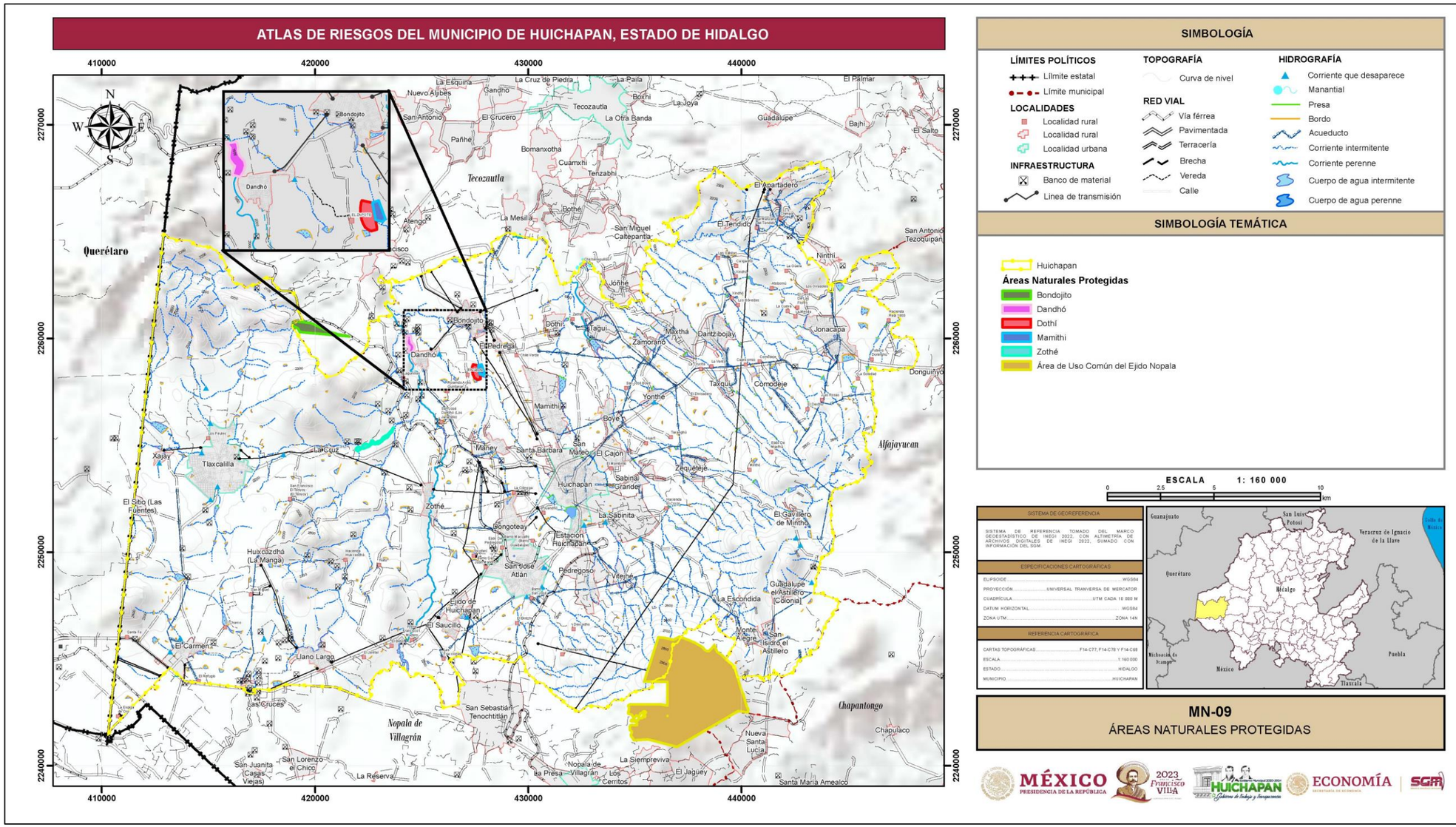


Figura I.6.9.1 *Áreas naturales protegidas en las cercanías del municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de CONABIO, 2015.*

I.7 Caracterización De Los Elementos Sociales, Económicos Y Demográficos

Roberto Quaas (2021) comenta que los desastres no son naturales, es decir, son producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición derivados en gran medida por aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza, escaso ordenamiento urbano y territorial, entre otros.

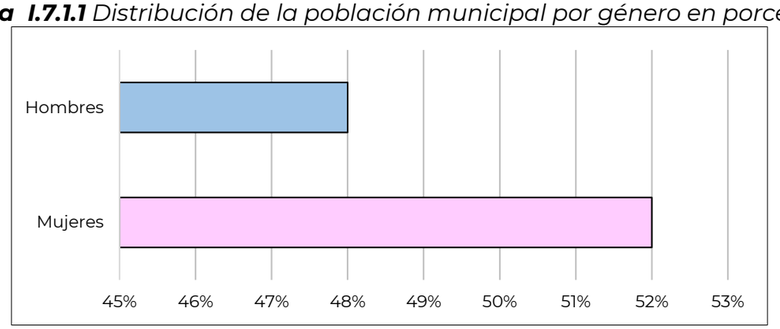
Por ello es importante identificar las principales características sociales, económicas y demográficas de la población, ya que proporcionan un parámetro cuantitativo sobre la capacidad de organización, atención y recuperación ante algún fenómeno natural.

En la elaboración de gráficas y mapas del presente apartado, se utilizaron datos del Censo de Población y Vivienda 2020, así como la información cartográfica del Marco Geoestadístico 2022 necesaria para ligar la base de datos del Censo con los datos vectoriales de las localidades. Para el análisis a nivel manzana solo se cuenta con la información vectorial de la cabecera municipal, San José Atlan y Tlaxcalilla debido a que éstas son consideradas localidades urbanas en el municipio de Huichapan.

I.7.1 Dinámica Demográfica

En el 2020 la población del municipio de Huichapan era de 47 425 habitantes lo que representa el 1.54 % de la población estatal ya que el estado de Hidalgo contabilizó una población total de 3 082 841 habitantes de acuerdo al Censo de Población y Vivienda. En Huichapan el 52 % de la población son mujeres, es decir, 24 645 personas; y el 48 % son hombres, es decir, 22 780 personas (**Gráfica 1.7.1.1**).

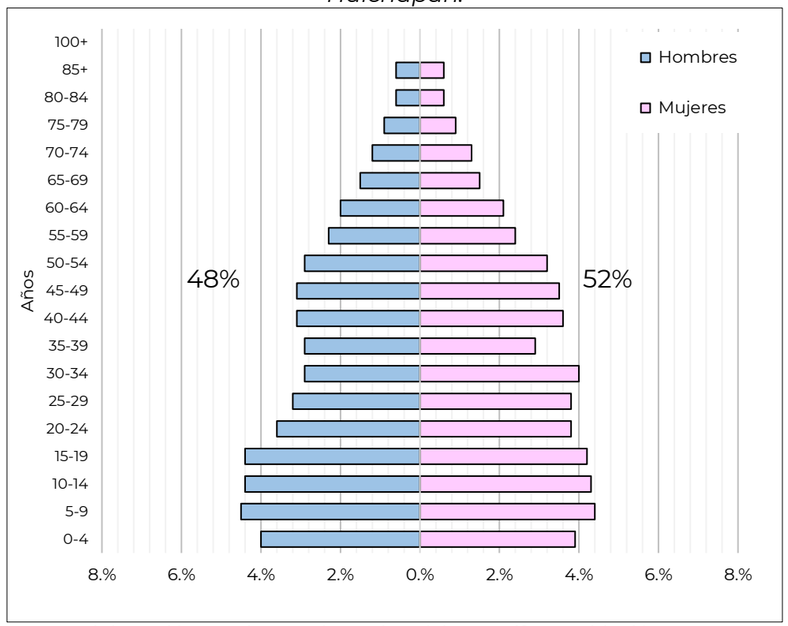
Gráfica I.7.1.1 *Distribución de la población municipal por género en porcentaje.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

La mayor parte de la población se encuentra distribuida en el rango de edad de 5 a 9 años (**Gráfica 1.7.1.2**). En la relación hombres-mujeres se tiene que existen 92.43 hombres por cada 100 mujeres; la edad promedio de la población es de 30 años y con respecto a la razón de dependencia por edad son 54.6 personas en edad dependiente por cada 100 en edad productiva.

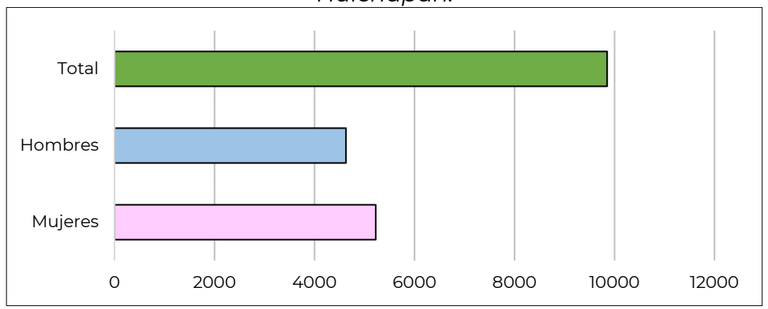
Gráfica I.7.1.2 *Distribución de la población por rango de edad en el municipio de Huichapan.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos de México en cifras. Población, INEGI, 2020c.*

Aproximadamente un 35.59 % de la población se localiza en tres localidades urbanas, siendo la cabecera municipal la de mayor número de habitantes con 9 853 personas, de los cuales 4 629 corresponden a hombres y 5 224 son mujeres (**Gráfica 1.7.1.3**) seguida de la localidad de San José Atlán con 3 546 habitantes y Tlaxcalilla con 3 479 personas. El 64.41 % de la población restante se encuentra en 82 localidades rurales siendo las localidades con más de 1 000 habitantes las que se muestran en **Tabla 1.7.1.1**.

Gráfica I.7.1.3 *Distribución de la población en la cabecera municipal de Huichapan.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

Tabla I.7.1.1 *Distribución poblacional de las localidades con más de 1 000 habitantes*

NOMBRE	POBLACIÓN	MUJERES	HOMBRES
La Sabinita	2400	1241	1159
Llano Largo	2270	1192	1078
Mamithí	2216	1146	1070
Bondojito	1866	965	901
Zothé	1638	860	778
Jonacapa	1162	583	579
Estación Huichapan	1097	555	542
Maney	1057	548	509
Dantzibojay	1006	500	506
Fuente: Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.			

De las 82 localidades rurales, 40 tienen una población entre 0 a 100 habitantes, de éstas, 20 tienen una población menor a 10 habitantes, que son localidades extremadamente pequeñas. La distribución de la población por localidad en el municipio de Huichapan se encuentra en la **Figura 1.7.1.1.** Así mismo existen 49 localidades de una vivienda y 46 localidades de dos viviendas encontrándose de forma dispersa.

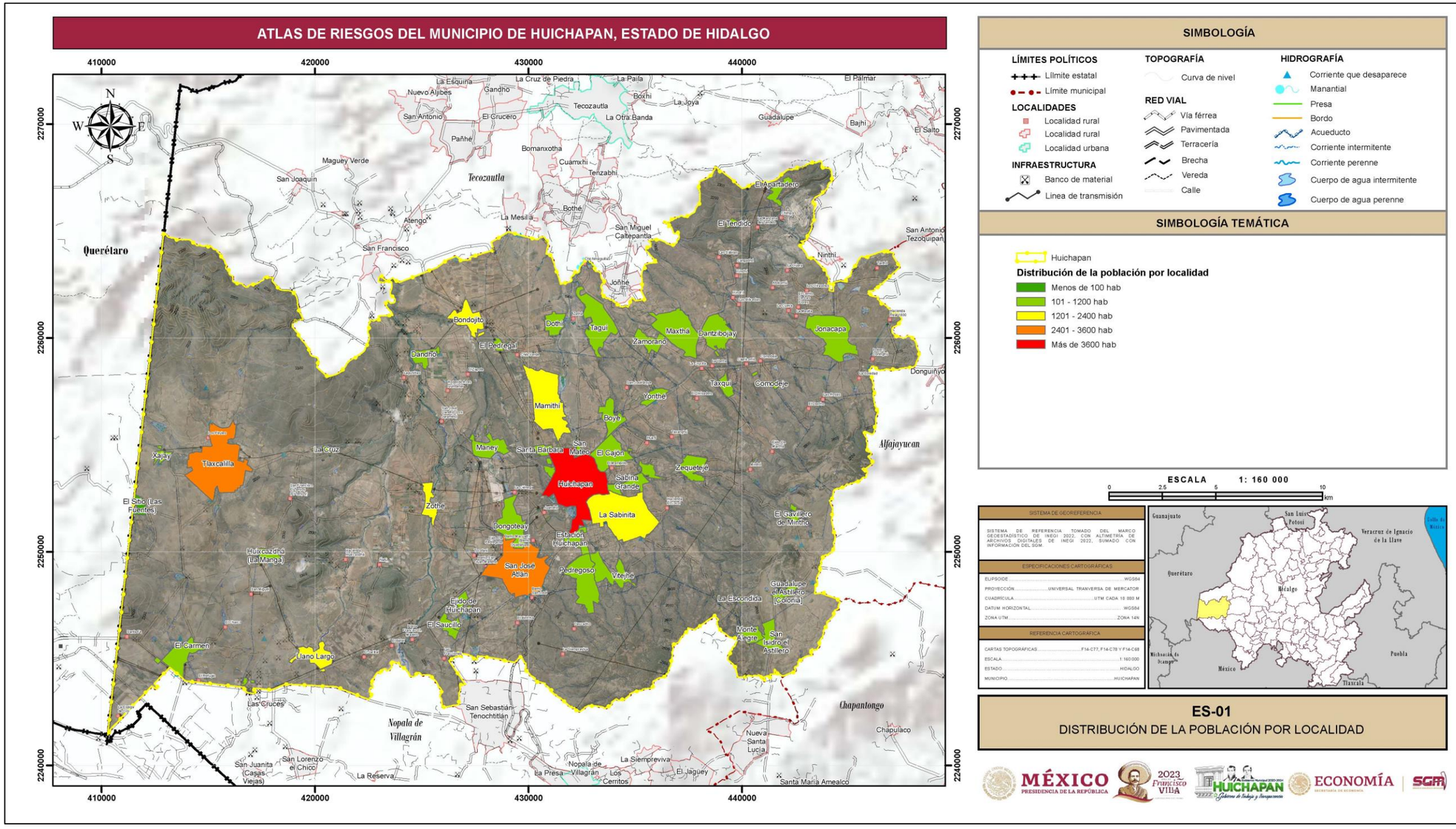
A nivel AGEB, la población se encuentra distribuida, en su mayoría con manzanas con un rango de 1 a 86 habitantes en Huichapan y de 1 a 31 en San José Atlán y Tlaxcalilla (**Figura 1.7.1.2**).

Densidad de la población

Se denomina densidad de población a la relación entre un espacio determinado y el número de personas que lo habitan, se obtiene dividiendo el número de personas que viven en un lugar específico entre los kilómetros cuadrados que cuadrados que comprende ese territorio.

El municipio de Huichapan tiene una superficie de 660.30 km² que representa el 3.17 % del total de la superficie del estado de Hidalgo. Al año 2020 en el estado de Hidalgo viven en promedio 148.1 personas por kilómetro cuadrado (ocupa el noveno lugar nacional por mayor densidad poblacional), mientras que en el municipio de Huichapan la densidad poblacional es de 71.8 hab/ km², superior al promedio nacional de 64.3 hab/ km². En las zonas urbanas la densidad de población es de 15.38 hab/ha en Huichapan, 7.15 hab/ha en San José Atlán y 5.56 hab/ha en Tlaxcalilla.

A nivel localidad en su mayoría la región ocupa un rango de 0 a 9.3 habitantes por hectárea, mientras que a nivel manzana, la densidad de población en su mayoría se centra en un rango de 1 a 62 habitantes por hectárea en Huichapan, de 1 a 23 habitantes por hectárea en San José Atlán y de 1 a 14 habitantes por hectárea en Tlaxcalilla (**Figuras 1.7.1.3 y 1.7.1.4**).



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Distribución de la población por localidad
- Menos de 100 hab
- 101 - 1200 hab
- 1201 - 2400 hab
- 2401 - 3600 hab
- Más de 3600 hab

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

ES-01
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR LOCALIDAD

Figura I.7.1.1 *Distribución de la población por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

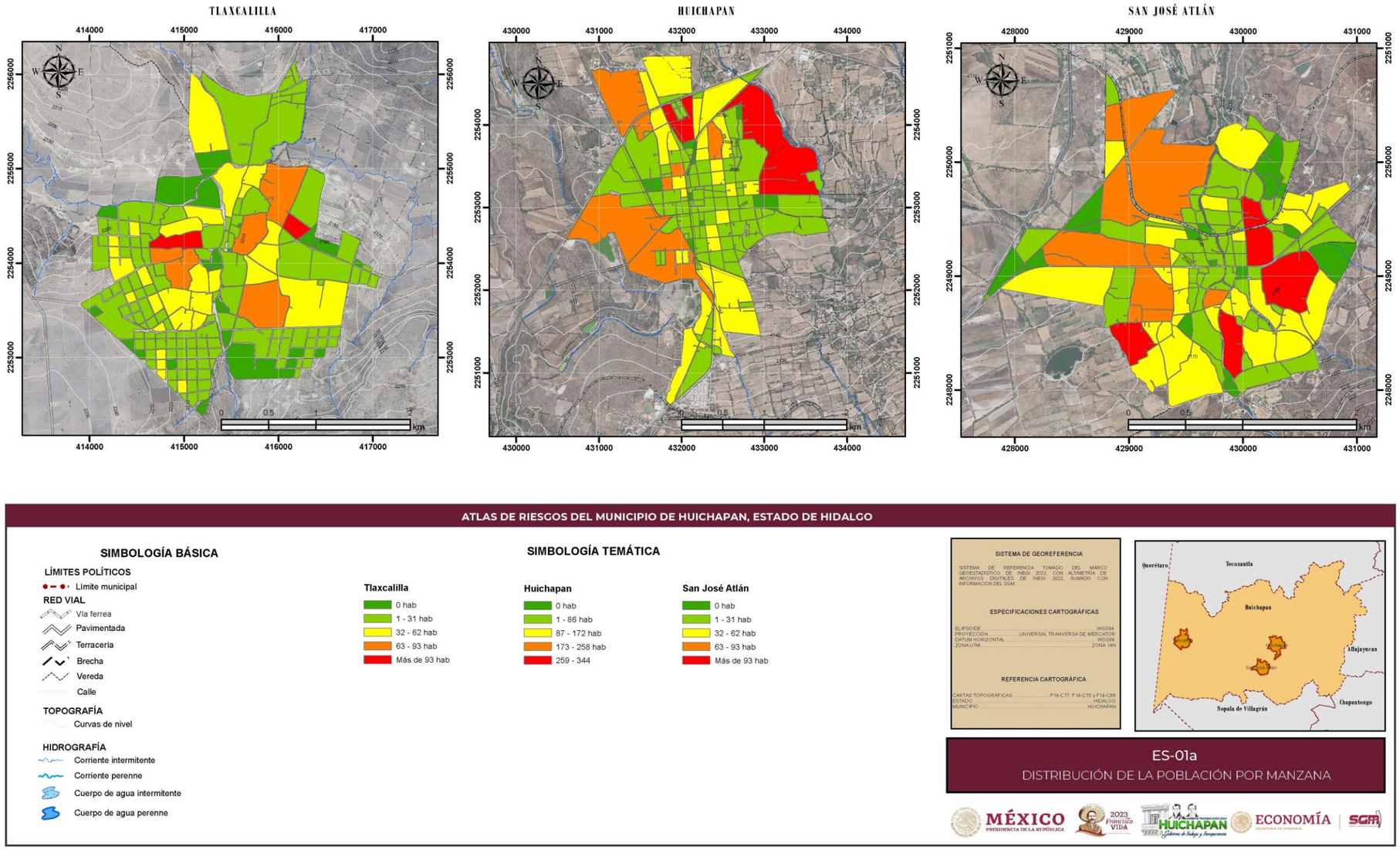


Figura I.7.1.2 *Distribución de la población por manzana.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

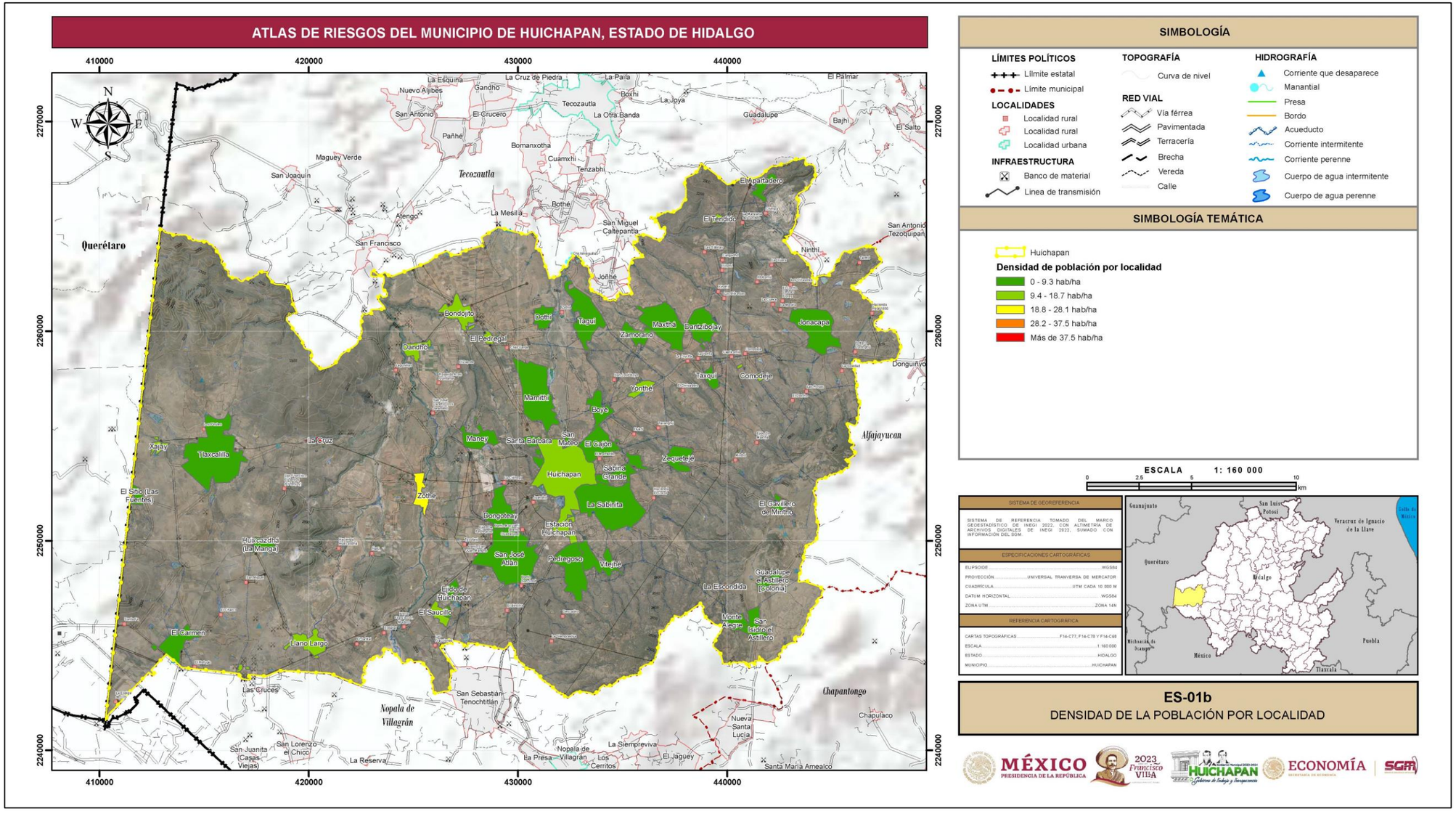


Figura I.7.1.3 *Densidad de la población por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

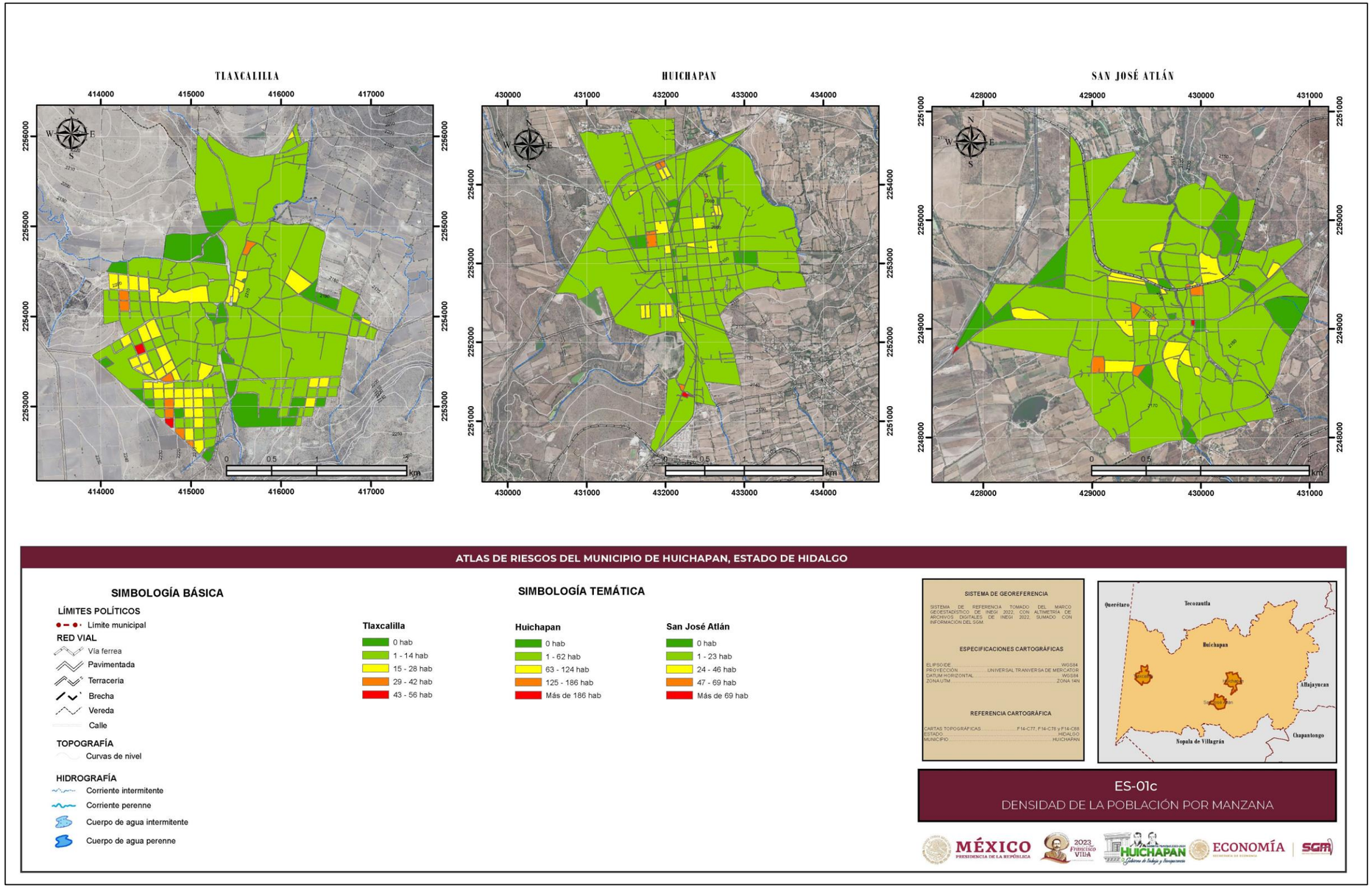


Figura I.7.1.4 *Densidad de la población por manzana.*

Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

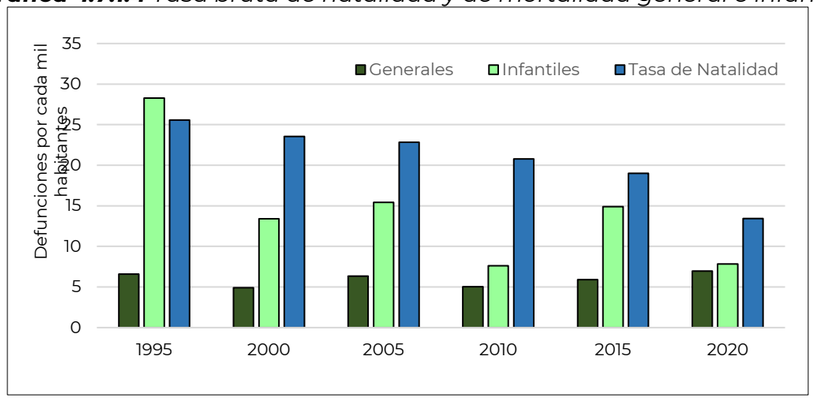
Natalidad y mortalidad

La tasa bruta de natalidad se calcula al dividir el número de nacimientos por cada mil habitantes. En el 2020 para el municipio de Huichapan la tasa bruta de natalidad es de 13.45 la cual ha disminuido al paso del tiempo debido una mayor accesibilidad a los métodos anticonceptivos.

La tasa bruta de mortalidad se refiere al número de defunciones por cada mil habitantes en un año, para el año 2020 en el municipio de Huichapan se obtuvo una tasa bruta de mortalidad de 6.98. La tasa de mortalidad infantil es el resultado de dividir las defunciones en menores a un año por cada mil habitantes, en Huichapan la tasa de mortalidad infantil es de 7.84.

En los últimos 25 años el municipio ha presentado una dinámica oscilatoria en términos absolutos de defunciones, registrando el mayor número de defunciones en 2020 con 331 decesos y el menor número de defunciones en el 2000 con 187 decesos (**Gráfica 1.7.1.4**).

Gráfica I.7.1.4 *Tasa bruta de natalidad y de mortalidad general e infantil*



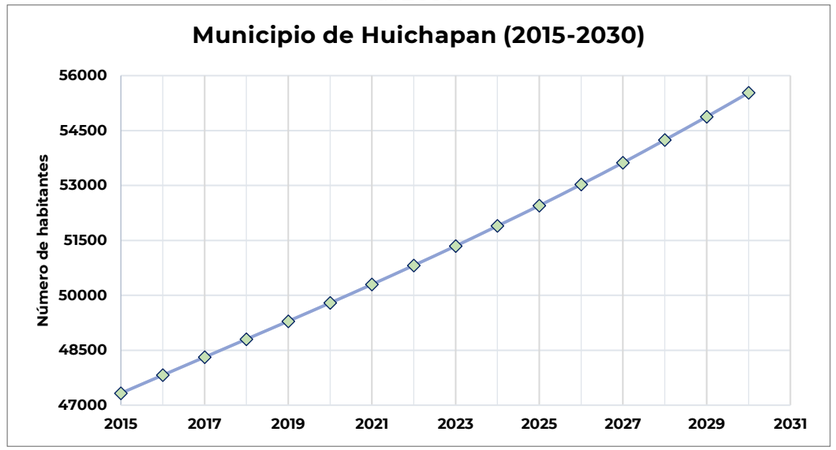
Fuente: *Elaboración propia, con datos del México en cifras. Natalidad y Mortalidad, INEGI, periodo 1995-2020.*

Proyección de población

Las proyecciones de la población son un instrumento de política pública que permite construir y evaluar posibles escenarios a mediano y largo plazo que sirven de base para calcular las futuras demandas de empleo, educación, salud y vivienda. A su vez, permite analizar los efectos derivados de variaciones en la fecundidad, mortalidad y la migración, ya que la disminución en la mortalidad infantil favorece la reducción en el riesgo de morir en la población y da paso a un incremento en la esperanza de vida al nacimiento, además el aumento en la fecundidad y la disminución de las migraciones son algunas de las causas que provocan un cambio sociodemográfico (CONAPO, 2019).

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) realizó las estimaciones de población a nivel municipal del 2015 al 2030 considerando los componentes demográficos mencionados anteriormente, la mortalidad, natalidad y migración, obteniendo que para el municipio de Huichapan se espera una población de 55 530 habitantes para el 2030 (**Gráfica1.7.1.5**).

Gráfica I.7.1.5 *Proyección de la población en el municipio de Huichapan del 2015 al 2030.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos de CONAPO, 2019.*

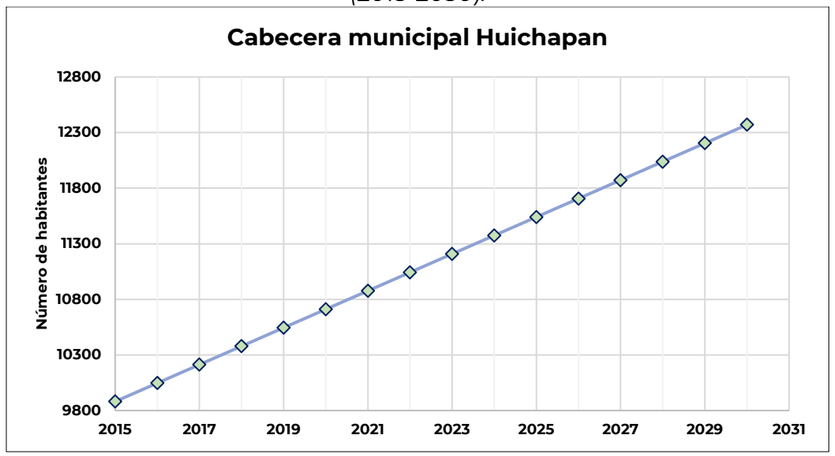
A nivel localidad se presentan dificultades para obtener información confiable de los componentes demográficos, por lo tanto, se calculó el índice de crecimiento realizando una regresión lineal por mínimos cuadrados con la información obtenida de los Censos de Población y Vivienda de los años 2005, 2010 y 2020. Una vez obtenido el índice de crecimiento se utilizó el método aritmético de proyección de población propuesto por Valdés (2000), el cual supone un crecimiento constante o uniforme siguiendo la siguiente fórmula:

$$Pob_F = Pob_0(1 + i \cdot t)$$

Donde:
Pob_f = Población futura
Pob_0 = Población inicial
i = Índice de crecimiento poblacional
t = Tiempo (años)

Para la cabecera municipal de Huichapan se obtuvo un índice de crecimiento del 1.83 % anual y se estima que para el año 2030 alcance aproximadamente 12 370 habitantes (**Gráfica 1.7.1.6**)

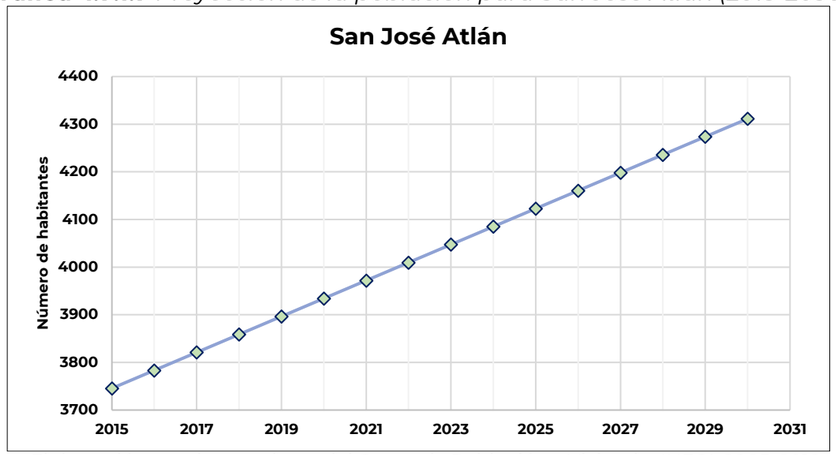
Gráfica I.7.1.6 *Proyección de población de la cabecera municipal Huichapan (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

La localidad de San José Atlán muestra una población inicial en el 2015 de 3 476 habitantes y se espera que para el año 2030 alcance una población de 4 311 habitantes, correspondiente a un índice de crecimiento de 1.06 % anual (**Gráfica 1.7.1.7**).

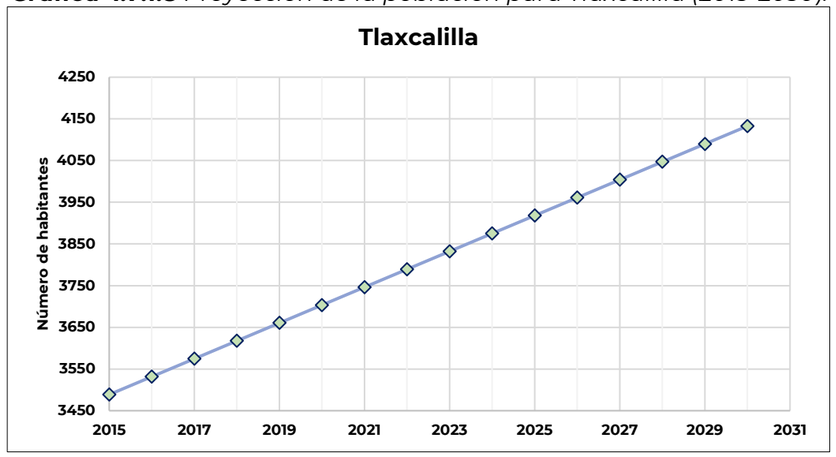
Gráfica I.7.1.7 *Proyección de la población para San José Atlán (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

Para la población de la localidad de Tlaxcalilla se calculó un índice de crecimiento del 1.31 % observando un incremento en la población de 3 489 habitantes en el 2015 hasta 4 133 habitantes en el 2030 (**Gráfica 1.7.1.8**)

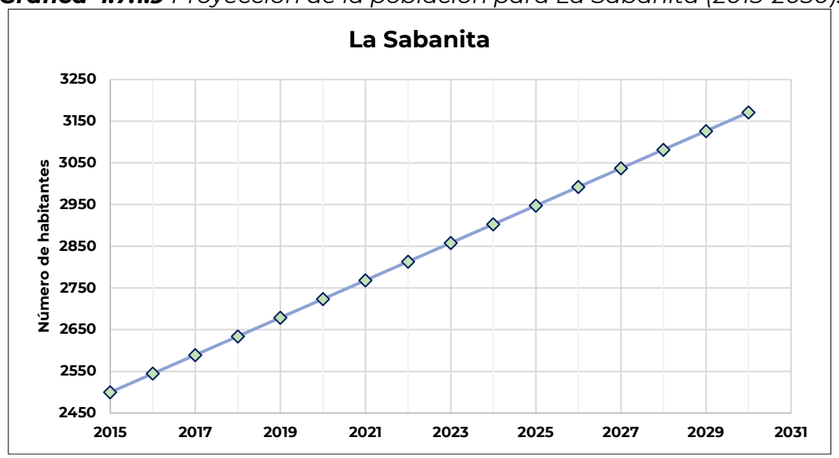
Gráfica I.7.1.8 *Proyección de la población para Tlaxcalilla (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

En la localidad de La Sabanita se tiene una población inicial de 2 500 habitantes en el 2015 y se espera una población de 3 171 habitantes para el 2030, correspondiente a un índice de crecimiento de 1.97 % anual (**Gráfica 1.7.1.9**).

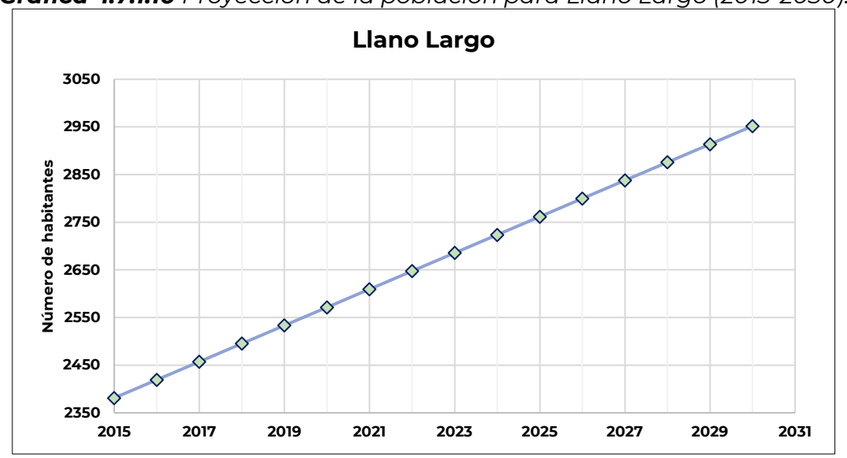
Gráfica I.7.1.9 *Proyección de la población para La Sabanita (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

Para la población de Llano Largo se calculó un índice de crecimiento del 1.74 % observando un incremento en la población de 2 381 habitantes en el 2015 hasta 2 952 habitantes en el 2030 (**Gráfica 1.7.1.10**).

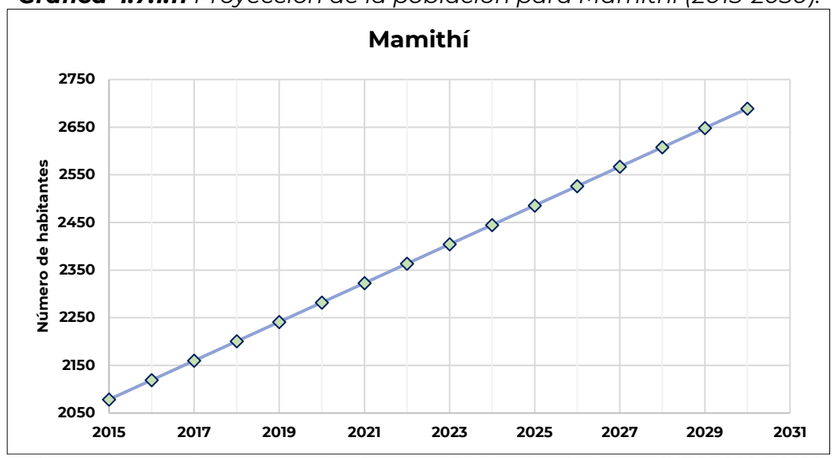
Gráfica I.7.1.10 *Proyección de la población para Llano Largo (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

La localidad de Mamithí tiene una población inicial de 2 079 habitantes en el 2015 y se espera una población de 2 689 habitantes para el 2030, correspondiente a un índice de crecimiento de 2.17 % anual (**Gráfica1.7.1.11**).

Gráfica I.7.1.11 *Proyección de la población para Mamithí (2015-2030).*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005, 2010 y 2020.*

I.7.2 Características Sociales

Educación

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda en el 2020 el nivel de asistencia escolar en el municipio es alto, de la población de 6 a 11 años el 98 % asiste a la escuela en los niveles básicos, en cuanto a la población de 12 a 14 años el 96 % acude a la escuela media superior y sólo el 51 % de la población de 15 a 24 años continúa du formación educativa. De la población de 15 años en adelante, el 19.6 % cuenta con educación media superior y solo el 13 % refiere puntualmente a tener educación superior.

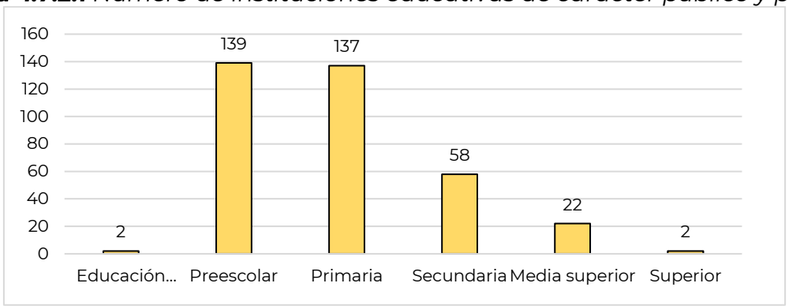
En la **Tabla 1.7.2.1** se muestra el total de alumnos graduados y maestros que impartieron clases en el ciclo escolar 2022-2023.

Tabla I.7.2.1 *Matrícula de profesores y alumnos por nivel en Huichapan.*

Nivel	Alumnos	Maestros
Educación inicial	451	45
Preescolar	3277	219
Primaria	12165	618
Secundaria	6088	392
Media superior	4170	192
Superior	2228	113
Fuente: Elaboración propia, con datos de la Publicación Estadística Educativa 2022-2023, SEP Hidalgo, 2022.		

En el 2022 el municipio de Huichapan contaba con 139 escuelas de nivel preescolar, 137 primarias, 58 secundarias, 22 escuelas de nivel media superior y 2 escuelas de nivel superior (**Gráfica 1.7.2.1**).

Gráfica I.7.2.1 *Número de instituciones educativas de carácter público y privado.*



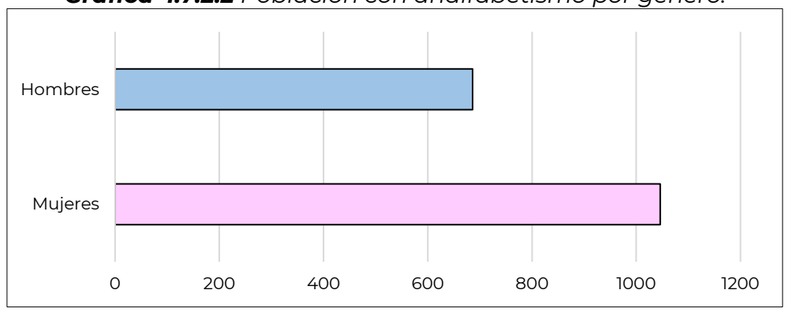
Fuente: *Elaboración propia, con datos de la Publicación Estadística Educativa 2022-2023, SEP Hidalgo, 2022.*

A nivel localidad, Tlaxcalilla presenta un rango de más de 200 habitantes con mayor número de habitantes sin escolaridad. Con respecto a habitantes sin escolaridad por manzana, en su mayoría corresponde a valores de 1 a 3 habitantes en San José Atlán y de 4 a 6 habitantes en Huichapan y Tlaxcalilla. (**Figuras 1.7.2.1 y 1.7.2.2**).

Analfabetismo

El nivel de analfabetismo en la población de 15 años en adelante del municipio de Huichapan corresponde a 1 732 habitantes lo que corresponde al 4.9 % en el año 2020, de este, el 60.4 % correspondía al género femenino y el 39.6 % al género masculino (**Gráfica 1.7.2.2**). La localidad con más rasgos de analfabetismo es Tlacalilla y a nivel manzana existen de 1 a 3 habitantes en San José Atlán y de 4 a 6 habitantes en Huichapan y Tlaxcalilla con analfabetismo (**Figuras 1.7.2.3 y 1.7.2.4**).

Gráfica I.7.2.2 *Población con analfabetismo por género.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

Lengua Indígena

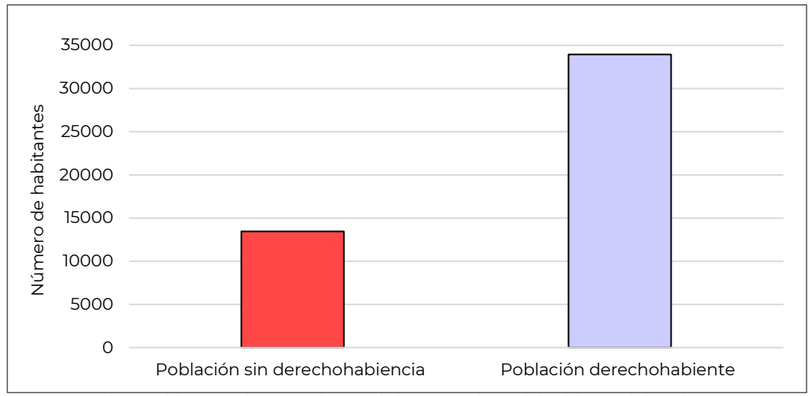
En el municipio de Huichapan 636 habitantes de más de 3 años de edad hablan alguna lengua indígena, lo que representa el 1.4 % de la población total, de éstos el 98.7 % hablan una lengua indígena y español. La **Figura 1.7.2.5** indica donde se encuentra dicha población que habla alguna lengua indígena.

Servicios de salud

Las instituciones de salud pública y/o privadas del municipio de Huichapan brindan atención médica a 33 937 habitantes, lo que corresponde al 71.6 % del total de habitantes. La **Gráfica 1.7.2.3** indica la distribución de la población que tiene acceso a servicios de la salud. El Seguro Popular es la institución donde se atiende más derechohabientes con el 55.3 %, siguiéndole el IMSS con el 35.8 % y el ISSSTE con el 7.1 % (**Gráfica 1.7.2.4**).

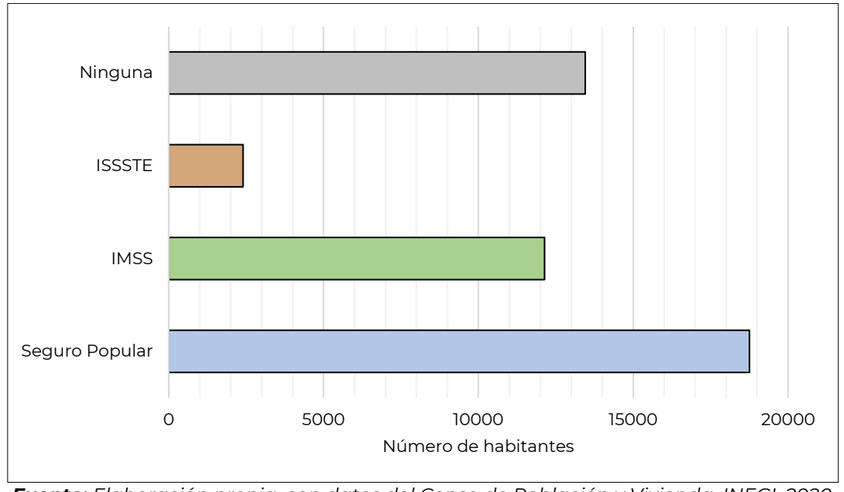
De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo en el 2020 (H Ayuntamiento de Huichapan, 2020-2024) Huichapan contaba con 76 médicos de contacto con el paciente, de los cuales 21 son médicos generales, 3 médicos familiares, 4 pediatras, 6 médicos gineco-obstetras, 3 cirujanos, 2 internistas, 2 odontólogos y 11 médicos especialistas en otros ramos. Teniendo en cuenta que la infraestructura de servicios de salud públicos son 27 y 3 clínicas particulares, la razón de médicos por unidad médica era de 2.5.

Gráfica I.7.2.3 *Población con acceso a servicios de salud.*



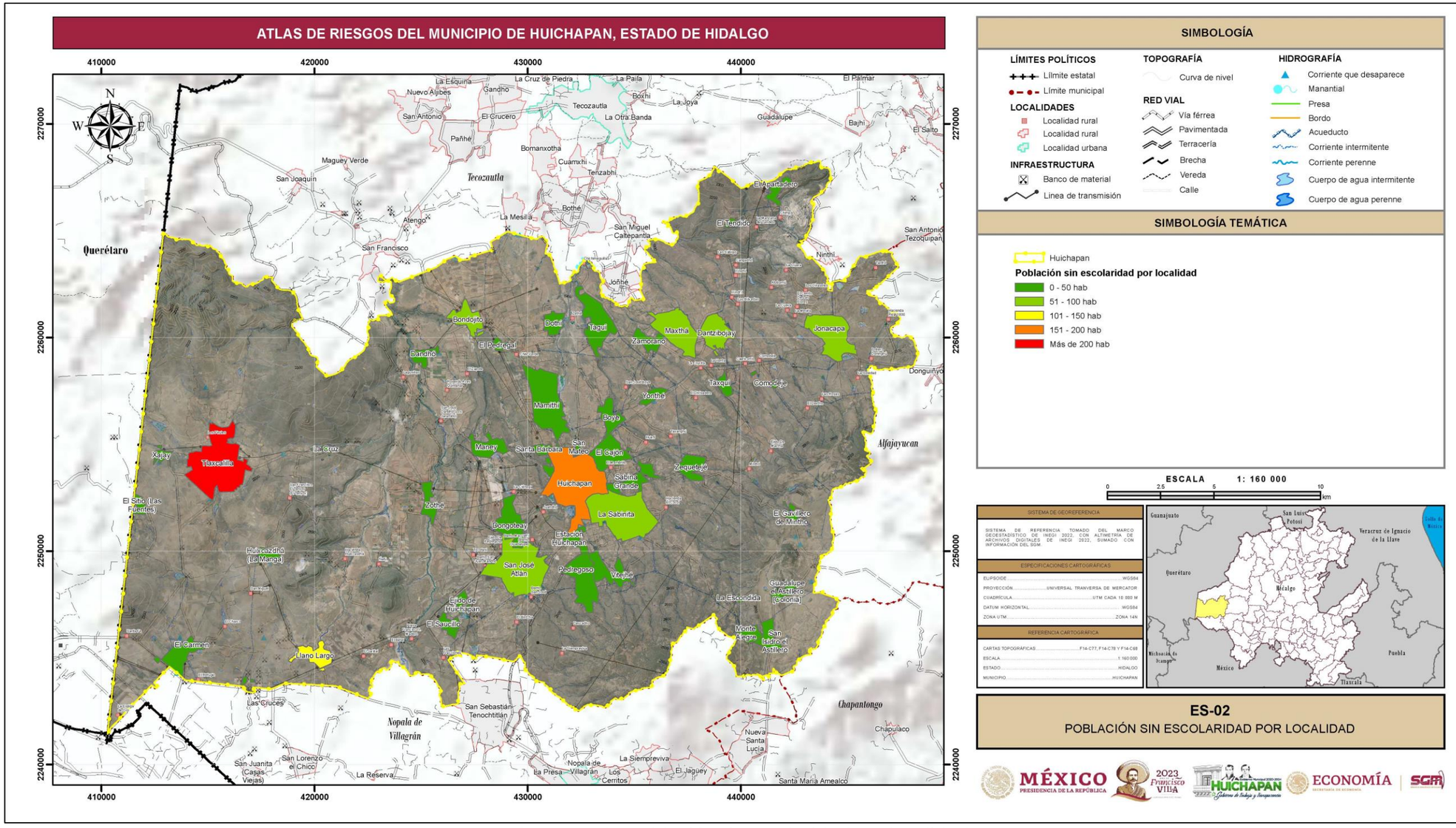
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

Gráfica I.7.2.4 *Distribución de la población según su afiliación a aluna institución del sector salud.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

En el municipio de Huichapan existe población que no es derechohabiente a servicios de salud, tal es el caso de las localidades de Huichapan, San José Atlán y Tlaxcalilla con un rango de más de 816 habitantes. A nivel manzana, la población sin derechohabiencia ocupa un rango de 1 a 29 habitantes en Huichapan, de 1 a 11 habitantes en San José Atlán y de 1 a 10 habitantes en Tlaxcalilla (**Figuras 1.7.2.6 y 1.7.2.7**).



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Población sin escolaridad por localidad
- 0 - 50 hab
- 51 - 100 hab
- 101 - 150 hab
- 151 - 200 hab
- Más de 200 hab

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRICULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

ES-02
POBLACIÓN SIN ESCOLARIDAD POR LOCALIDAD

Figura I.7.2.1 *Población sin escolaridad por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos de Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

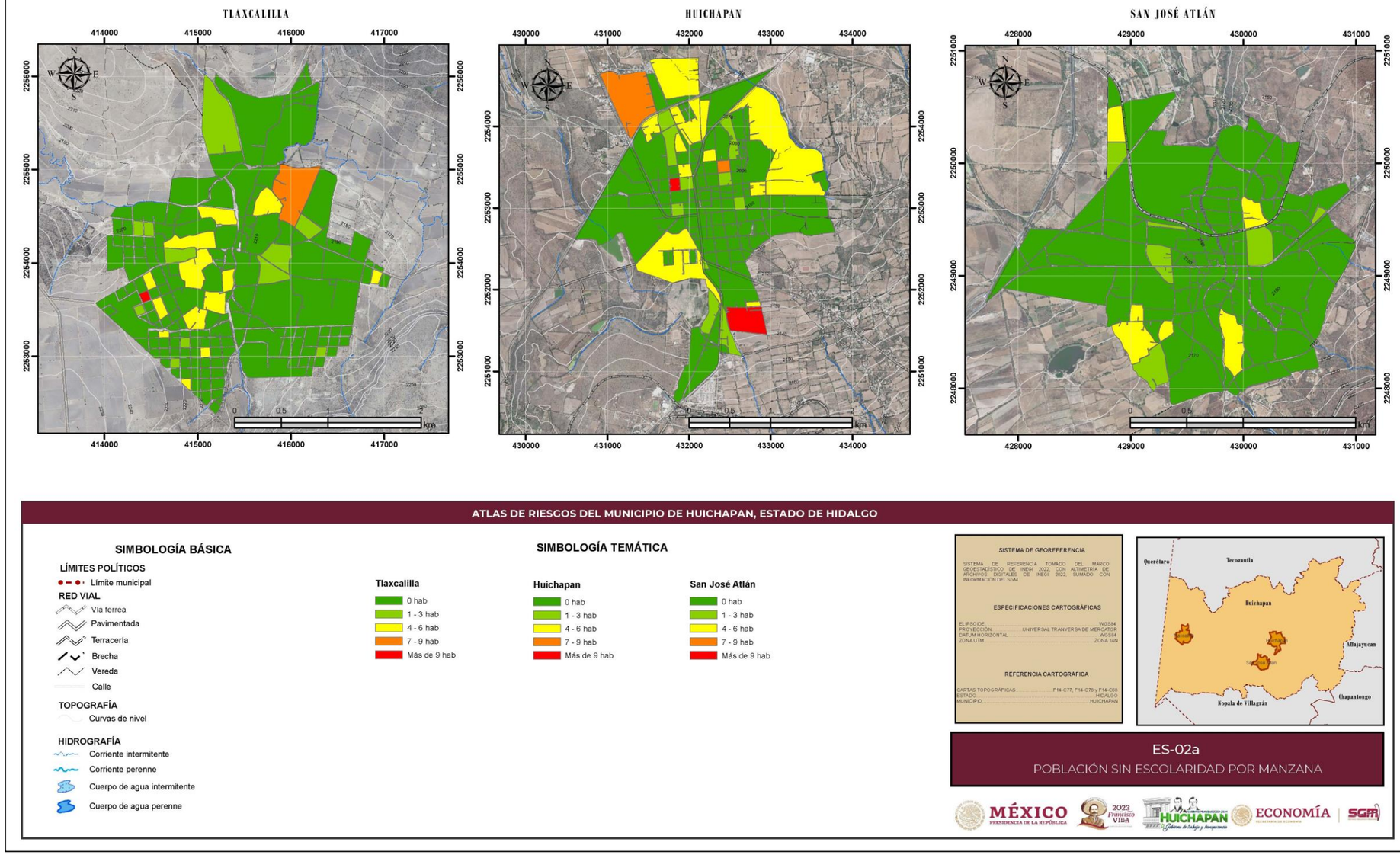


Figura I.7.2.2 *Población sin escolaridad por manzana.*

Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

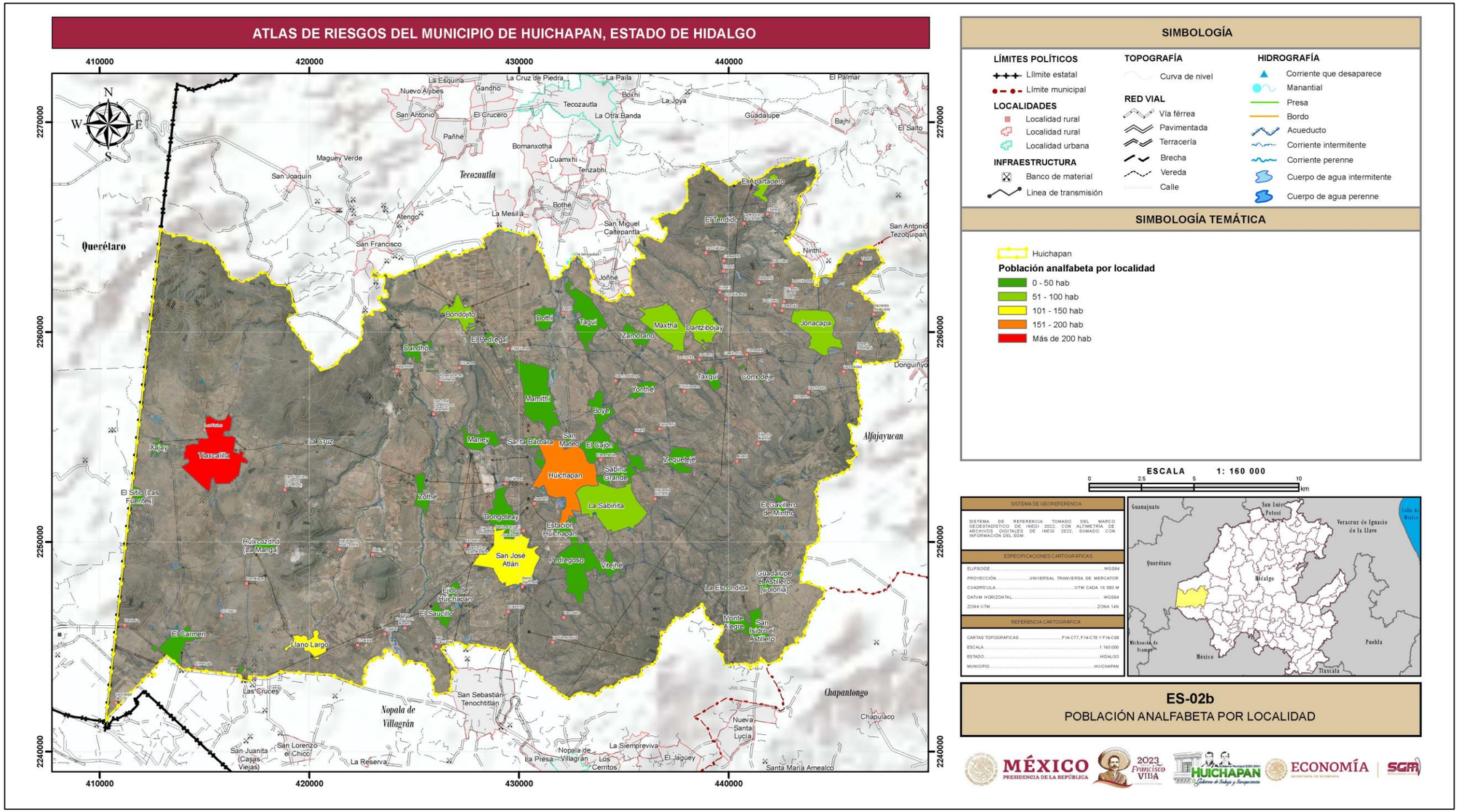


Figura I.7.2.3 *Población analfabeta por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

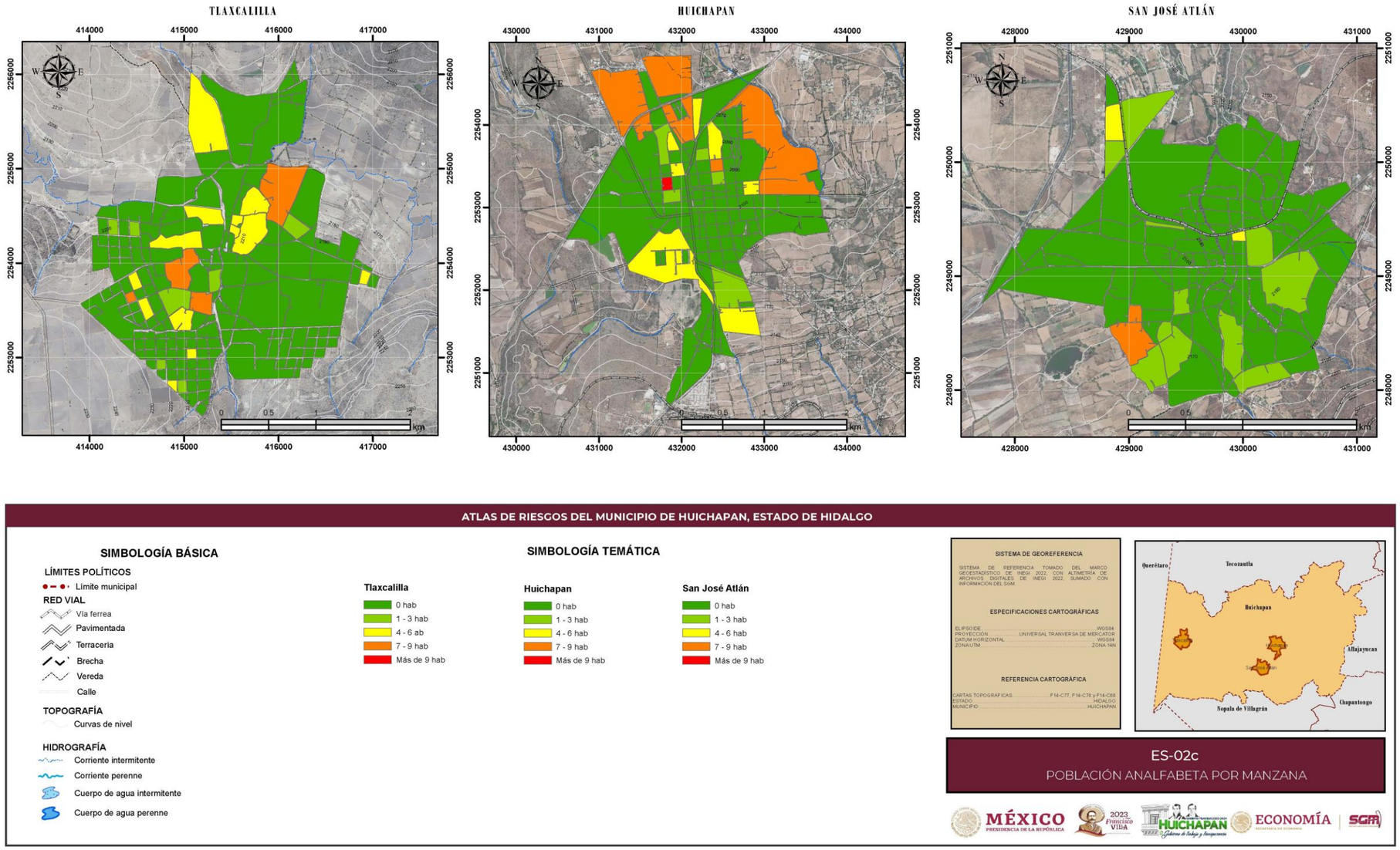
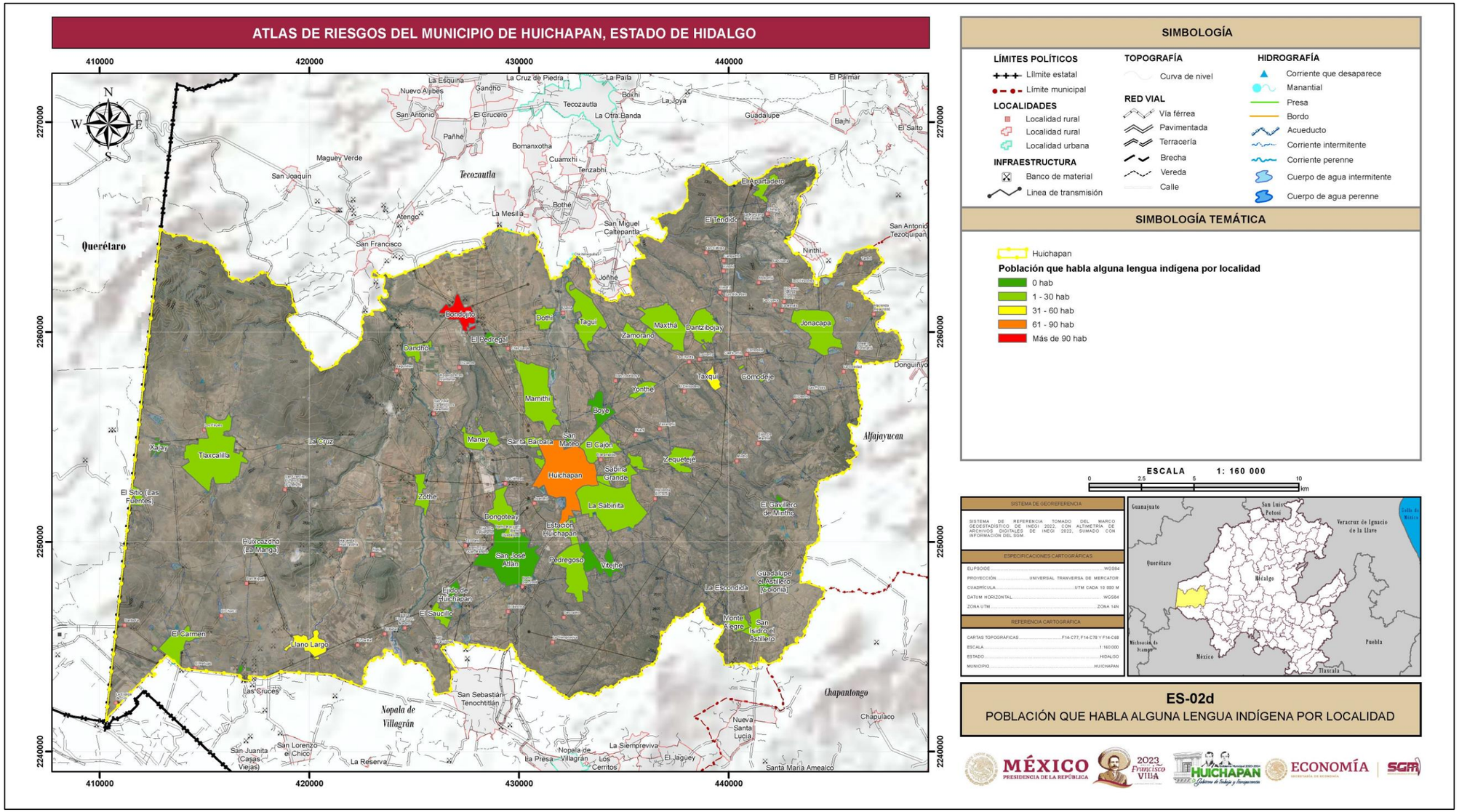


Figura I.7.2.4 *Población analfabeta por manzana.*

Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Población que habla alguna lengua indígena por localidad
- 0 hab
- 1 - 30 hab
- 31 - 60 hab
- 61 - 90 hab
- Más de 90 hab

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

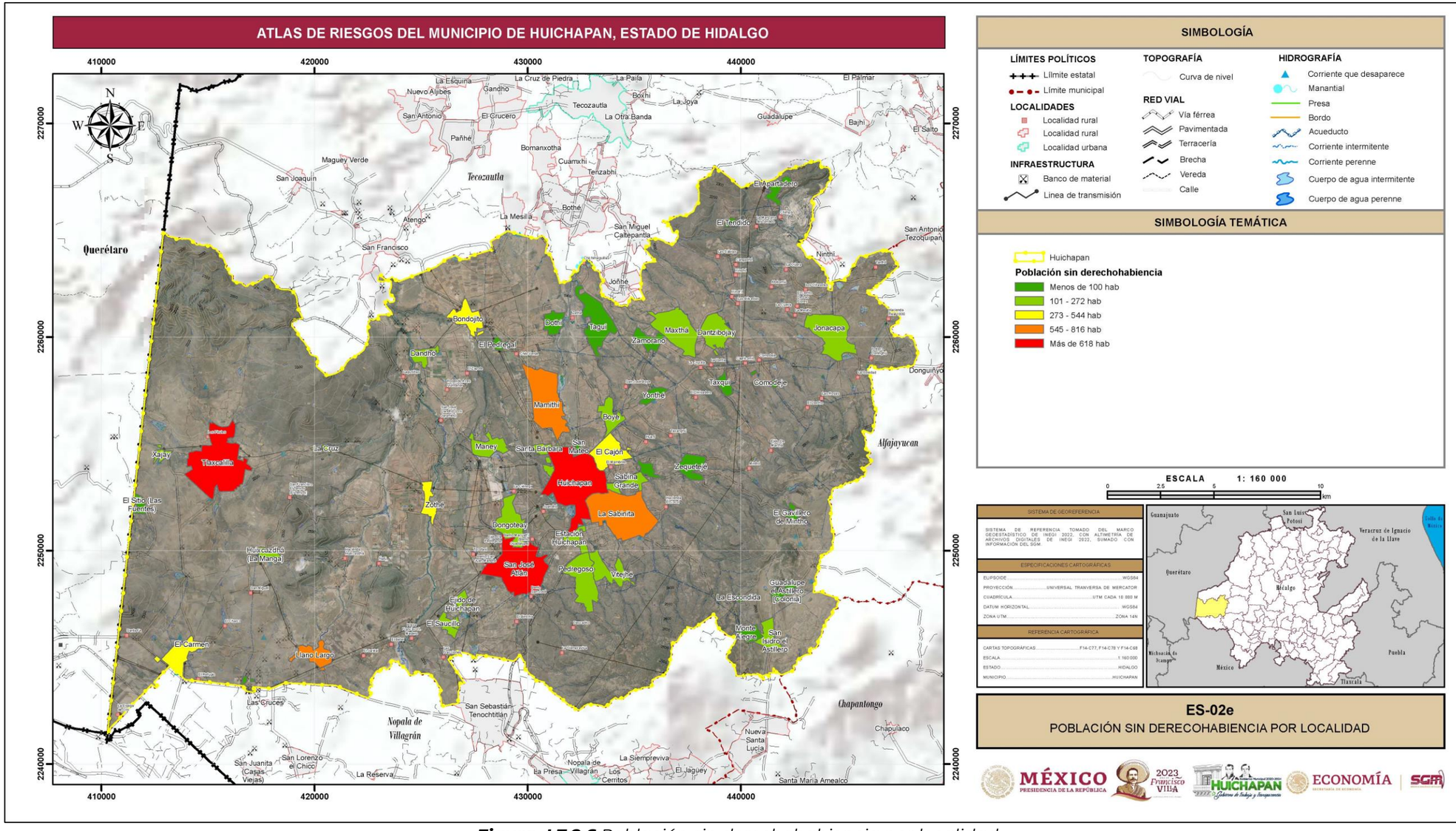
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRICULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

ES-02d
POBLACIÓN QUE HABLA ALGUNA LENGUA INDÍGENA POR LOCALIDAD

Figura I.7.2.5 *Población que habla alguna lengua indígena por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Población sin derechohabiencia
- Menos de 100 hab
- 101 - 272 hab
- 273 - 544 hab
- 545 - 816 hab
- Más de 618 hab

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

ES-02e
POBLACIÓN SIN DERECOHABIENCIA POR LOCALIDAD

Figura I.7.2.6 *Población sin derechohabiencia por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

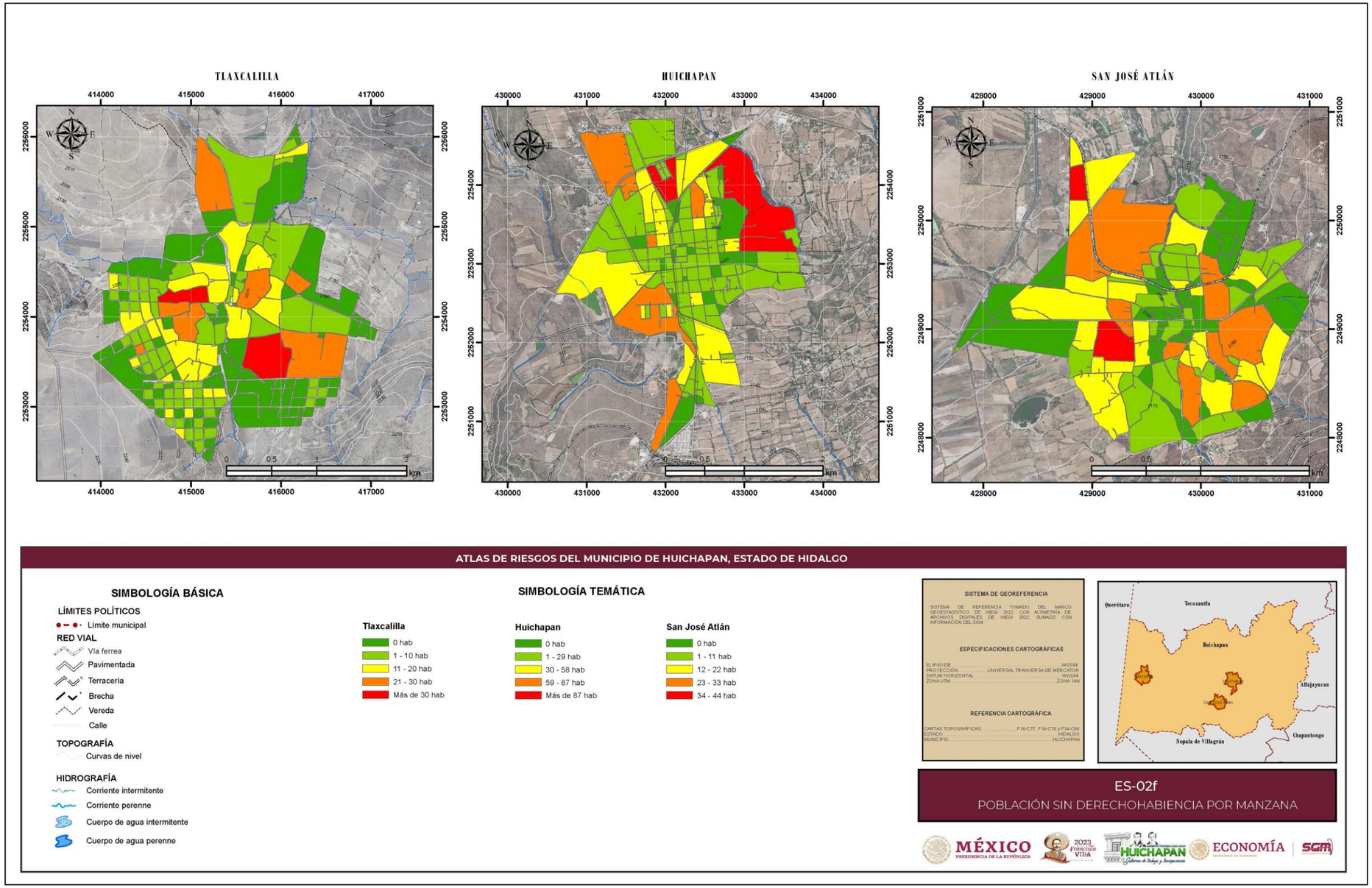


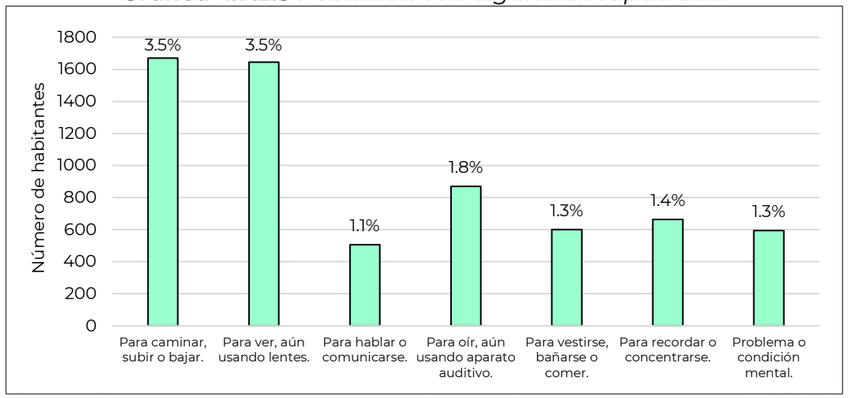
Figura I.7.2.7 *Población sin derechohabiencia por manzana*

Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

Discapacidad

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda realizado por INEGI en el 2020, las diferentes discapacidades que más se presentan en el municipio de Huichapan son la dificultad para caminar o moverse, subir o bajar y dificultad para ver aun usando lentes. En la **Gráfica 1.7.2.5** se observa la relación del porcentaje respecto al número de individuos con diferentes discapacidades en el municipio.

Gráfica I.7.2.5 *Población con alguna discapacidad.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

La localidad con mayor número de personas con discapacidad es Huichapa 1 346 habitantes. A nivel manzana los habitantes con algún tipo de discapacidad en su mayoría mantiene un rango de 1 a 16 habitantes en Huichapan, de 1 a 8 habitantes en San José Atlán y de 1 a 6 habitantes en Tlaxcalilla (**Figuras 1.7.2.8 y 1.7.2.9**).

Empleo e Ingresos

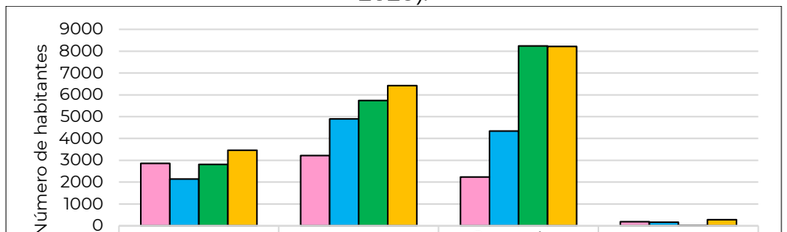
De acuerdo al Plan Municipal de Desarrollo en Huichapan (H Ayuntamiento de Huichapan, 2020-2024) la actividad económica se desarrolla en un total aproximado de 13 sectores: manufacturero, industrial, comercio al por mayor, comercio al por menor, construcción, salud, educativo, servicios, transporte, agricultura, ganadería, gubernamental y artesanal.

En el 2020 la distribución de la Población Económicamente Activa (PEA) por sector de actividad en el municipio registra las siguientes características:

- Sector primario. El 18.8 % de la PEA municipal se ocupa en actividades primarias: agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca.
- Sector secundario. El 35 % de la PEA se ocupa en actividades secundarias como minería, extracción de petróleo y gas, industria manufactura, electricidad, agua y construcción.
- Sector terciario. Las actividades relacionadas con el comercio y los servicios ocupan el 44.7 % de la PEA.

El mayor porcentaje de las actividades económicas en este sector se concentra en las actividades relacionadas con el comercio y los servicios (**Gráfica 1.7.2.6**).

Gráfica I.7.2.6 *Población ocupada por sector de actividad económica (1990-2020).*



	Agropecuario	Industrial	Comercio y Servicios	No Especificado
1990	2855	3217	2231	183
2000	2143	4890	4339	163
2010	2814	5744	8236	18
2020	3459	6424	8217	277

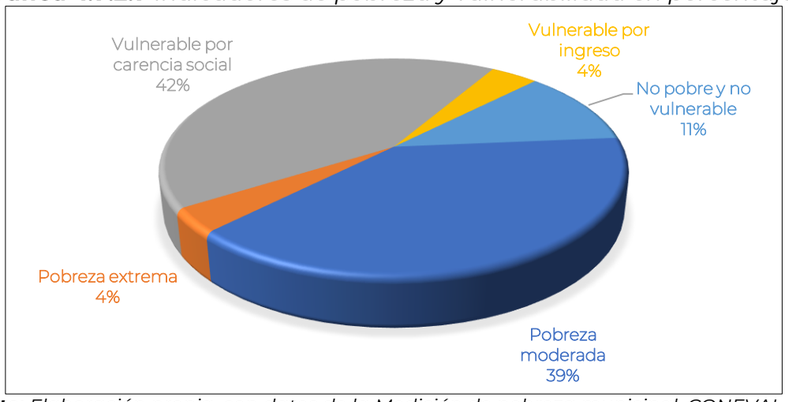
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 1990, 2000, 2010a y 2020b.*

Pobreza

De acuerdo al Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2020) en su página de consulta interactiva de la medición de pobreza municipal en el 2020 el 42.4 % de los habitantes de Huichapan se encontraban en pobreza, de los cuales el 38.8 % presentaban pobreza moderada y 3.6 % estaban en pobreza extrema.

En la **Gráfica 1.7.2.7** se observa el porcentaje de indicadores de la pobreza y la vulnerabilidad, donde se puede apreciar cómo la población presenta en su mayoría una pobreza moderada.

Gráfica I.7.2.7 *Indicadores de pobreza y vulnerabilidad en porcentajes.*



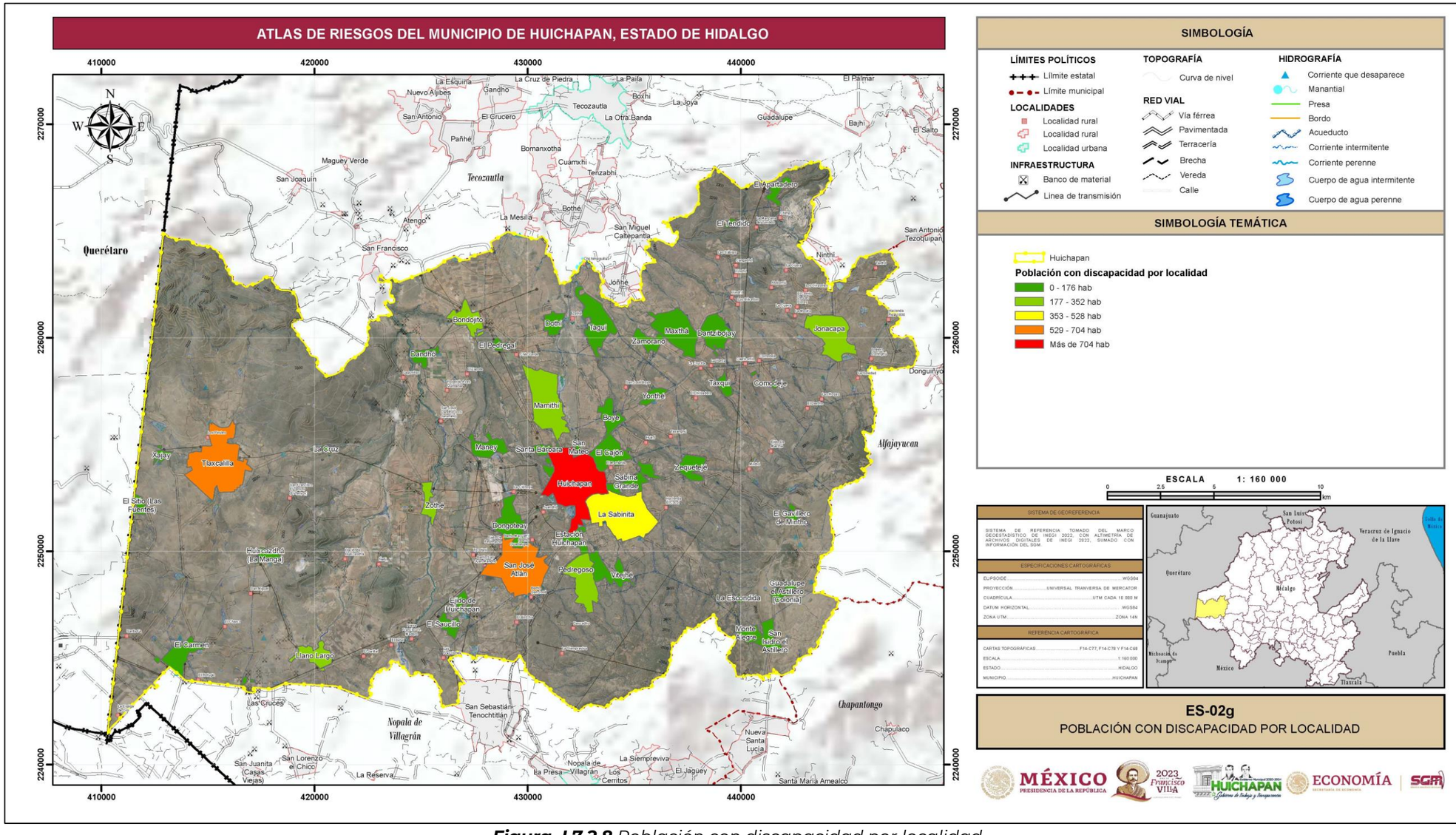
Fuente: *Elaboración propia, con datos de la Medición de pobreza municipal, CONEVAL, 2020.*

Marginación

De acuerdo a la CONAPO en el 2020 el municipio de Huichapan presenta tres niveles de marginación: muy bajo, bajo y medio, siendo el nivel muy bajo el que predomina en la mayoría de las localidades (**Figura 1.7.2.10**). Los problemas que generan mayor impacto en los índices de marginación se relacionan con la combinación de los siguientes factores:

- El 82.2 % de la población ocupada tiene ingreso de hasta 2 salarios mínimos mensuales.
- Casi la quinta parte de las viviendas (18.3 %), presentan algún nivel de hacinamiento.
- El 33.3 % de la población no tiene la primaria terminada.
- El 79.2 % de los habitantes del municipio de Huichapan viven en localidades con menos de 5 mil habitantes.

Las condiciones de marginación por manzana son de nivel bajo, alto y muy alto, su distribución en las localidades urbanas se observa en la **Figura 1.7.2.11**.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Población con discapacidad por localidad
- 0 - 176 hab
- 177 - 352 hab
- 353 - 528 hab
- 529 - 704 hab
- Más de 704 hab

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

ES-02g
POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD POR LOCALIDAD

Figura I.7.2.8 *Población con discapacidad por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

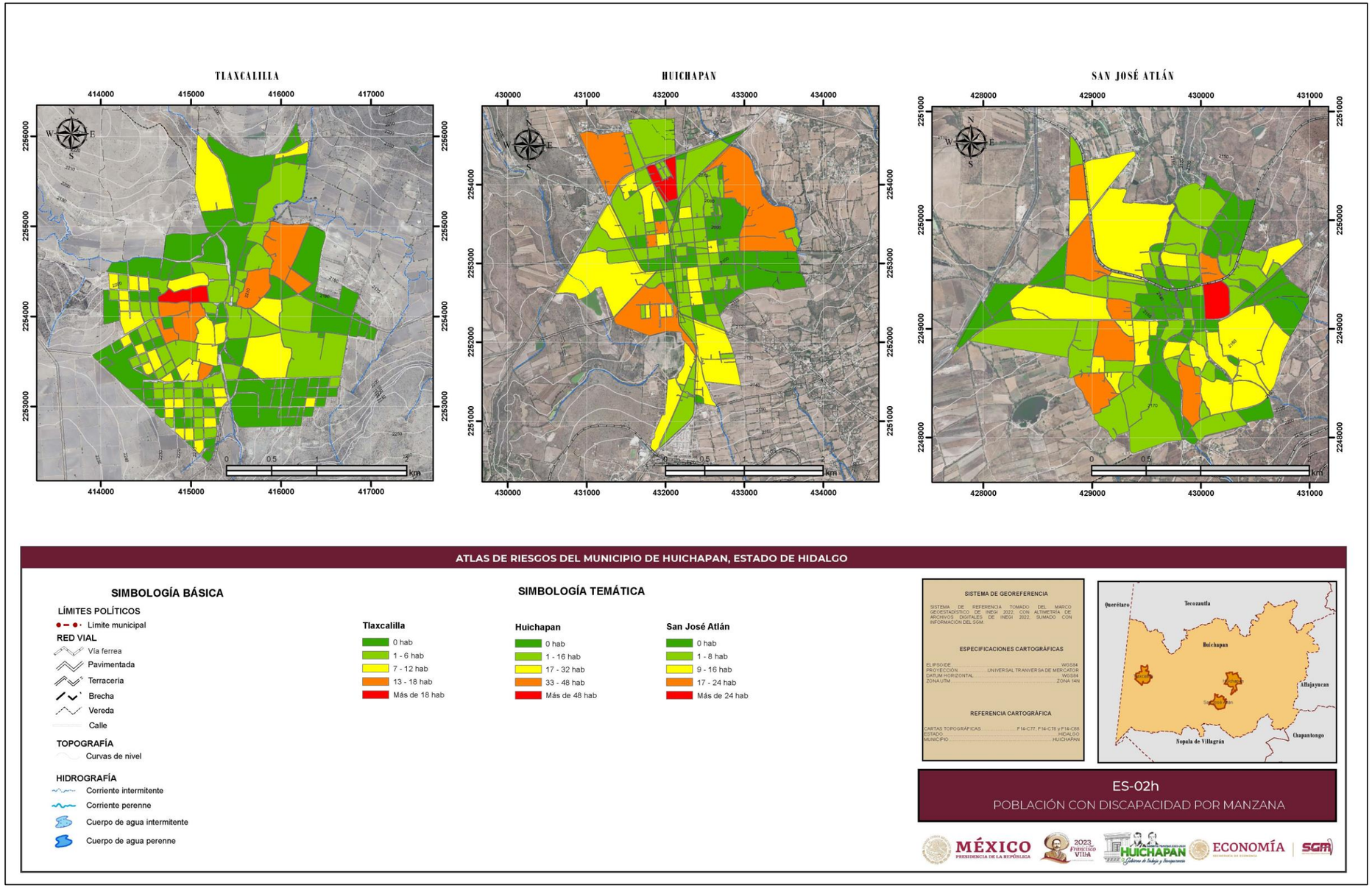


Figura I.7.2.9 *Población con discapacidad por manzana.*

Fuente: *Elaboración propia, con datos con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

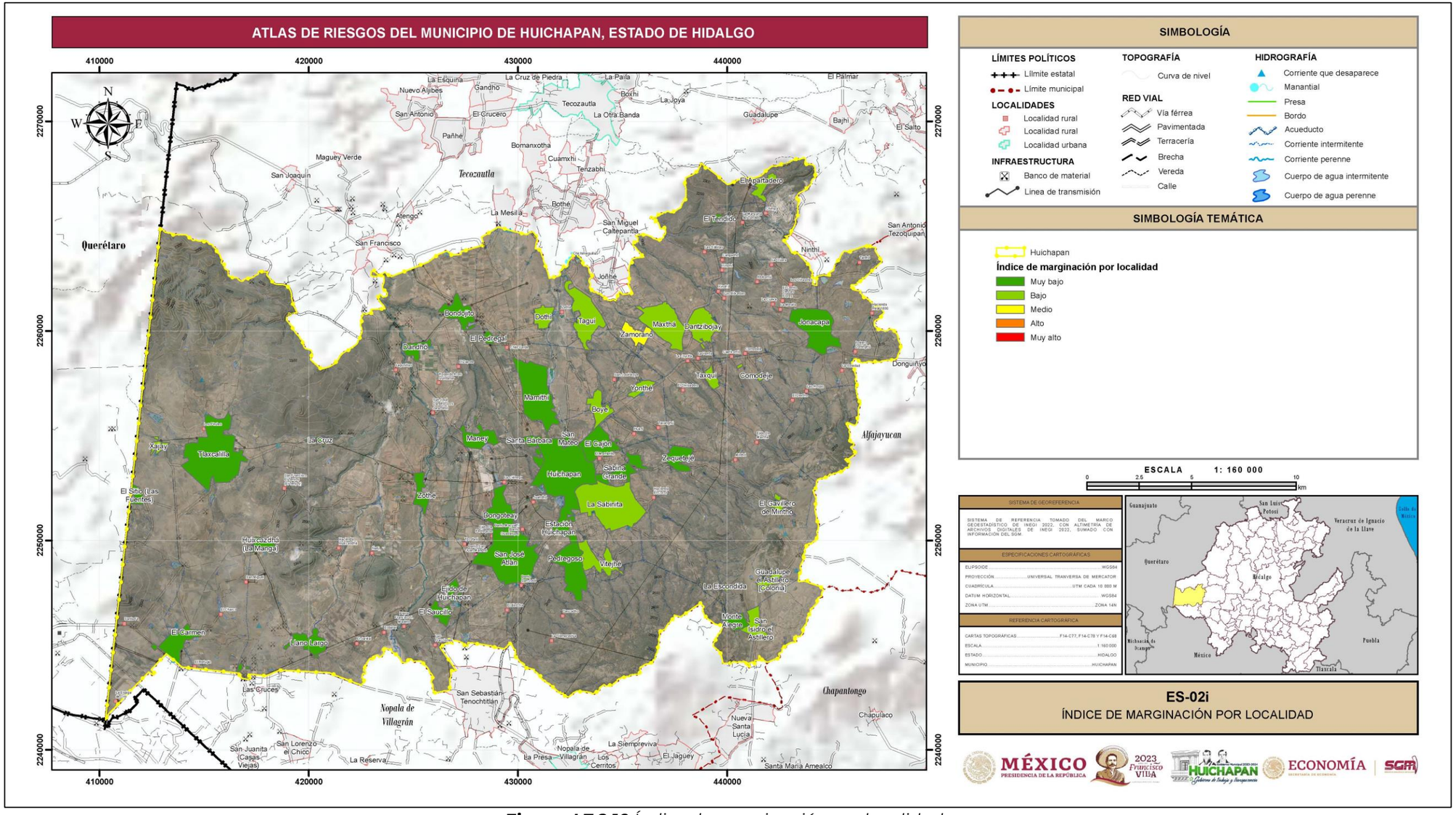


Figura I.7.2.10 *Índice de marginación por localidad.*
Fuente: Elaboración propia, con datos del Índice de marginación por localidad, CONAPO, 2020a.

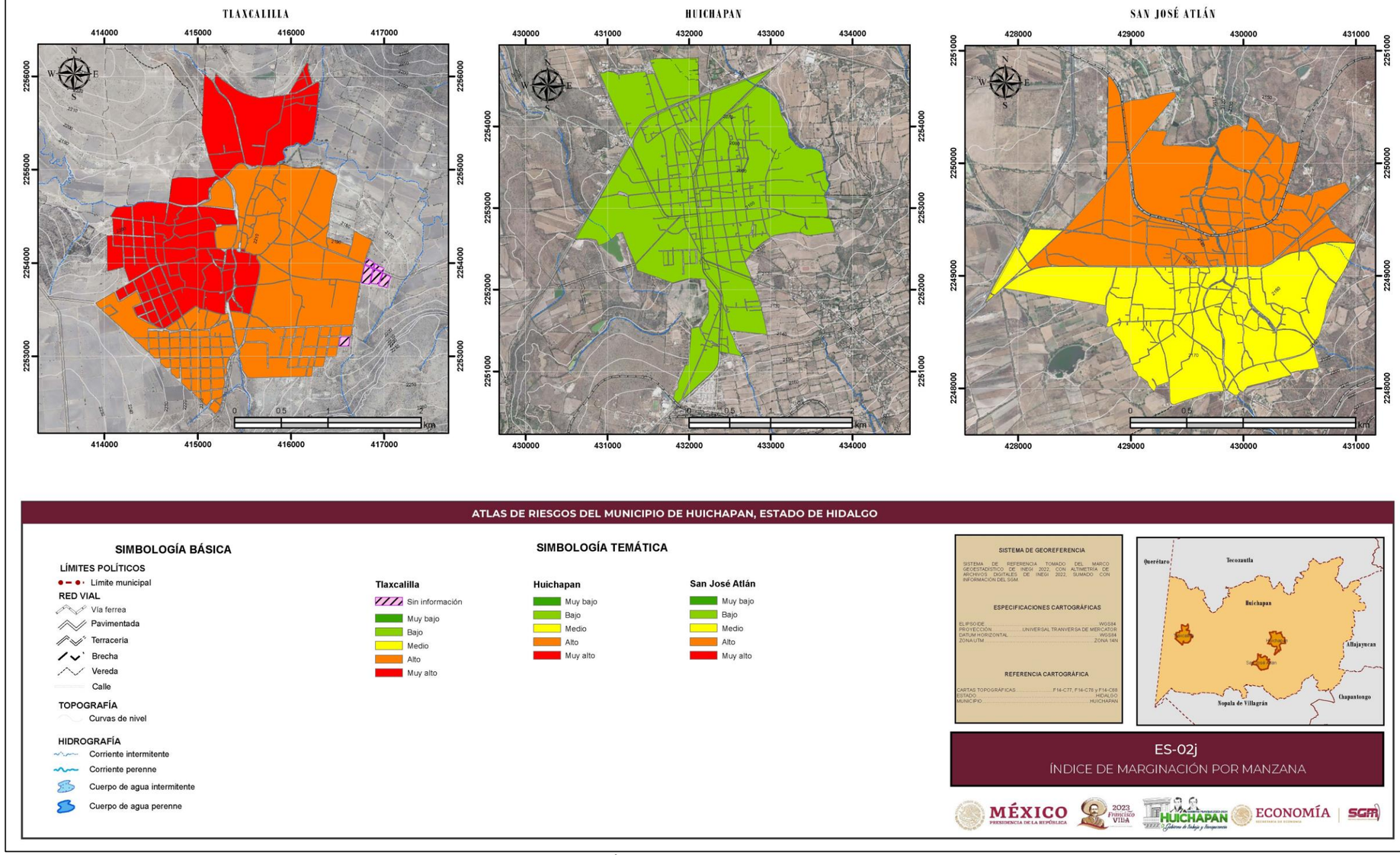


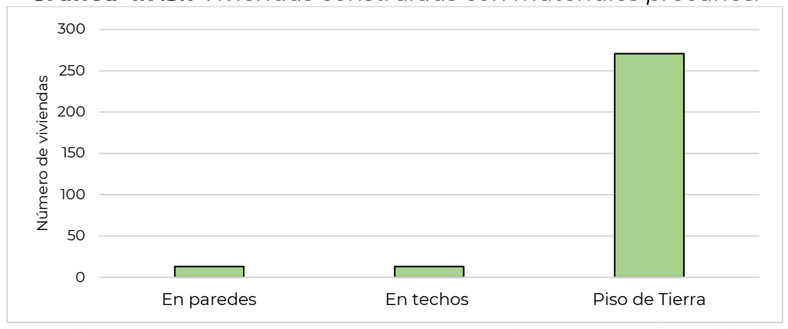
Figura I.7.2.11 *Índice de marginación por manzana.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Índice de marginación urbana, CONAPO, 2020b.*

I.7.3 Características de la Vivienda

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, en el municipio de Huichapan, hay un total de 12 880 viviendas particulares habitadas, que representa el 1.7 % del total estatal. La densidad domiciliaria promedio es de 3.67 habitantes por vivienda y el promedio de ocupantes por cuarto es de 0.97 (**Figura 1.7.3.1**). A nivel manzana el promedio de ocupantes por cuarto varía en un rango de 0.7 a 0.9 en Huichapan, de 0.7 a 1.2 en San José Atlán y de 0.6 a 1.0 en Tlaxcalilla (**Figura 1.7.3.2**).

Con la información del Panorama Sociodemográfico de Hidalgo 2015 se determinó que existe una tendencia adquisitiva en la vivienda de un 81.1 % propia, 7.7 % alquilada, 10.2 % familiar o prestada, 0.8 % con otra situación y 0.2 % no especificado. También indica que existen viviendas con materiales de construcción precarios, el 0.1 % tiene materiales precarios en paredes, 0.1 % en techos y el 2.1 % son viviendas con piso de tierra (**Gráfica 1.7.3.1** y **Figura 1.7.3.2**)

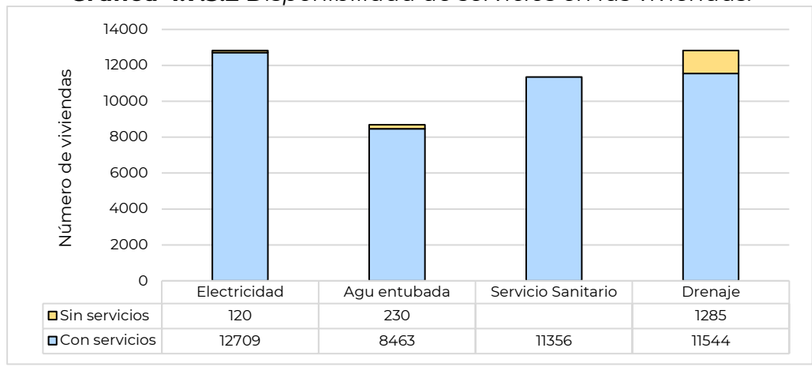
Gráfica I.7.3.1 *Viviendas construidas con materiales precarios.*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Panorama Sociodemográfico INEGI, 2015.*

En relación a los servicios básicos, el municipio de Huichapan se caracteriza por contar con viviendas con un solo cuarto (3.11 %), viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública (1.79 %), viviendas que no disponen de drenaje (9.98 %), viviendas que no disponen de energía eléctrica (0.93 %) y viviendas sin ningún bien (1.02 %) (**Gráfica 1.7.3.2** y **Figuras 1.7.3.3 y 1.7.3.4**)

Gráfica I.7.3.2 *Disponibilidad de servicios en las viviendas.*

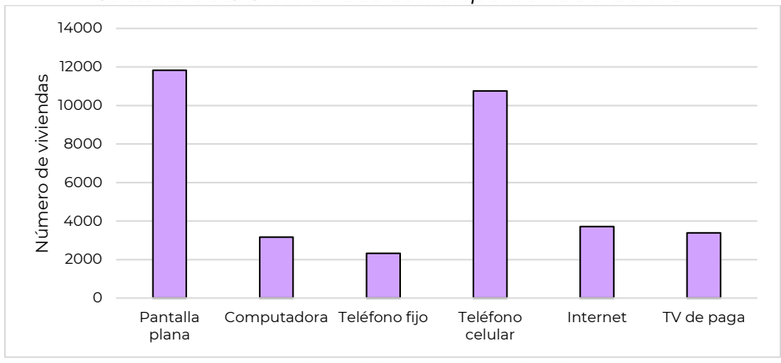


Fuente: *Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 el porcentaje de viviendas sin disponibilidad de servicios básicos fue de 0.29 %, lo que significa que las condiciones de vivienda no son las adecuadas para 136 personas.

En el caso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), el porcentaje de la población que hace uso del teléfono celular es de 83.46 % y aproximadamente un 26.24 % tiene televisión de paga, mientas que solo el 24.55 % cuentan con computadora (**Gráfica 1.7.3.3**)

Gráfica I.7.3.3 *Viviendas con disponibilidad de TIC..*



Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

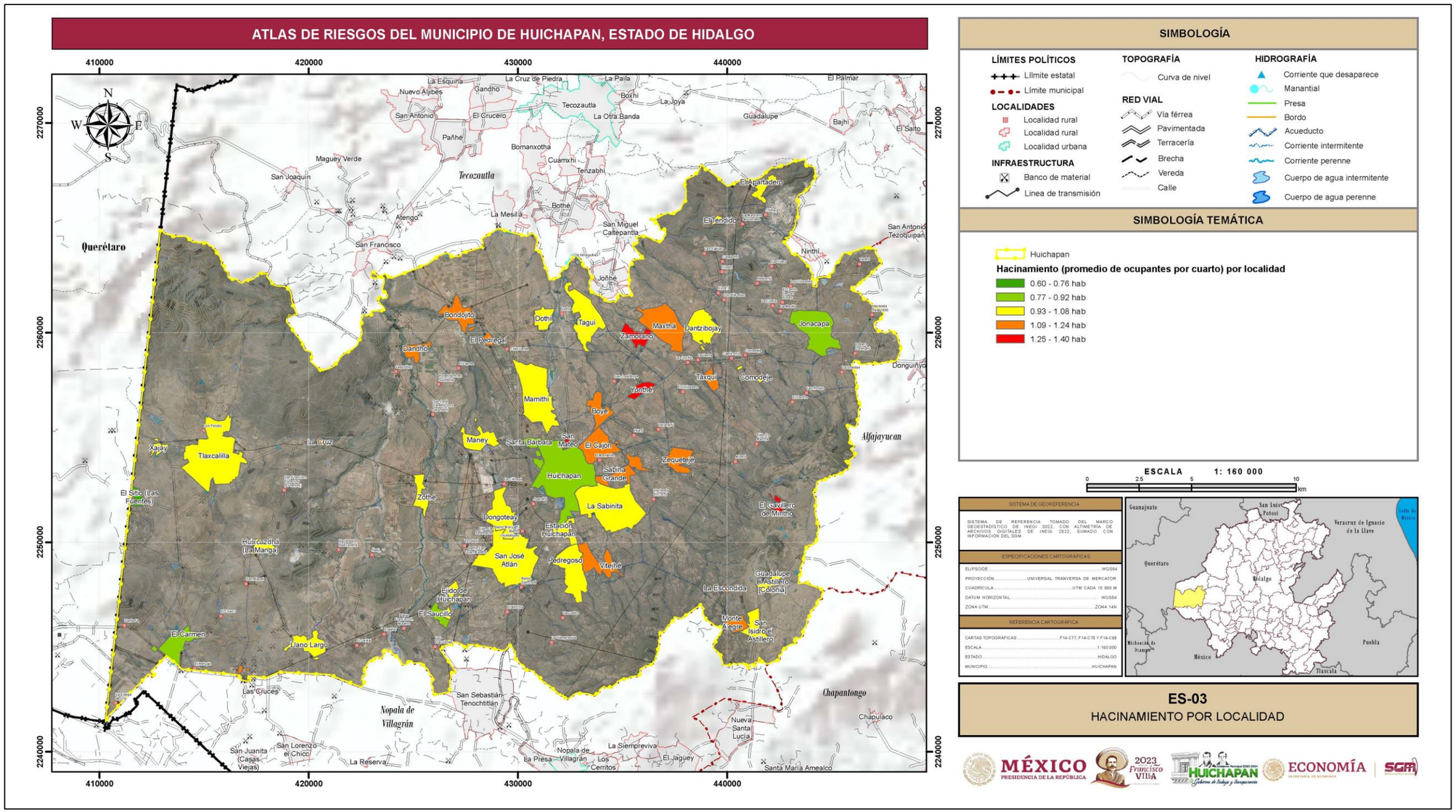


Figura I.7.3.1 *Hacinamiento por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

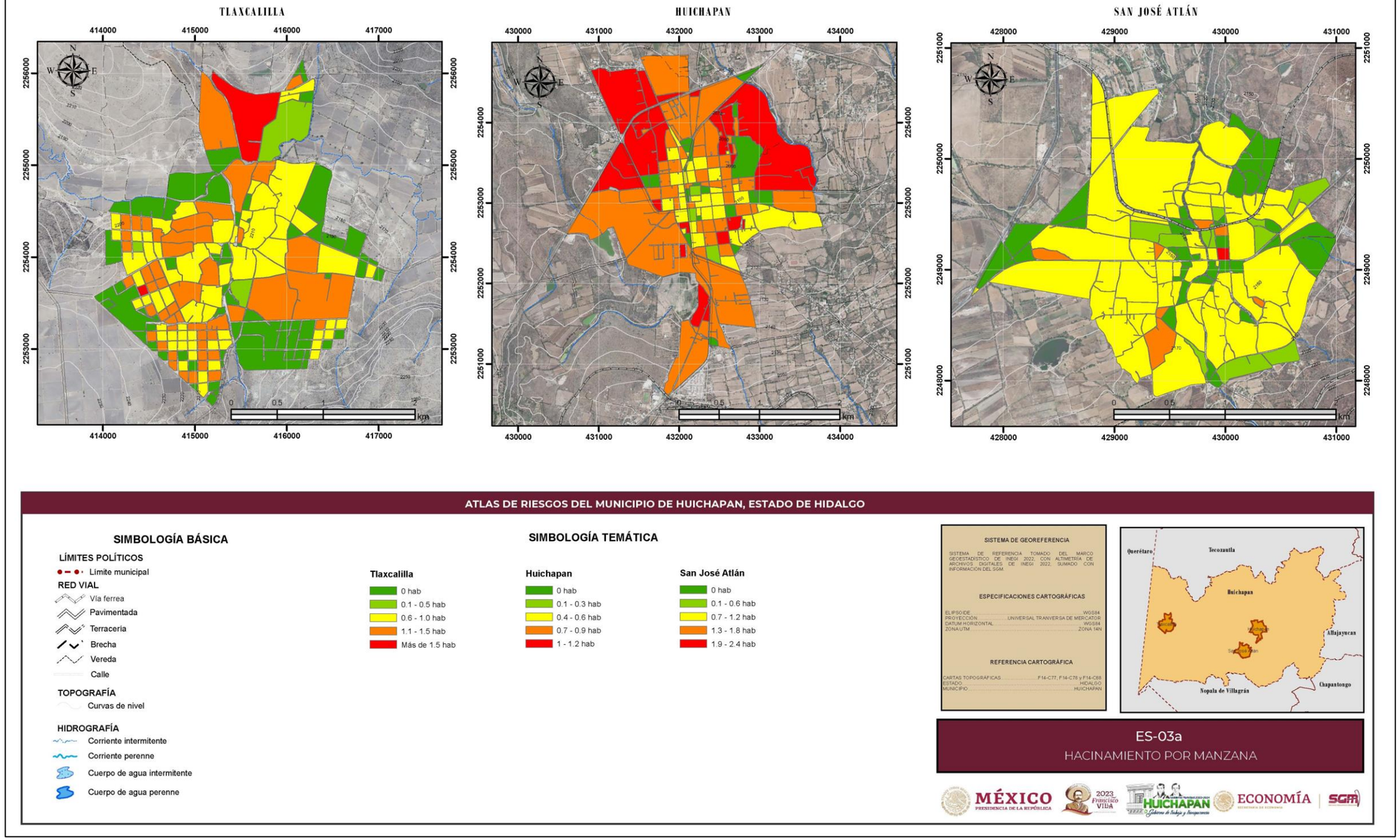


Figura I.7.3.2 Hacinamiento por manzana.

Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

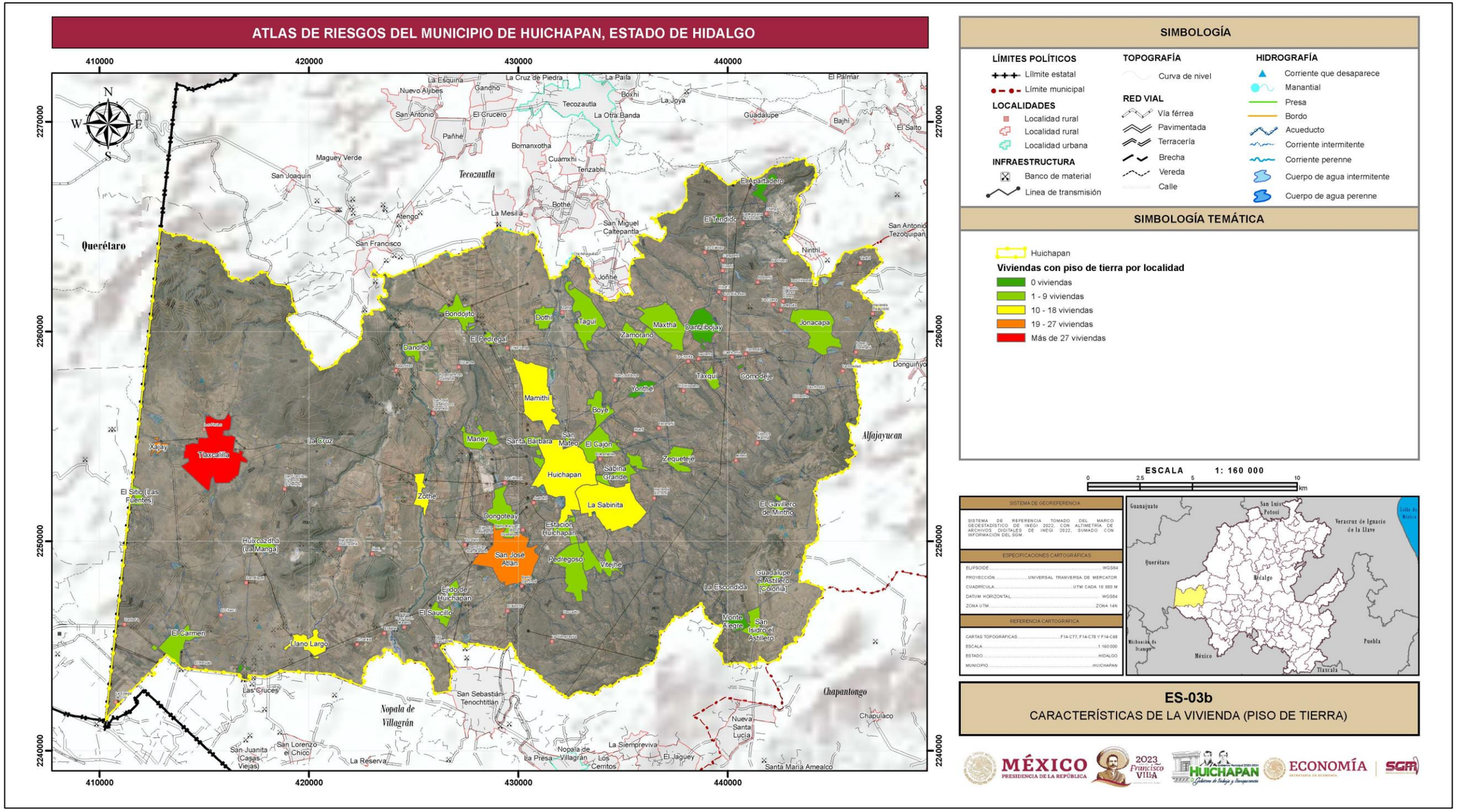
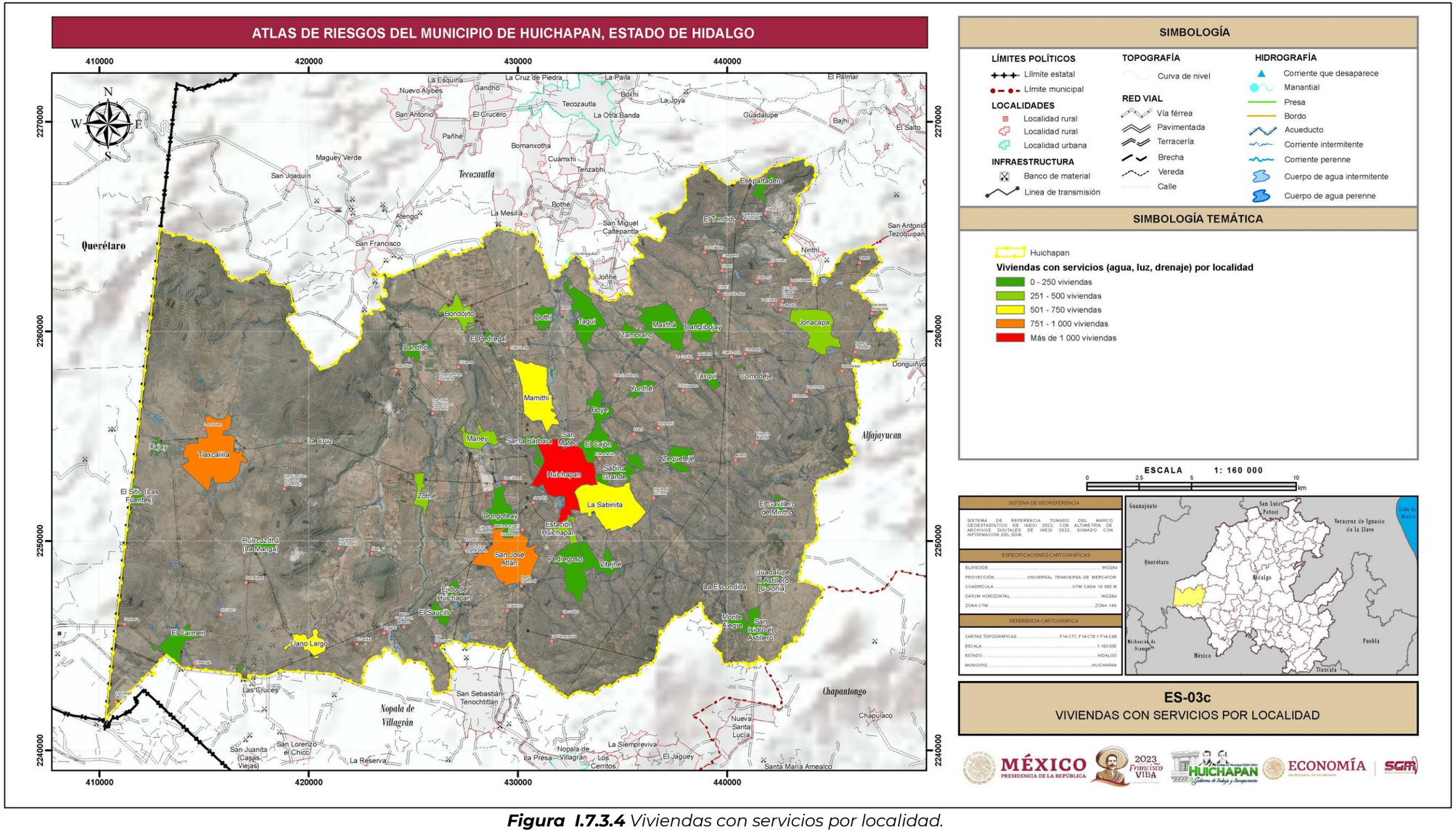


Figura I.7.3.3 *Viviendas con piso de tierra por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*



ES-03c
VIVIENDAS CON SERVICIOS POR LOCALIDAD

Figura I.7.3.4 *Viviendas con servicios por localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2020.*

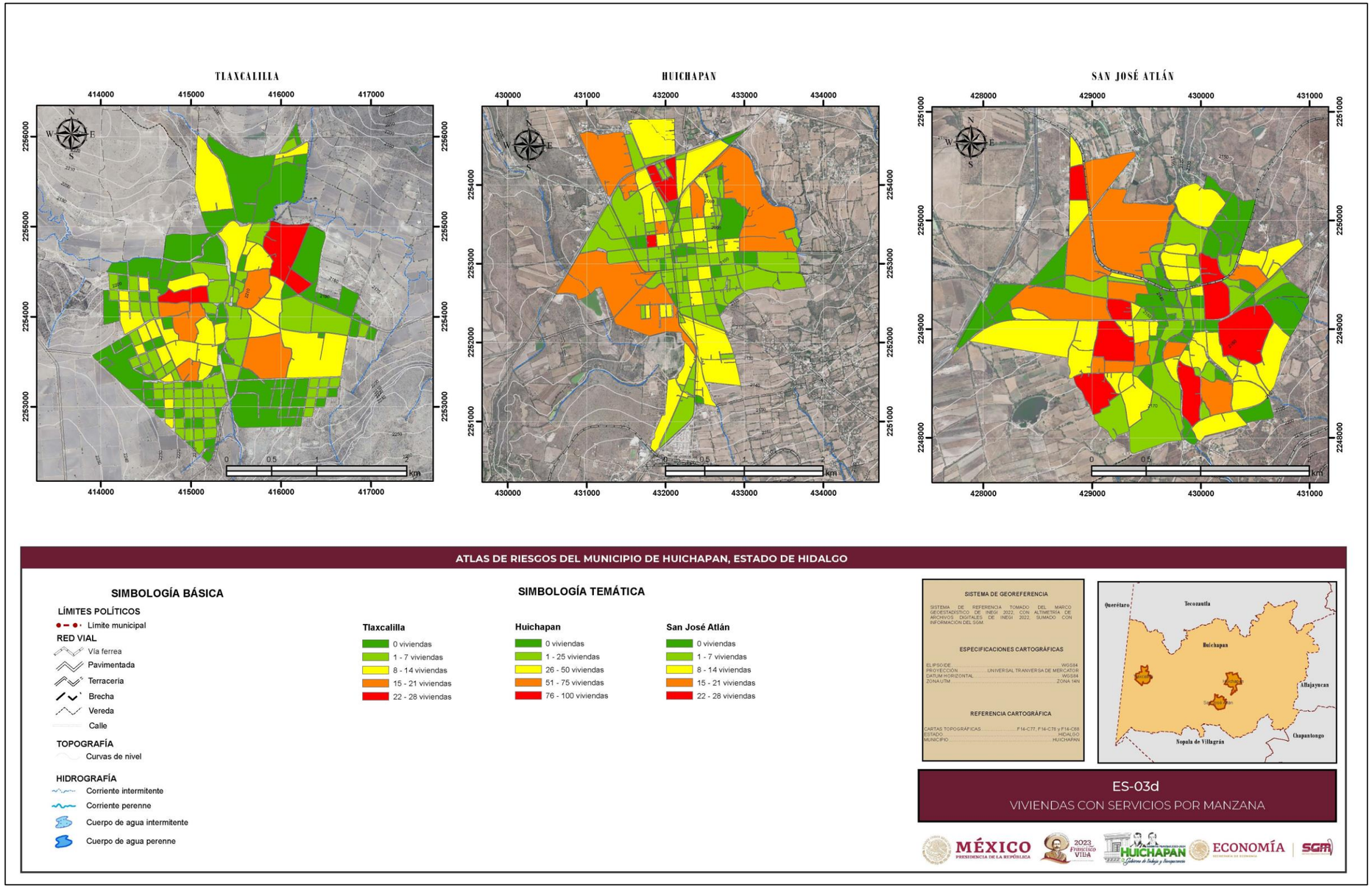


Figura I.7.3.5 *Viviendas con servicios por manzana.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

I.7.4 Reserva Territorial

De acuerdo con el glosario del INEGI se refiere como reservas territoriales a las áreas que por determinación legal y con base en un plan específico será utilizadas para el crecimiento de un centro de población con prohibición estricta de darle otros usos diferentes a los especificados por las declaratorias de usos y destinos. Comprende las áreas que demanda el crecimiento urbano y la distribución de los espacios económicos, en razón de su uso real y su potencial que posibilite el ajuste de las relaciones campo-ciudad en un esquema de intercambio menos desigual. La reserva territorial debe responder a la estrategia global (en sus niveles nacional, estatal y municipal), de acuerdo a los objetivos nacionales de desarrollo económico y social. La reserva territorial deberá considerar la localización de los espacios físicos para la fundación de centros de población y el crecimiento de los mismos (Las "áreas de donación" no se consideran como parte de las reservas territoriales).

De acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2020, el municipio de Huichapan no tiene algún registro o relación de reservas territoriales y no existen áreas planeadas como reservas territoriales en el Plan de Desarrollo Urbano Municipal 2020-2024, o en algún otro instrumento ya sea programa o proyecto. Sin embargo, Huichapan cuenta con cuatro Áreas Naturales Protegidas clasificadas como Zona de Preservación Ecológica (ZPE) (**Tabla I.7.4.1**):

Tabla I.7.4.1 *Áreas Naturales Protegidas en Huichapan.*

Nombre	Superficie (ha)	Fecha de decreto
Mamithí	10	05/06/2007
Dothi	20	05/06/2007
Zothé	20	05/06/2007
Dandhó	30	05/06/2007
Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNATH 2023.		

Respecto a la flora y fauna protegida, al ser las ANP áreas circunvecinas la diversidad es la misma, teniendo las siguientes especies protegidas en común (**Tabla 1.7.4.2**), de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010:

Tabla I.7.4.2 *Especies de flora y fauna protegidas en Huichapan.*

	Nombre científico	Nombre común	Categoría	Distribución
Flora	Ferocactus histrix	Biznaga de barril	Protección especial	Endémica
	Dasylirion acrotriche	Sotol	Amenazada	Endémica
	Erythrina coralloides	Colorín	Amenazada	No endémica
Fauna	Sceloporus grammicus	Lagartija escamosa de mezquite	Protección especial	No endémica
	Crotalus aquilus	Cascabel oscura	Protección especial	Endémica
	Crotalus molossus	Cascabel cola negra	Protección especial	No endémica
	Kinosternon integrum	Tortuga pecho quebrado	Protección especial	Endémica
Fuente: Elaboración propia con datos del SEMARNATH, 2023.				

En cuanto al Área Natural Protegida de Nopala, ubicada en el municipio de Nopala de Villagrán declarada como Reserva Ecológica en diciembre del 2005 con 1,753.75 ha, de las cuales 179.2 ha se encuentran en el municipio de Huichapan se protegen las siguientes especies: (**Tabla 1.7.4.3**).

Tabla I.7.4.3 *Especies protegidas en el ANP de Nopala*

	Nombre científico	Nombre común	Categoría	Distribución
Fauna	Lithobates chiricahuensis	Rana leopardo chiricahua	Amenazada	No endémica
	Thamnophis eques	Culebra de agua nómada mexicana	Amenazada	No endémica
Fuente: Elaboración propia con datos del SEMARNATH, 2023.				

FASE II. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y PELIGROS, ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL

II.1.1 Vulcanismo

Un volcán es una estructura geológica por la que emergen gases, cenizas y magma o roca derretida provenientes del interior de la Tierra, se denomina erupción al ascenso del magma que ocurre en episodios de actividad, pueden variar en intensidad, duración y frecuencia, desde suaves corrientes de lava hasta explosiones extremadamente violentas y destructivas (INPRES, 2021).

Antecedentes

La caldera de Huichapan está localizada a 14 km en línea recta de la cabecera municipal, en la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). El CVM es una provincia volcánica de 20 a 150 km de ancho y aproximadamente 1 000 km de largo. A pesar de que existen más de 8 000 edificios volcánicos solo se conocen siete calderas; de esas siete solo tres (La Primavera, Los Humeros y Los Azufres) han sido estudiadas en detalle por su potencial geotérmico (Verma *et al.*, 1992). Sin embargo, la Comisión Federal de Electricidad realizó un estudio en las zonas geotérmicas de Yenthó, Pathé y Taxidó en 1981 donde se desarrolló un mapeo básico de la geología en el área y una descripción de la geología y geoquímica de elementos mayores en el área de la caldera (Aguirre y López, 2008) este estudio al ser trabajo interno de la CFE no está disponible al público.

De acuerdo al informe de la carta geológico-minera y geoquímica de Huichapan (SGM, 2008) las rocas de origen volcánico asociadas a la caldera de Huichapan se agrupan en tres tipos: pre-caldera, originado por la caldera y post-caldera (**Figura 1.1.1**):

Pre-caldera.

La unidad Toba Donguinyo (Tpl TR) está formada por una serie de depósitos producto de eventos explosivos que se presentan estratigráficamente a la base de secuencias ignimbríticas y a la cima del vulcanismo miocénico, de composición riolítica, conformada por depósitos de oleada piroclástica, depósitos pumicíticos de caída libre y ceniza que exhiben poca piroconsolidación. Esta unidad se asocia a eventos volcánicos explosivos del CVM, sin embargo, localmente se considera que representa los productos eyectados en la etapa inicial de la caldera.

La unidad Toba Huichapan (Tpl TR Ig) es de composición riolítica e incluye depósitos de oleada y piroclásticos, así como depósitos pumicíticos de caída libre. Muestra dos secuencias ignimbríticas asociadas a la caldera de Huichapan, la Ignimbrita San Francisco y la Ignimbrita Don Guinyó. Estos depósitos corresponden a eventos asociados a pulsaciones del CVM, localmente corresponde a secuencias que originaron la caldera de Huichapan.

Originado por la caldera.

La unidad andesita-piroclasto (Tpl A Pc) se designa como andesitas basálticas, andesitas y depósitos piroclásticos de composición félsica en su mayoría compuestos por pómez de tonos amarillos; de estructura masiva y en partes fluidal, con fracturamiento en forma de lajas intercaladas con depósitos piroclásticos de caída libre. Estas rocas pertenecen al volcanismo del CVM y localmente se considera como un vulcanismo post-ignimbrítico, el cual formó el anillo de la caldera de Huichapan.

La unidad dacita-riolita (Tpl Da R) hace referencia a domos de composición félsica en la parte central de la caldera de Huichapan, consiste en rocas lávicas de composición que varían de andesítica a riolítica en el cerro Hualtepec y de composición riolítica en el cerro Gexca (ambos ubicados en la porción sureste de Huichapan), principalmente se observa una textura porfídica y en menor proporción afanítica. Estas rocas pertenecen al vulcanismo del CVM y solo localmente consideradas como domos resurgentes o intra-caldera y representan la etapa final del vulcanismo asociado a la caldera Huichapan.

Post-caldera.

La unidad lacustre (Tpl la) es un depósito de conglomerado y gravas de talud principalmente originados por la erosión y desintegración de los domos Hualtepec y Gexca, los fragmentos son subangulosos a subredondeados dispuestos en una matriz arenosa. Se considera que esta unidad se comenzó a depositar a partir de la formación de la caldera debido a procesos vulcano-sedimentarios de relleno en una cuenca cerrada, instalada en la estructura interna de la caldera de Huichapan, generando una planicie de inundación.

La unidad basalto-andesita (Tpl B-A) son derrames de lava de composición máfica e intermedia, representadas por rocas basálticas y andesíticas con texturas que varían entre afanítica, vesicular y porfídica. La expulsión de estas rocas edificó el aparato volcánico conformado por los cerros Nopala y las Cruces. Esta unidad se puede asociar a eventos volcánicos del CVM, localmente corresponde a emisiones lávicas post-caldera emplazadas a través de un volcán monogenético.

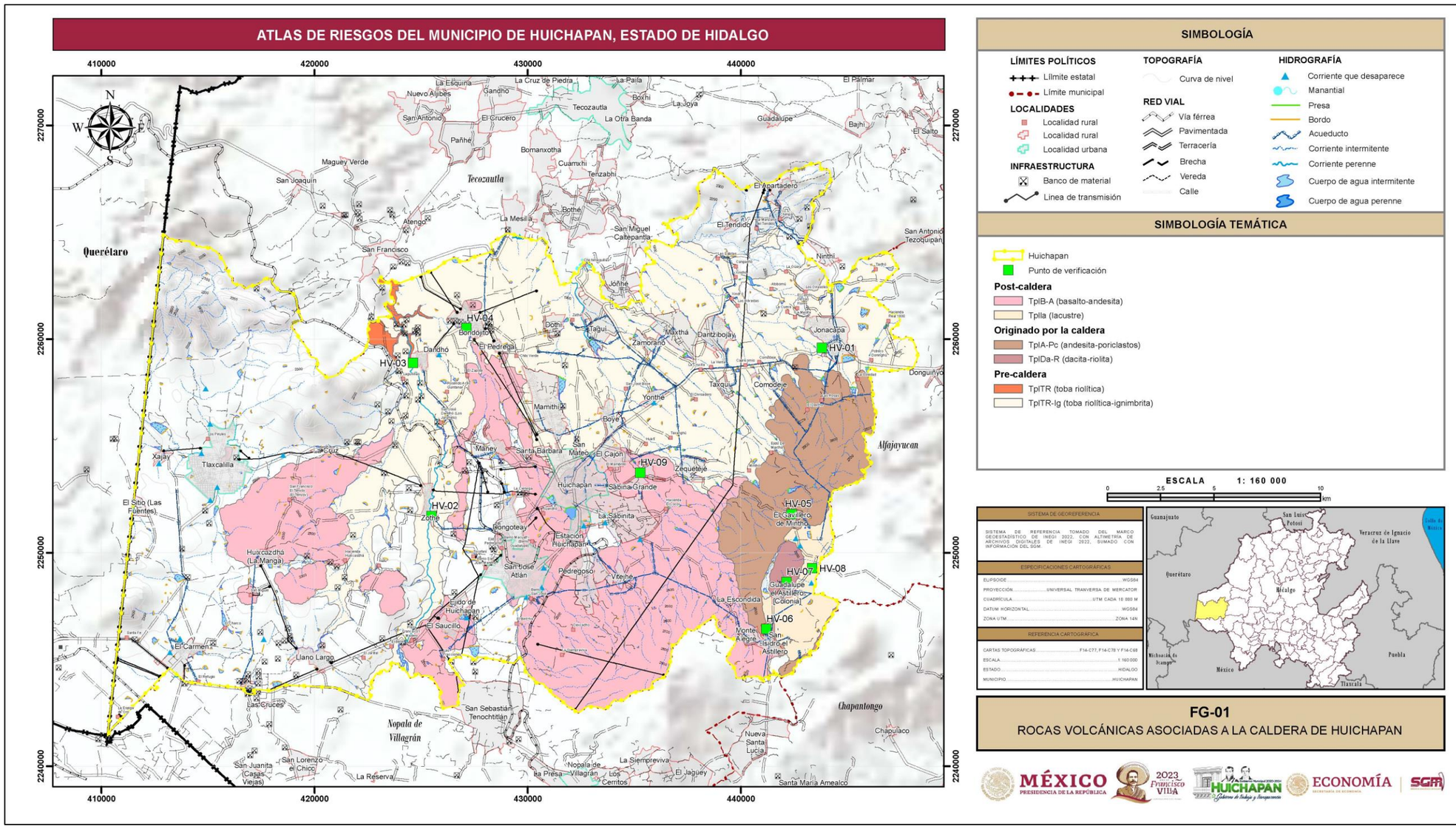


Figura II.1.1.1 *Rocas volcánicas asociadas a la caldera de Huichapan.*

Método de trabajo

El método de trabajo para determinar zonas susceptibles al peligro y riesgo por vulcanismo, incluye un análisis de la información disponible relacionada a la actividad volcánica, de la información de las cartas geológico mineras escala 1:50 000, interpretación geológica-estructural y verificación en campo de estructuras volcánicas.

Del análisis de la información obtenida en gabinete con el Sistema de Información Geográfica (SIG), se generan mapas de distribución por actividad volcánica en el municipio, con el objeto de relacionar la ubicación geográfica de los aparatos volcánicos que se encuentran en un radio de 100 kilómetros del municipio de Huichapan y que se consideran activos. Esta distancia se consideró al tomar como referencia los rangos de peligrosidad que se han establecido en la elaboración de mapas de peligros volcánicos de la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgo del CENAPRED (2006) (**Figura II.1.1.2)**

Figura II.1.1.2 *Método de trabajo vulcanismo.*
Fuente: *Elaboración propia a partir de información del CENAPRED.*

Análisis de la información

Para determinar el grado de peligro volcánico, se considera el Índice de Explosividad Volcánica (IEV), que actualmente es una de las formas más aceptadas para cuantificar las erupciones explosivas (este índice no es válido para las erupciones efusivas). Esta escala fue definida por Newhall y Self, toma en cuenta diversas características de una erupción como son: el volumen del magma emitido, la energía térmica liberada, el alcance de los productos fragmentados, el grado de destrucción causada, la altura de la columna eruptiva y la duración de la erupción (CENAPRED, 2006). La **Tabla II.1.1.1** muestra la escala del IEV en términos de algunos de los parámetros eruptivos relevantes.

Tabla II.1.1.1 *Índice de Explosividad Volcánica*

IEV	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderada	Moderada a grande	Grande	Muy grande	---	---	---
Volumen emitido (m^3)	<10,000	10,000 - 1,000,000	Uno a diez millones	Diez a cien millones	Cien a mil millones	Uno a diez km^3	Diez a cien km^3	Cien a mil a km^3	Más de 1,000 km^3
Altura de la columna (km)	0,1	0,1-1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	Más de 25	---	---	---
Duración en horas	-1	-1	1 - 6	1 - 6	1 - 12	6 - 12	Más 12	---	---
Inyección a la tropósfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	---	---	---	---
Inyección a la estratósfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	Grande	---	---

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2006.

Para categorizar el grado de peligro por vulcanismo, se utiliza el IEV, se incluyen criterios relacionados con sus tasas eruptivas y con las magnitudes que han sido capaces de producir. La tasa de erupción promedio en México durante los últimos 500 años han sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo. La mayoría de esas erupciones han sido de magnitudes bajas, otras han sido destructivas en grado moderado (CENAPRED, 2006).

De acuerdo a los criterios señalados en la metodología del CENAPRED (2006) se describen los peligros volcánicos en relación a las magnitudes y a las tasas eruptivas en un tiempo no mayor a 10,000 años (**Tabla II.1.1.2**).

Tabla II.1.1.2 *Categorización de peligro volcánico.*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	PELIGRO
1	*Volcanes que hayan producido erupciones con un IEV igual o mayor a 3 con un tiempo medido de recurrencia de 500 años o menos, o que hayan producido al menos una erupción con IEV de 3 o mayor en los últimos 500 años.*	*Alto*
2	*Volcanes que hayan producido erupciones con IEV igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 500 pero menor que 2,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con IVE 3 o mayor en los últimos 500 a 2,000 años.*	*Medio*
3	*volcanes que hayan producido erupciones con IEV igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 2,000 pero menor a 10,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con IEV de 3 o mayor en los últimos 2,000 a 10,000 años.*	*Moderado*
4	*Volcanes que hayan producido erupciones con IEV mayor a 4 con un tiempo de recurrencia mayor a 10,000 años o que hayan producido al menos una erupción con IEV mayor a 4 en los últimos 100,000 años.*	*Latente*
5	*Volcanes que hayan producido erupciones con IEV igual o mayor que 3, con un tiempo medio de recurrencia indeterminado (esto es, que solo exista un dato), o que hayan producido al menos una erupción con IEV 3 en algún momento de su historia Holocénica (últimos 10,000 años).*	*Indefinido*

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2006.

En México existen 17 volcanes considerados de categoría uno a tres (peligro alto-medio-moderado); cinco de categoría 4 (peligro latente); dieciocho de categoría 5 (peligro indefinido) y trece con información insuficiente, la probabilidad de que un volcán de este tipo se reactive de manera abrupta e inicie su actividad con erupciones intensas sin una evolución previa es virtualmente nula (CENAPRED, 2006). En la **Tabla II.1.1.3** se enlistan los volcanes y campos volcánicos, así como su ubicación en coordenadas geográficas y en la **Figura II.1.1.3** se aprecia la distribución en el país.

Tabla II.1.1.3 *Volcanes y campos volcánicos cuaternarios de México.*

NOMBRE	CATEGORÍA	LATITUD N	LONGITUD W
ISLA SAN LUIS	5	29° 58' 24.492"	114° 24' 25.775"
JARAGUAY	5	29° 19' 47.998"	114° 29' 59.991"
CERRO PRIETO	Información Insuficiente	32° 25' 04.998"	115° 18' 28.990"
SAN QUINTÍN	Información Insuficiente	30° 26' 00.006"	115° 58' 00.990"
CERRO LEÓN	Información Insuficiente	31° 32' 59.989"	116° 03' 35.991"
TRES VÍRGENES	1-2-3	27° 28' 12.012"	112° 35' 29.986"
BÁRCENA	1-2-3	19° 18' 28.999"	110° 48' 23.986"
AGÜAJITO	5	27° 36' 00.007"	112° 31' 48.015"
LA REFORMA	5	27° 30' 28.786"	112° 23' 31.187"
PINACATE	5	31° 46' 00.000"	113° 28' 59.990"
SAN BORJA	5	28° 30' 00.003"	113° 44' 59.989"
SOCORRO	5	18° 46' 48.001"	110° 57' 00.013"
CORONADO	Información Insuficiente	29° 04' 47.995"	113° 30' 36.004"
ISLA TORTUGA	Información Insuficiente	27° 26' 41.998"	111° 52' 50.985"
COMONDÚ-LA PURÍSIMA	Información Insuficiente	26° 00' 00.003"	111° 55' 12.003"
CEBORRUCO	1-2-3	21° 07' 30.007"	104° 30' 30.005"
COLIMA	1-2-3	19° 30' 40.992"	103° 37' 05.014"
PARICUTÍN	1-2-3	19° 29' 34.987"	102° 15' 04.003"
SAN JUAN	4	21° 29' 40.998"	104° 55' 54.005"
LA PRIMAVERA	4	20° 37' 59.248"	103° 33' 35.381"
CÁNTARO-CERRO GRANDE	5	19° 43' 11.992"	103° 37' 48.017"
DURANGO	5	25° 09' 00.000"	104° 27' 00.011"
LAS NAVAJAS	5	21° 31' 47.999"	104° 43' 12.006"
SANTO DOMINGO	5	24° 17' 09.238"	104° 32' 05.217"
TEPETILTIC	5	21° 15' 36.015"	104° 42' 00.015"
TEQUILA	5	20° 47' 17.915"	103° 50' 40.421"
SANTA MARÍA DEL ORO	Información Insuficiente	21° 22' 08.305"	104° 34' 09.324"
MASCOTA	Información Insuficiente	20° 37' 11.994"	104° 49' 48.009"
JORULLO	1-2-3	18° 58' 18.987"	101° 43' 04.993"
XOCOTITLÁN	1-2-3	19° 44' 17.006"	099° 45' 31.999"
NEVADO DE TOLUCA	1-2-3	19° 06' 06.011"	099° 46' 02.999"
POPOCATÉPETL	1-2-3	19° 01' 20.005"	098° 37' 07.001"
MALINCHE	1-2-3	19° 13' 50.996"	098° 01' 55.008"
XITLE	1-2-3	19° 12' 26.993"	099° 15' 29.015"
SERDÁN-ORIENTAL	1-2-3	19° 17' 07.907"	097° 27' 26.536"
PICO DE ORIZABA	1-2-3	19° 01' 47.988"	097° 16' 11.986"
CAMPO NAOLINCO	1-2-3	19° 40' 12.006"	096° 44' 59.985"
ZITÁCUARO	4	19° 24' 00.000"	100° 15' 00.001"
LOS AZUFRES	4	19° 47' 31.907"	100° 39' 42.484"
LOS HUMEROS	4	19° 40' 47.993"	097° 25' 47.985"
ACOCULCO	5	19° 49' 59.420"	098° 08' 55.403"
COFRE DE PEROTE	5	19° 29' 29.654"	097° 09' 00.851"
IZTACCÍHUATL	5	19° 10' 44.987"	098° 38' 35.999"
PAPAYO	Información Insuficiente	19° 18' 00.013"	098° 42' 00.002"
LA GLORIA	Información Insuficiente	19° 08' 48.000"	097° 15' 00.000"
LOS ATLIXCOS	Información Insuficiente	19° 48' 35.997"	096° 31' 47.988"
APAN-TEZONTEPEC	Información Insuficiente	19° 45' 00.002"	098° 30' 00.007"
SAN MARTÍN TUXTLA	1-2-3	18° 33' 00.003"	095° 12' 00.003"
EL CHICHONAL	1-2-3	17° 21' 35.997"	093° 13' 40.010"
TACANÁ	1-2-3	15° 07' 57.011"	092° 06' 31.002"
SAN MARTÍN PAJAPAN	5	18° 18' 24.586"	094° 43' 52.480"
ISLA ISABEL	Información Insuficiente	21° 50' 47.350"	105° 52' 59.274"

Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2006.

Se realizó un análisis de todos aquellos aparatos volcánicos activos dentro de un radio de 100 km para identificar aquellos que pudieran afectar al municipio de Huichapan, el mapa indica que los volcanes Xocotitlán y Los Azufres se encuentran dentro del radio de análisis, los cuales se encuentran categorizados en un peligro alto-medio-moderado y latente respectivamente (**Figura II.1.1.4**).

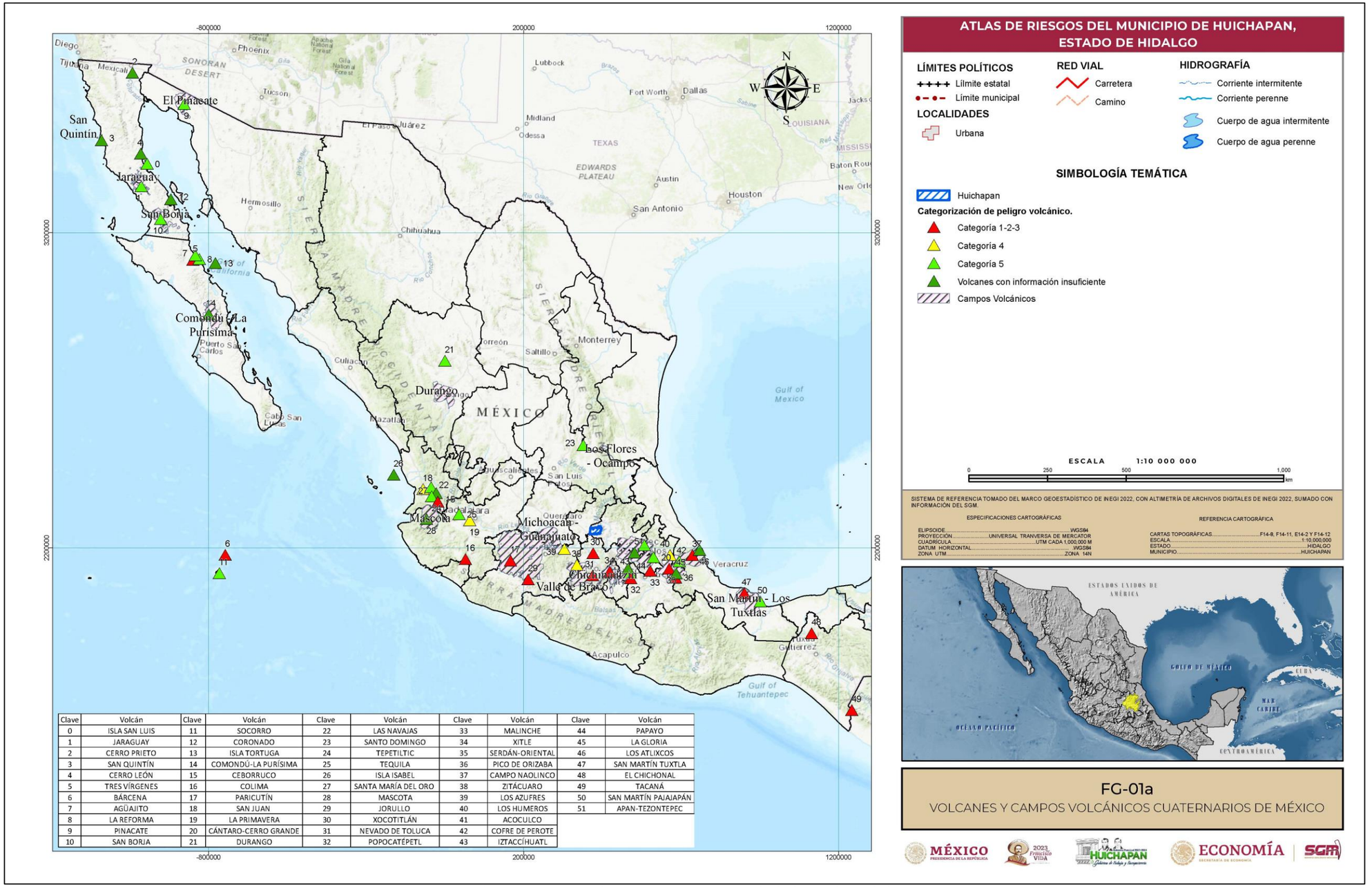


Figura II.1.1.3 *Volcanes y campos volcánicos de México.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

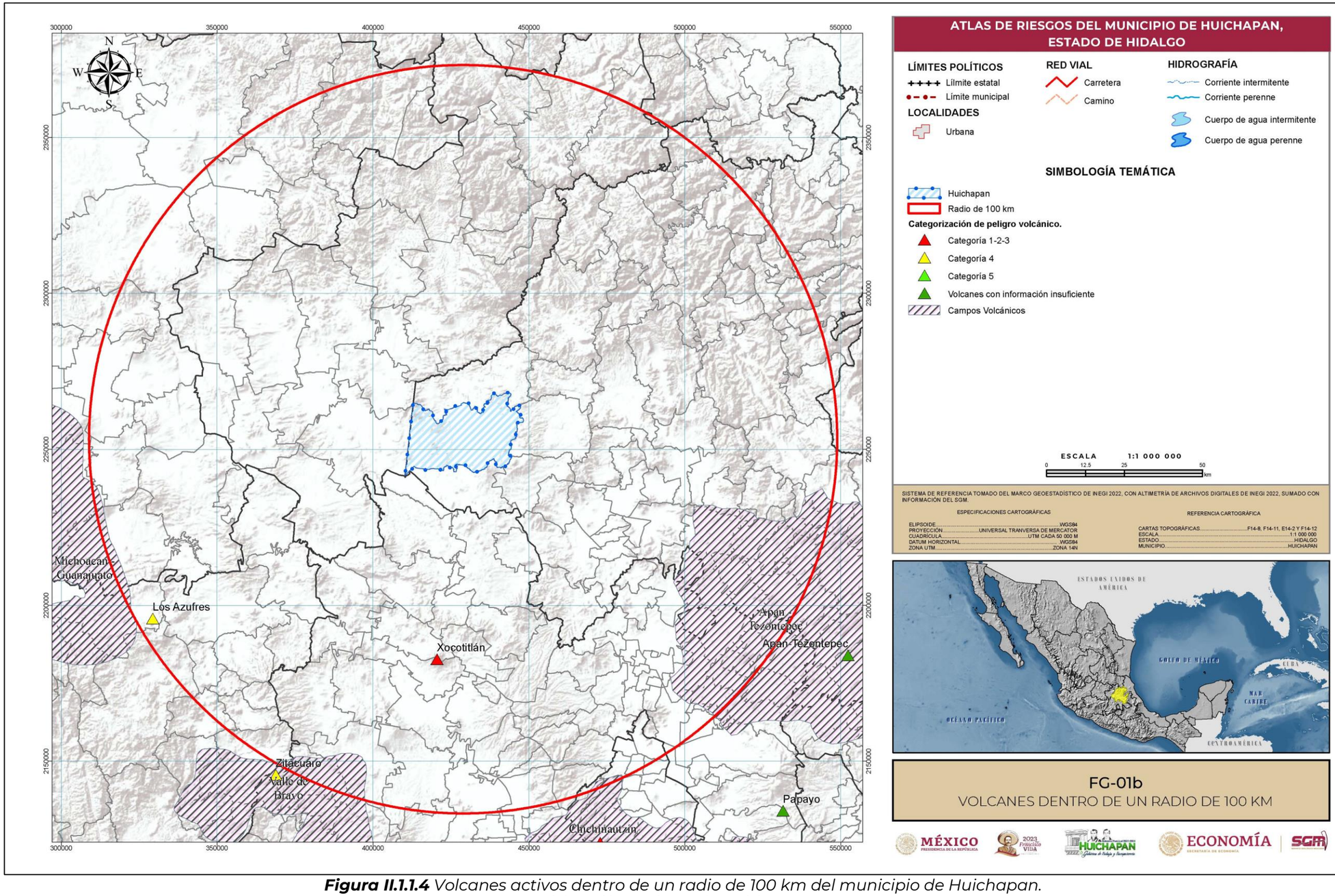


Figura II.1.1.4 *Volcanes activos dentro de un radio de 100 km del municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

Volcán Xocotitlán

El volcán Xocotitlán es un estratovolcán tiene una altitud de 3 900 msnm, forma parte del CVM y está ubicado a 70 km en línea recta al sur de Huichapan, 50 km al norte de la ciudad de Toluca y 75 km al noroeste de la Ciudad de México. Se encuentra en el límite de los sectores central y oriental del CVM, cercano a otras estructuras volcánicas importantes como el Nevado de Toluca y la caldera de Amealco.

La actividad del volcán Xocotitlán presenta periodos de actividad efusiva que finalizaron con una importante actividad explosiva. Las etapas eruptivas del volcán han sido divididas de acuerdo a tres importantes episodios eruptivos (Salinas, 2013):

Xocotitlán temprano, inicia el desarrollo del volcán el cual produjo al menos una erupción de tipo pliniano. Este primer edificio fue destruido parcialmente por un colapso que emplazó un depósito de avalancha de escombros, posteriormente se construyó un edificio principal a partir de profusa actividad efusiva de lavas de composición andesítica rica en sílice.

Xocotitlán medio, la mayor parte del edificio inferior se construyó durante este periodo que terminó con la erupción freatopliniana datada en 27.7 miles de años y que modificó por completo la morfología del volcán ya que produjo un gran cráter en la cima que posteriormente fue ocupado por un gran domo dacítico. El domo colapsó hacia el norte y produjo un depósito de avalancha de escombros, así como oleadas y flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

Xocotitlán reciente, Después de intermitente actividad efusiva que formó los domos laterales y el edificio superior el volcán estuvo en calma hasta hace 10 mil años. La actividad más reciente comprende el emplazamiento de un depósito de avalancha de escombros junto con su posterior actividad explosiva, misma que produjo un depósito de caída de pómez. En la cima se observan depósitos de caída y flujos de lava que pueden definir el término de su actividad.

Cada uno de estos episodios eruptivos ha modificado significativamente la morfología del edificio. Los periodos no marcan cambios importantes en el estilo eruptivo, pero si se observan variaciones sutiles en cuanto a la composición geoquímica (dacita-andesita-dacita).

Los Azufres

El Campo Volcánico Los Azufres (CVLA) es un alto topográfico a 3 000 m s. n. m., se localiza en la parte central del CVM, a 95 km en línea recta al suroeste de Huichapan, a 55 km al este de Morelia y a 165 km de la Ciudad de México. Está conformado por un conjunto de estructuras volcánicas de composición dominantemente riolítica, con algunos productos adesítico basálticos, andesíticos y dacíticos. Arce et al. (2021) mencionan que esta gran diversidad composicional sugiere procesos diversos de evolución magmática, como cristalización fraccionada, asimilación cortical, mezcla de magmas entre otros.

La evolución vulcanológica de Los Azufres se define en siete secuencias volcánicas, estas unidades son (Arce et al., 2021):

Secuencia volcánica Mil Cumbres, esta secuencia se encuentra al suroeste del CVLA y son producto de la formación de varias estructuras tipo caldera, que originaron secuencias piroclásticas complejas, intercaladas con flujos de lava de composición máfica y silícica.

Complejo Volcánico Pacuato, aflora al sur del CVLA y consta de brechas volcánicas andesíticas e ignimbriticas.

Secuencia de Santa Inés, ubicada al norte del CVLA, está representada por una estructura semicircular definida como el remanente norte de la caldera de Los Azufres. Está constituida por una secuencia de igninmbritas y lavas andesíticas-dacíticas.

Secuencia volcánica El Fraile, consta de un complejo de domos endógenos de composición dacítica, así como de depósitos de avalancha de escombros.

Al noroeste del CVLA están expuestos depósitos lacustres y fluvio-lacustres asociados a la Cuenca del lago de Cuitzeo.

Finalmente, se encuentran las rocas del Campo Volcánico de los Azufres, representadas por una diversidad de tipos de estructuras volcánicas y litológicas de distinta composición divididas en cuatro diferentes unidades con base en su composición química y mineralógica: Unidad Andesítico-Basáltica, Unidad Andesítica, Unidad Dacítica y Unidad Riolítica, esta última subdividida en Riolitas Agua Fría y Riolitas Yerbabuena.

Contemporáneamente al oriente y dentro del CVLA, se encuentran productos de vulcanismo monogenético de composición dominantemente máfica. También al poniente y norponiente se encuentran flujos de lava y conos de escoria asociados con el vulcanismo del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato. Estas rocas tienen una composición andesítica basáltica y andesítica.

Amenaza por vulcanismo

Es importante evaluar las amenazas que pudieran originar los volcanes dentro del radio de análisis para el municipio de Huichapan, para ello se realizó un mapa para cada tipo de amenaza, tomando como referencia los parámetros de las propiedades físicas (**Tabla II.1.1.4**) establecidas en la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos del CENAPRED (2006).

Tabla II.1.1.4 *Propiedades físicas estimadas para amenazas volcánicas.*

Amenaza	Distancia hasta las cuales se han experimentado efectos		Área afectada		Velocidad		Temperatura °c
	Promedio (km)	Máximo (km)	Promedio (km)	Máximo (km)	Promedio (km)	Máximo (km)	
Caída de Cenizas	20-30	> 800	100	> 100,000	15	30	Usualmente la del medio ambiente
Proyectiles Balísticos	2	15	10	80	50-10	100	1000
Flujos piroclásticos	10	100	5-20	10,000	20-30	100	600-800
Lahares	10	300	5-20	200-300	3-10	>30	100
Flujos de Lava	3-4	> 100	2	> 1,000	5	30	700-1150
Ondas de Choque	10-15	> 800	1,000	> 100,000	300	500	Medio ambiente
Lluvia ácida y gases	20-30	> 2,000	100	20,000	15	30	Medio ambiente

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2006.

Cenizas Volcánicas

Las cenizas volcánicas son la lava que ha sido molida y convertida en polvo o arena por erupciones volcánicas. Durante una explosión, los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, solo la ceniza más fina es arrastrada por el viento a grandes distancias que varían de cientos hasta miles de kilómetros y pueden afectar áreas muy extensas y a un gran número de personas (CENAPRED, 2006). De acuerdo con las propiedades físicas que se especifican en la tabla anterior se realizó una zonificación de 20 km y 30 km para cada uno de los aparatos volcánicos.

Es el fenómeno volcánico que en un momento dado podría afectar a las personas que radican a mayor distancia de un volcán, cubriendo casas y bloqueando los sistemas de comunicación y en caso de que la caída de cenizas es abundante, su peso podría originar el colapso de los techos de las viviendas, además de afectar la respiración de las personas durante su caída, sin embargo, el municipio de Huichapan no se vería afectada por caída de cenizas, aún si el volcán Xocotitlán o Los Azufres tuvieran un evento eruptivo (**Figura II.1.1.5**).

Proyectiles balísticos

Los proyectiles balísticos abandonan el cráter a velocidades de entre decenas a centenas de metros por segundos y siguen trayectorias que no son afectadas por la dinámica de la columna eruptiva por el viento. El radio de afectación para el mapa de amenaza es el establecido en la tabla anterior es de 2 km (**Figura II.1.1.6**).

Debido a que los aparatos volcánicos de Xocotitlán y Los Azufres se encuentran aproximadamente a 71 y 95 kilómetros respectivamente del municipio de Huichapan, la amenaza por proyectiles balísticos es nula.

Flujos piroclásticos

Son uno de los fenómenos más destructivos que se pueden presentar en un volcán en actividad. Los flujos piroclásticos son mezclas calientes de gases, cenizas y fragmentos de roca que descienden por los flancos del volcán a velocidades de hasta más de 100 km por hora, con temperaturas por lo general arriba de 100° C. La parte inferior y más densa del flujo se arrastra por el fondo de las barrancas y los valles, mientras que la parte superior, menos densa, puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre el fondo de los valles e inclusive sobrepasar relieves topográficos importantes (CENAPRED, 2006). Para la elaboración del mapa de amenaza se utilizó el radio de afectación promedio de 10 km (**Figura II.1.1.7**).

Este tipo de eventos es muy común en volcanes con erupciones violentas, estos flujos pueden seguir fácilmente el curso de los valles, cauces y barrancas y son capaces de derribar todo en su camino. Para el municipio de Huichapan la amenaza por flujos piroclásticos es nula.

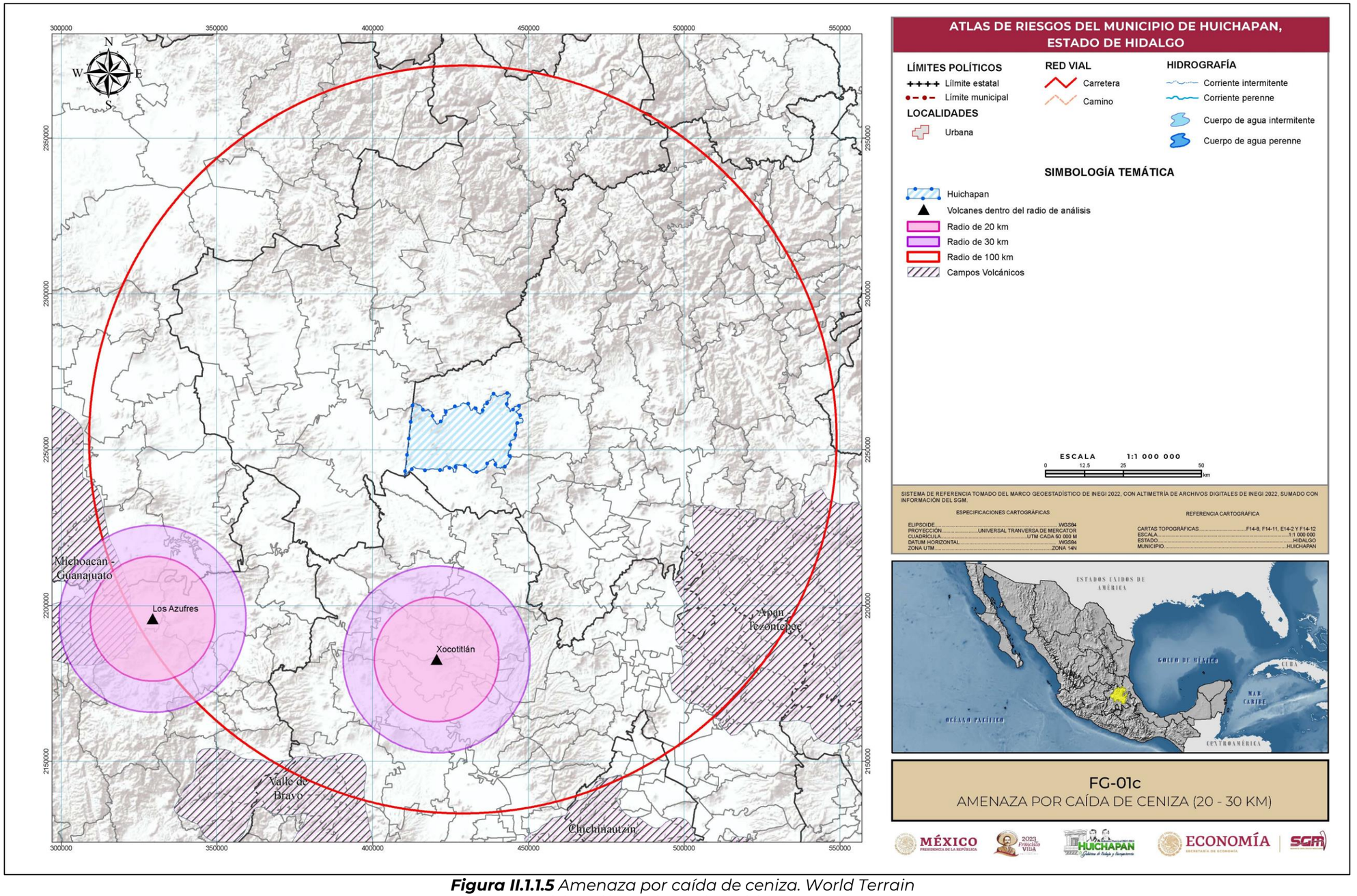


Figura II.1.1.5 *Amenaza por caída de ceniza. World Terrain*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

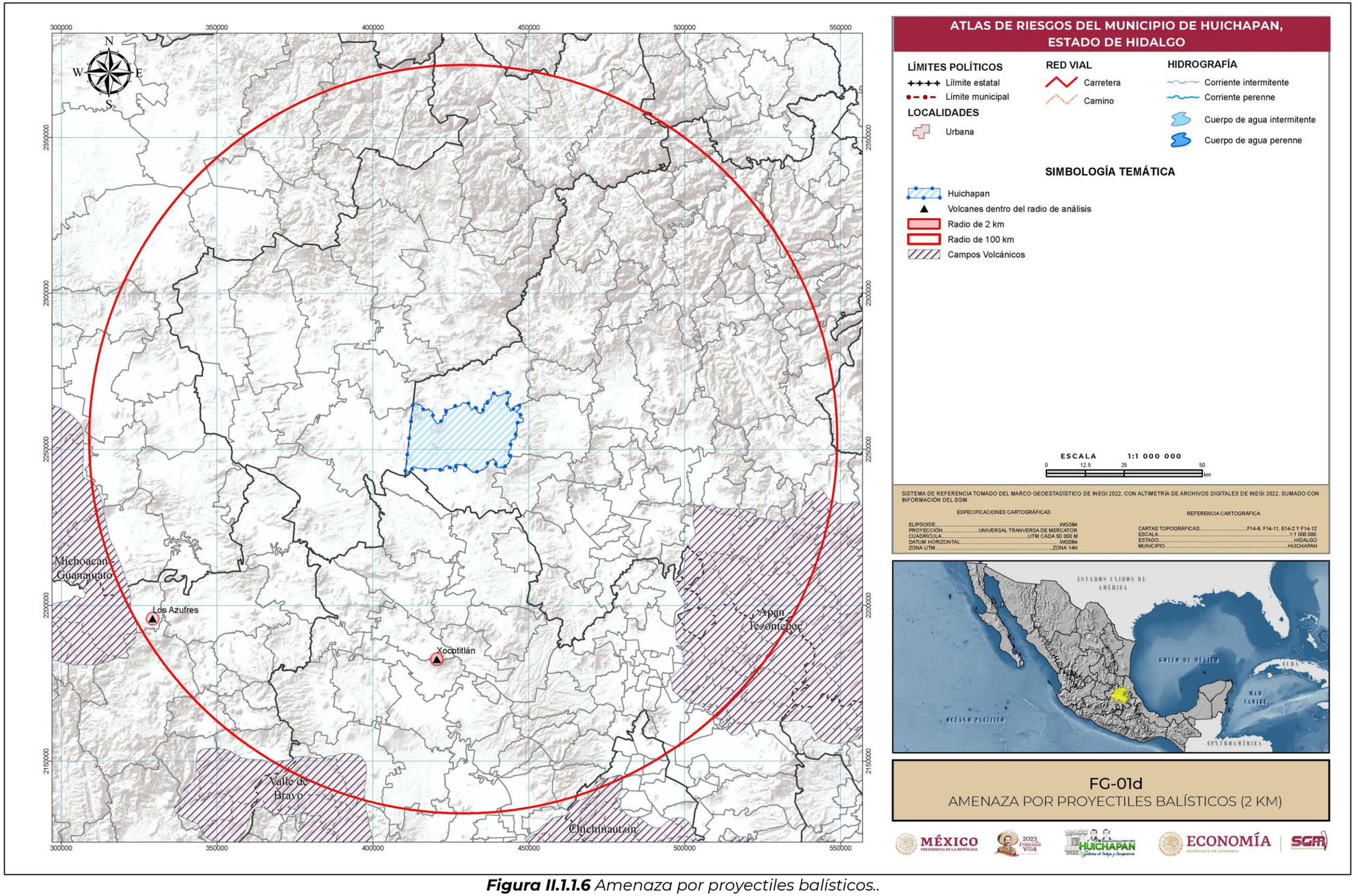


Figura II.1.1.6 *Amenaza por proyectiles balísticos..*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

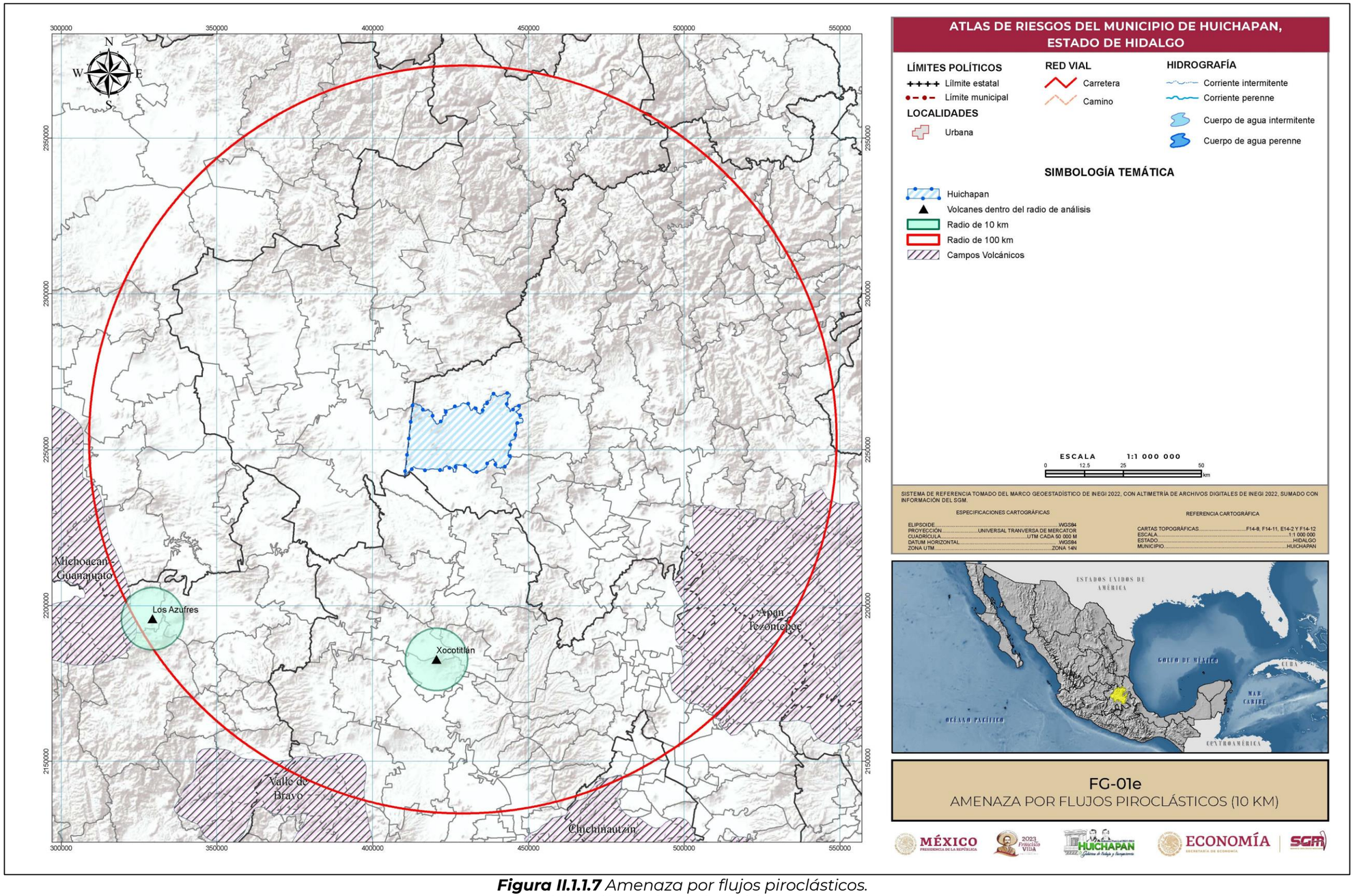


Figura II.1.1.7 *Amenaza por flujos piroclásticos.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

Lahar o flujos de lodo

Los lahares comprenden una mezcla de materiales volcánicos (rocas, cenizas, pómez, escoria), mayoritariamente cenizas movilizadas por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar de un lago formado en la caldera de un volcán o por fuertes lluvias.

El agua se mezcla con el material volcánico que se encuentra en su camino y se transforma rápidamente en un flujo muy móvil con características similares al concreto utilizado en la industria de la construcción. Dada la densidad de esta mezcla los flujos pueden transportar grandes bloques de roca (de hasta varios metros de diámetro) y otros objetos como puentes, casas, árboles y vehículos. Son fenómenos muy destructivos que pueden recorrer distancias muy grandes pudiendo superar fácilmente los 100 km, se han observado velocidades de 40 a 100 km/h en lahares históricos (CENAPRED, 2006). En la **Figura II.1.1.8** se representa la distancia promedio registrada (10 km) donde se han experimentado efectos por este tipo de amenaza.

Los lahares pueden ocurrir durante una erupción o incluso cuando el volcán está tranquilo. El agua que crea los lahares puede provenir de lluvias intensas o del rompimiento de un lago situado en un cráter elevado o descongelamiento de la nieve. Los lahares de gran magnitud son un peligro potencial para muchas comunidades ubicadas en las laderas o partes bajas de los volcanes. Con base al análisis realizado y tomando en cuenta la distancia promedio de afectación para este tipo de amenaza, el municipio de Huichapan queda exento de ser afectado ante un posible evento del volcán Xocotitlán o Los Azufres.

Flujos o coladas de lava y domos

Es la manifestación volcánica más conocida y presentan poco peligro para las personas. Los flujos de lava son derrames de roca fundida, originados en un cráter o en fracturas de los flancos del volcán, que descienden por los flancos y las barrancas del mismo a bajas velocidades. La lava avanza a bajas velocidades y disminuye conforme se enfría hasta avanzar sólo unos pocos metros por hora o por día. Estos flujos generan daño parcial o la destrucción total a las construcciones por enterramiento, trituración o incendio. Los domos de lava actúan en ocasiones como “tapones” que dificultan la liberación de gases desde el interior del volcán dando lugar a explosiones que pueden producir flujos piroclásticos (CENAPRED, 2006). En el mapa de amenazas se considera la distancia promedio de entre 3 y 4 km de la tabla de propiedades físicas estimadas para amenazas volcánicas (**Figura II.1.1.9).**

Dadas las velocidades de los flujos de lava, que se consideran bajas, estas raras veces constituyen una amenaza para la vida humana, aunque hay circunstancias excepcionales. La mayor amenaza lo representa el daño o destrucción total por trituración o incendios de todo lo que encuentra a su paso. No existe amenaza por flujos o coladas de lava para el municipio de Huichapan.

Ondas de presión o de choque

Se originan durante las erupciones explosivas debido al rápido movimiento del material, su energía disminuye con la distancia desde su centro de emisión, pero pueden llegar a tener la energía suficiente para causar daños a distancias mayores de 10 km del volcán, especialmente rotura de cristales y heridas al proyectarse éstos (CENAPRED, 2006). La distancia que se utilizó para el mapa de amenazas es de 10 y 15 km (**Figura II.1.1.10**).

Lluvia ácida y gases

Los volcanes emiten gases durante las erupciones, incluso si el volcán no está en erupción, las grietas del subsuelo facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas llamadas fumarolas. En ocasiones la liberación de los gases se produce en grandes cantidades. Más del 90 % de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, la cual en su mayoría es agua subterránea proveniente de lluvias y ríos (CENAPRED, 2006).

Los compuestos químicos disueltos en los gases reaccionan con el agua para formar ácidos venenosos, los cuales aún en concentraciones bajas son nocivos para la salud afectando los ojos, piel y el sistema respiratorio tanto de humanos y animales. El bióxido de azufre puede producir lluvia ácida, la cual ocasiona corrosión y daños a la vegetación. El bióxido de carbono es más pesado que el aire, por lo que puede asentarse o mantenerse en áreas bajas en concentraciones letales para la gente y los animales (CENAPRED, 2006). En el mapa para este tipo de amenaza se utilizó el rango promedio de 20 y 30 km (**Figura II.1.1.11**). De acuerdo a los radios de afectación establecidos el municipio de Huichapan no se encuentra expuesto a esta amenaza.

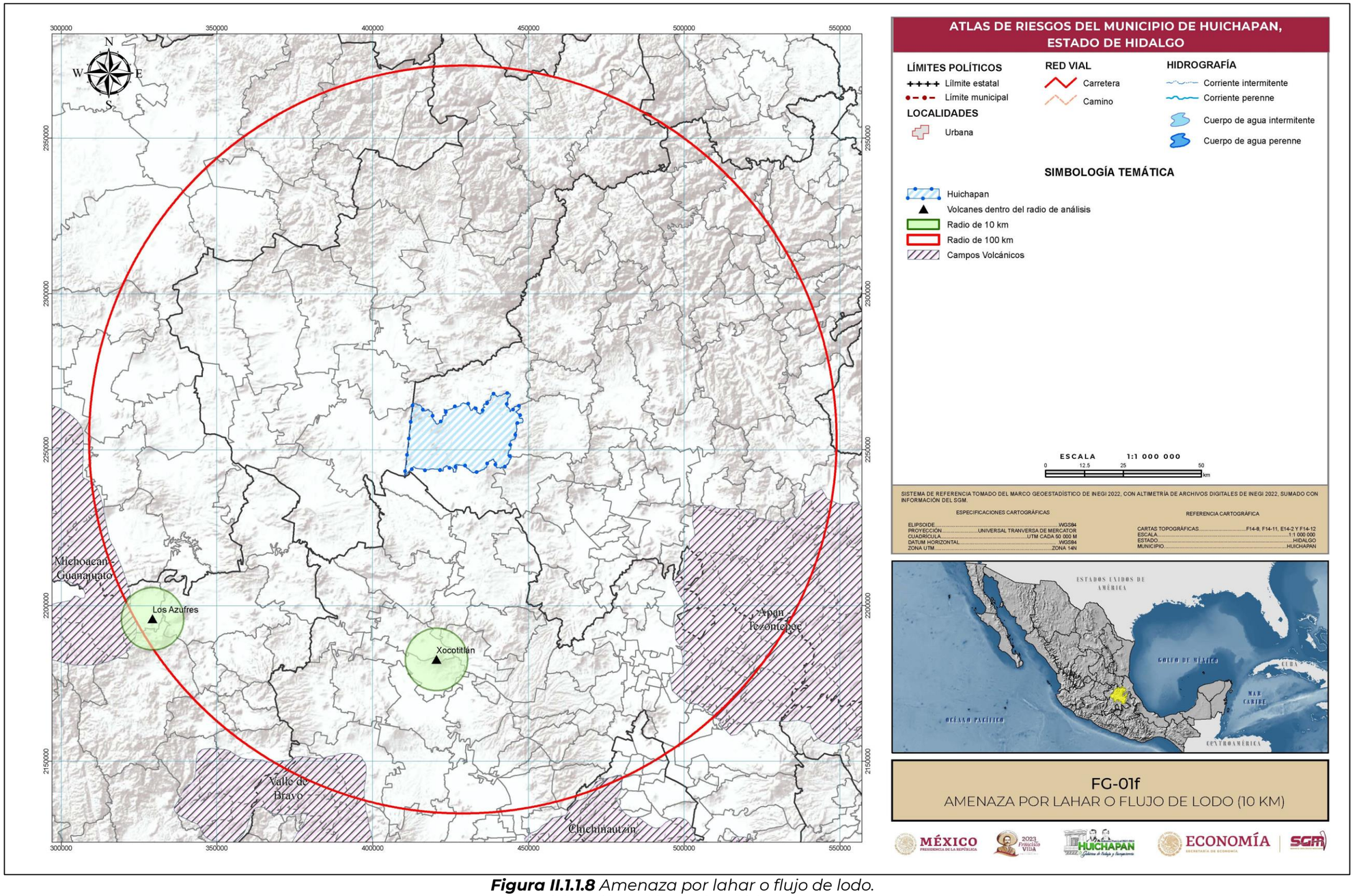


Figura II.1.1.8 *Amenaza por lahar o flujo de lodo.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

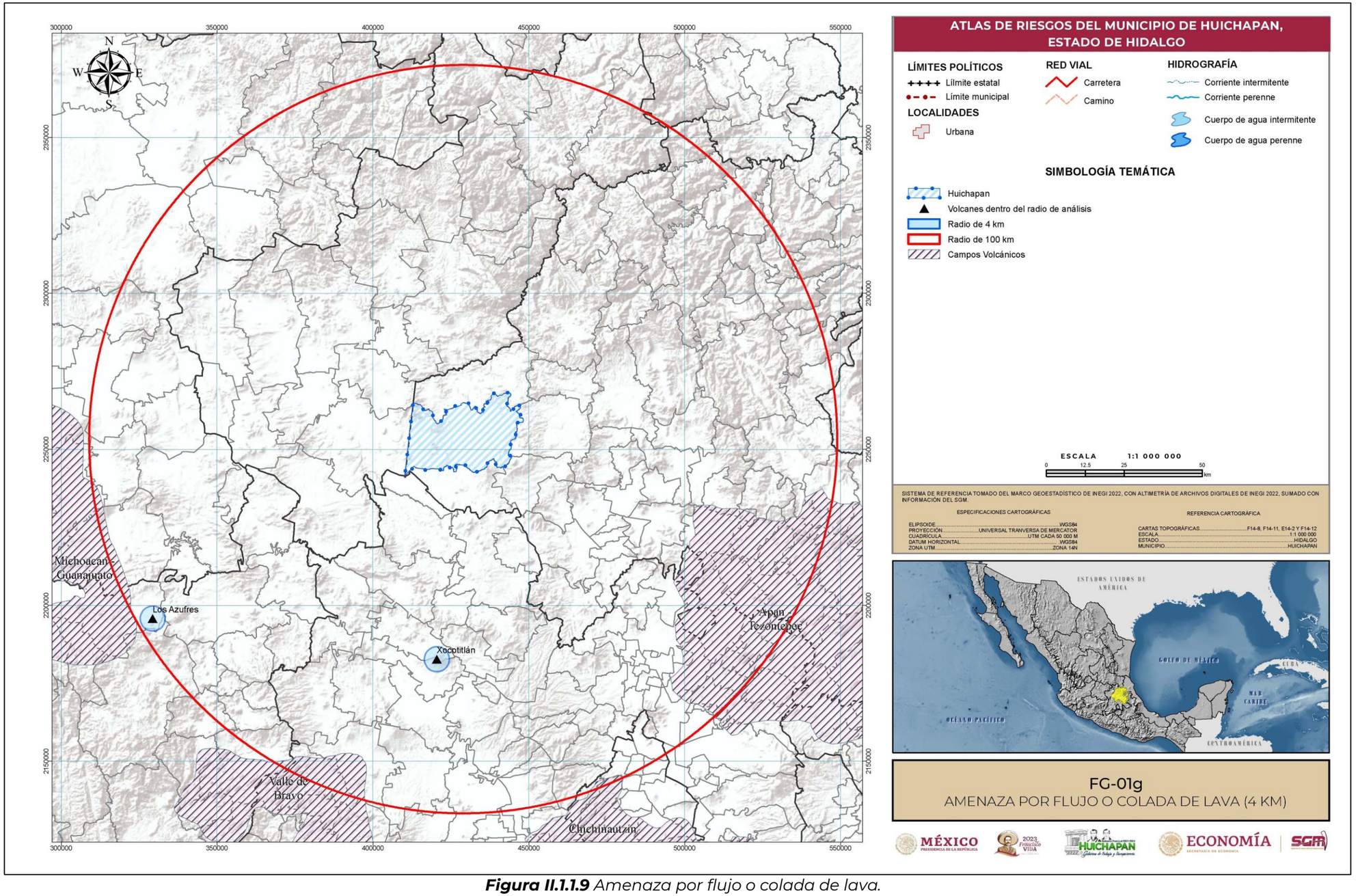


Figura II.1.1.9 *Amenaza por flujo o colada de lava.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

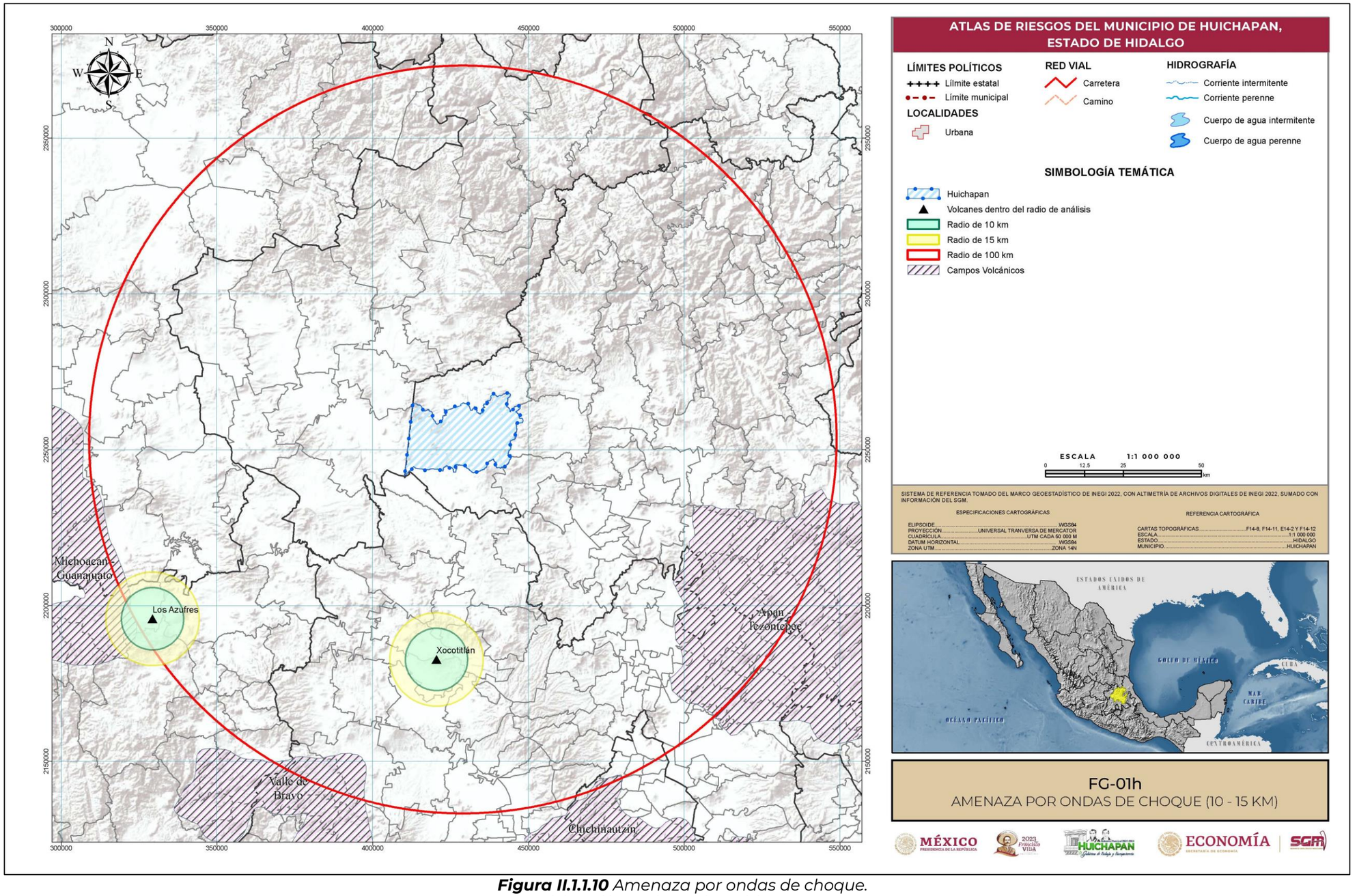


Figura II.1.1.10 *Amenaza por ondas de choque.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

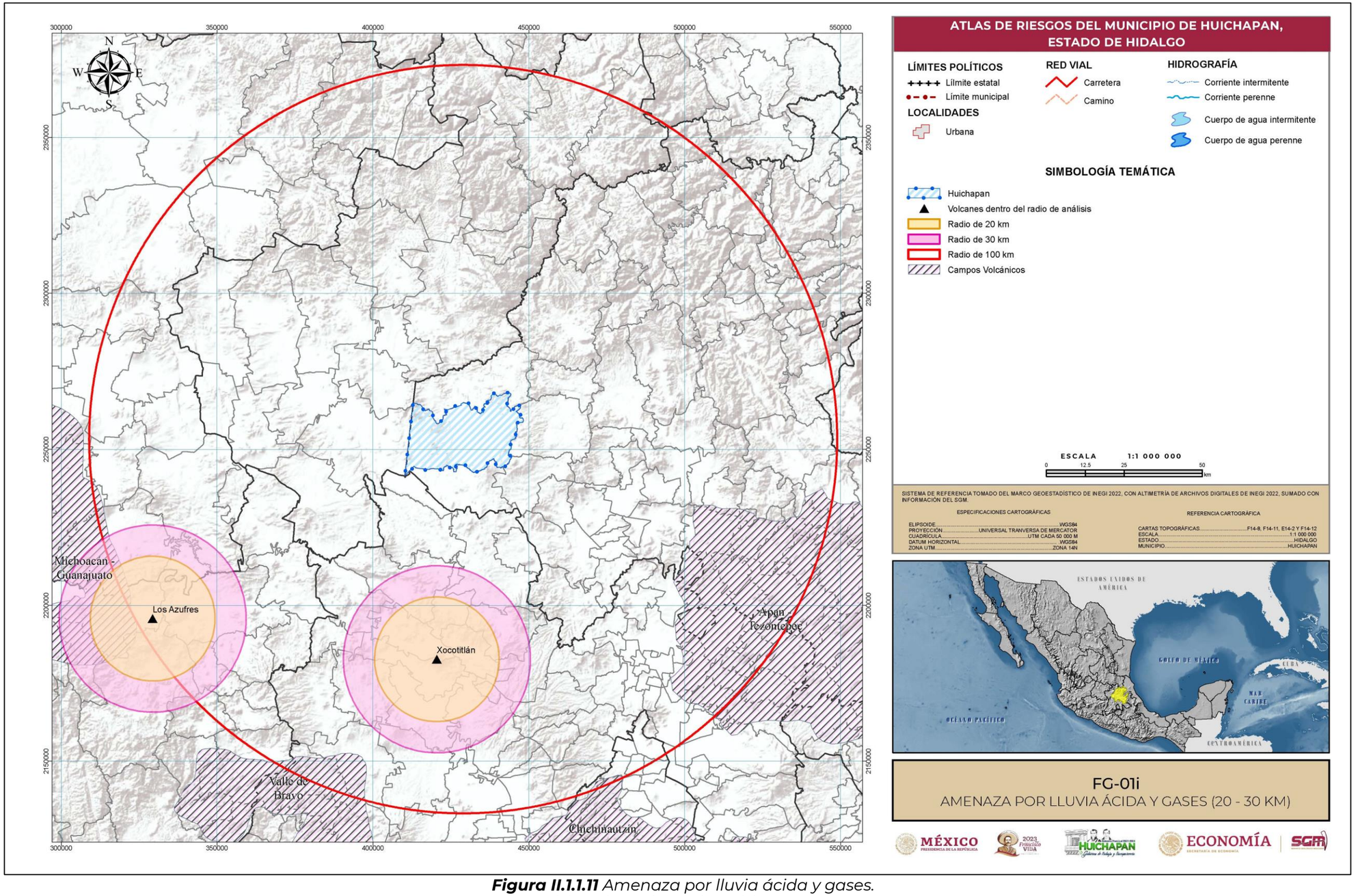


Figura II.1.1.11 *Amenaza por lluvia ácida y gases.*
Fuente: *Elaboracio propia con datos del CENAPRED, 2006.*

Trabajos de campo

Durante los trabajos de campo se recorrieron nueve puntos donde afloran las rocas volcánicas asociadas a la caldera de Huichapan los cuales se describen a continuación (**Figura II.1.1.1**).

En la parte norte y centro del municipio se encuentra distribuida la unidad Toba Huichapan (Tpl TR Ig), en la localidad de Jonacapa (HV-01) se observa un afloramiento de toba riolítica color rosa que intemperiza a tonos café y naranja, muestra una matriz compuesta de pómez y ceniza con abundantes líticos (**Fotografía II.1.1.1**); en la localidad de Zothé (HV-02) el afloramiento observado es una ignimbrita de color rosa claro que intemperiza a gris claro de estructura masiva (**Fotografía II.1.1.2**)

Fotografía II.1.1.1 *Afloramiento de toba riolítica en la localidad de Jonacapa.*

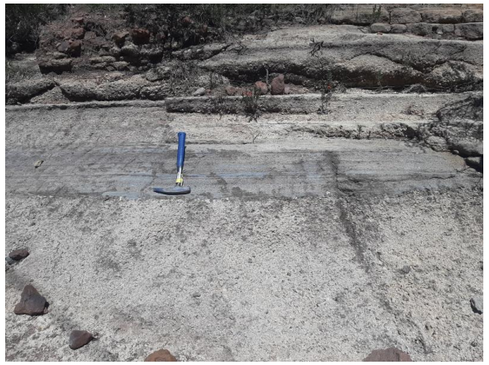
Fotografía II.1.1.2 *Afloramiento de ignimbrita en la localidad de Zothé.*

En la localidad de Dandó (HV-03) se observa una vista panorámica del afloramiento de roca ignimbritica de color gris claro que intemperiza a colores de tono café presenta estructura masiva y fracturamiento columnar (**Fotografía II.1.1.3**). En la localidad de Bondojito (HV-04) también se observa un afloramiento de esta unidad, en la **Fotografía II.1.1.4** se observa en detalle la ignimbrita la cual presenta abundantes líticos con tamaños variables de menos de 3 cm de diámetro.

Fotografía II.1.1.3 *Vista panorámica de ignimbrita en la localidad de Dandhó.*

Fotografía II.1.1.4 *Vista a detalle de roca ignimbrita en la localidad de Bondojito.*

En la parte este del municipio se encuentra la unidad andesita-piroclasto (Tpl A Pc), en la localidad de El Gavillero (HV-05) se observa un afloramiento de rocas piroclásticas de color negro a gris oscuro medianamente consolidada y bien seleccionado (**Fotografía II.1.1.5**).Al norte de la localidad de San Isidro el Astillero (HV-06) se localiza un afloramiento de roca andesita de color gris que intemperiza a colores rojizos (**Fotografía II.1.1.6**); en general esta unidad consiste en una intercalación de coladas de lava andesítica con secuencias piroclásticas.



Fotografía II.1.1.5 *Afloramiento de rocas piroclásticas en la localidad del Gavillero.*

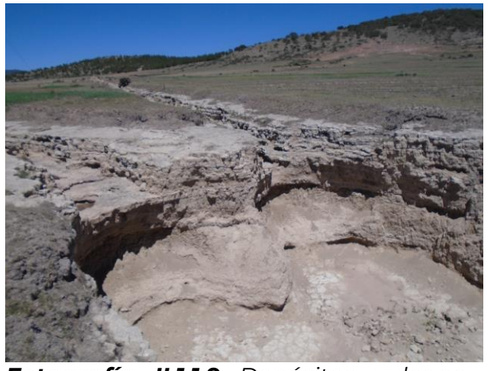
Fotografía II.1.1.6 *Afloramiento de roca andesita en la localidad de San Isidro el Astillero.*

La distribución de la unidad dacita-riolita (Tpl Da-R) se encuentra en la parte sureste del municipio de Huichapan y corresponde al cerro Gexca (HV-07), se observan rocas de toba riolítica color rosa claro que intemperiza a gris de textura predominantemente porfídica (**Fotografía II.1.1.7**). En la **Fotografía II.1.1.8** se observa la vista panorámica de los cerros Gexca y Hualtepec que conforman los domos de esta unidad, sin embargo, solo el cerro Gexca pertenece al municipio de Huichapan.

Fotografía II.1.1.7 *Afloramiento de toba riolítica en el cerro Gexca.*

Fotografía II.1.1.8 *Vista panorámica de los domos Gexca y Hualtepec.*

De igual forma en la porción sureste del municipio se encuentra la unidad lacustre (Tpl la), en el camino hacia el Gavillero desde Guadalupe el Astillero (HV-08) se observa un afloramiento de estos depósitos vulcano-sedimentarios de color café claro a gris en estratos de espesor variable, conformado por arenas finas y fragmentos líticos poco consolidado (**Fotografía II.1.1.9**).



Fotografía II.1.1.9 *Depósitos vulcano-sedimentarios en el camino hacia el Gavillero.*

Fotografía II.1.1.10 *Afloramiento de basalto-andesita en la localidad de Sabina Grande.*

Finalmente, la unidad basalto-andesita (Tpl B-A) se distribuye en la parte central y centro sur del municipio. En la localidad de Sabina Grande (HV-09) se observa un afloramiento de basalto-andesita color gris oscuro que intemperiza a tonos café de textura afanítica con estructura masiva-fluidal en forma de lajas (Fotografía II.1.1.10).

Conclusiones

El volcán Xocotitlán es la estructura volcánica más cercana al municipio de Huichapan, se localiza aproximadamente a 70 km al sur. Actualmente es considerada por el CENAPRED como un volcán de categoría 1-2-3 de peligro alto-medio-moderado ya que su tiempo medio de recurrencia de una erupción con IEV igual o mayor a 3 es de 500 hasta 10 000 años.

El Campo Volcánico Los Azufres es la segunda estructura volcánica más cercana al municipio, se localiza a 95 km al suroeste. Actualmente es considerada por el CENAPRED como un volcán categoría 4 de peligro latente ya que su tiempo medio de recurrencia de una erupción con IEV mayor a 4 es de más de 10 000 años

Con base en las distancias hasta las cuales se han experimentado efectos y que se especifican en la tabla de las propiedades físicas estimadas para determinar los radios de afectación por las amenazas de caída de ceniza, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, lahares o flujos de lodo, flujos o coladas de lava, lluvia ácida y ondas de choque, el municipio de Huichapan no se encuentra expuesto ante ningún tipo de estas amenazas que pudieran originar el volcán Xocotitlán y Los Azufres.

II.1.2 Sismicidad

La actividad sísmica en una región se basa en la ocurrencia y distribución de las ondas que provocan el movimiento del terreno. El fenómeno se deriva de la dinámica interna de la Tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y seguirá manifestándose continuamente de manera similar a lo observado en el pasado (CENAPRED, 2011).

Los sismos son vibraciones en la Tierra producidas por una súbita liberación de energía, la cual se propaga en el interior y la superficie en forma de ondas elásticas. Estas ondas provienen de una fuente sísmica y suelen ser causadas por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La región en el interior de la Tierra donde se genera un sismo se llama hipocentro, y desde esa región, las ondas sísmicas viajan propagándose en todas las direcciones. El punto en la superficie de la Tierra que se encuentra directamente sobre el hipocentro se llama epicentro (OVSICORI, 2021; **Figura II.1.2.1)**.

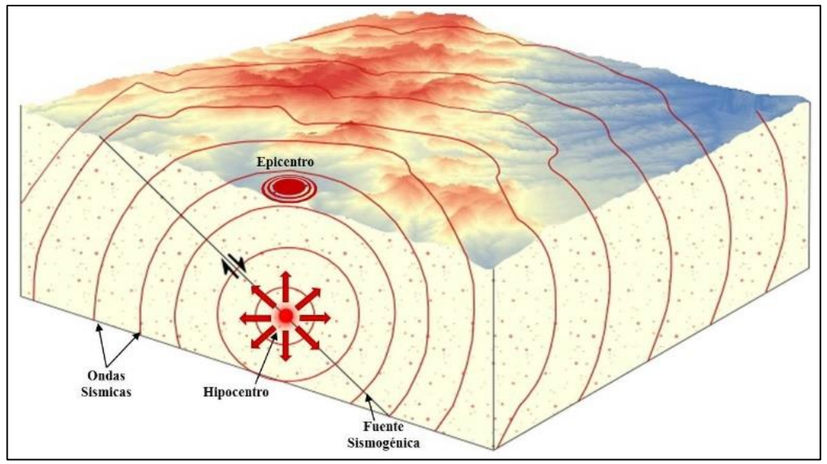


Figura II.1.2.1 *Esquema de propagación de las ondas sísmicas.*
Fuente: *Recuperada del CENAPRED, 2011.*

Cuando ocurre una liberación de energía, se propagan dos tipos de ondas sísmicas: ondas de cuerpo (P y S) y ondas superficiales (Love y Rayleigh). Las ondas de cuerpo viajan a través del interior de la Tierra y no tienen trayectorias horizontales continúas debido a la variación de densidad y composición del cuerpo rocoso, lo que provoca fenómenos de reflexión y refracción. Las ondas P son longitudinales o de compresión y viajan más rápido que las ondas S, que son transversales o de corte. Las ondas Rayleigh y Love, que pertenecen al grupo de las ondas superficiales, se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo y causan mayor destrucción debido a la resonancia que provocan en las edificaciones.

Las ondas Rayleigh hacen que las partículas se muevan verticalmente en una órbita elíptica, mientras que las ondas Love provocan cortes horizontales en la Tierra ya que las partículas vibran transversalmente a la dirección de avance de la onda, como se muestra en la **figura II.1.2.2**. La comprensión de estos tipos de ondas es fundamental para entender cómo se propagan los terremotos y su posible impacto en las estructuras (CENAPRED, 2011).

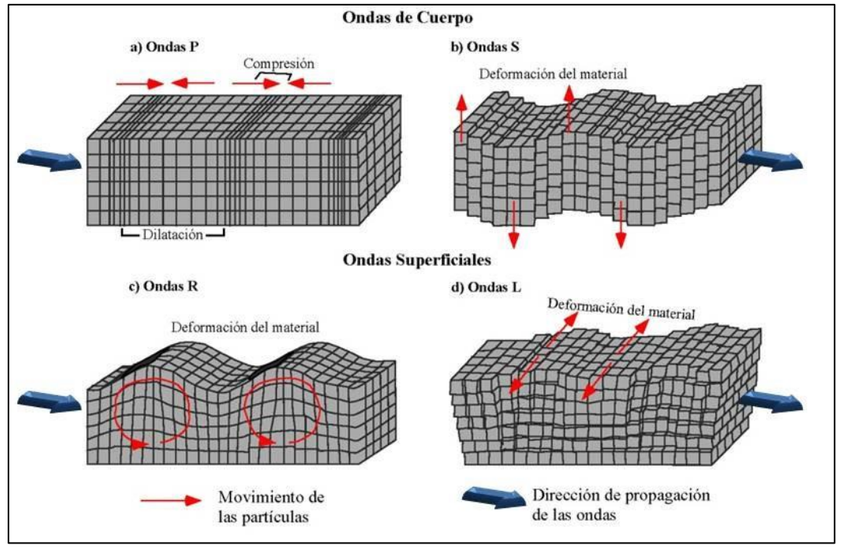


Figura II.1.2.2 *Tipos de ondas sísmicas.*
Fuente: *Recuperada del CENAPRED, 2011.*

Para describir un terremoto, se utilizan los términos de intensidad y magnitud. La magnitud es una medida cuantitativa de la energía liberada durante la ruptura de una falla y determina el tamaño real del sismo, independientemente si estos ocurren en regiones habitadas o no, mientras que la intensidad es una descripción cualitativa de los efectos que causa, en ella intervienen la percepción de las personas, así como los daños materiales y económicos sufridos a causa del evento.

La intensidad sísmica depende de la fuerza y la distancia al epicentro, la naturaleza de los materiales en superficie y el diseño de las edificaciones y se mide con la Escala de Intensidad de Mercalli. Por otro lado, la magnitud de un terremoto puede determinarse a partir de la cantidad de material que se desliza a lo largo de la falla

y la distancia que se desplaza, y se mide con la escala de Richter (Espíndola y Jiménez, 1990).

La escala de Intensidad de Mercalli Modificada se utiliza para medir la **intensidad sísmica** y consta de doce grados que no solo dependen de la fuerza del sismo, sino también de otros factores como la distancia al epicentro, la naturaleza de los materiales de superficie y el diseño de los edificios. La **tabla II.1.2.1** muestra los grados de intensidad y los efectos asociados a cada uno de ellos.

Para determinar la magnitud de un terremoto se mide la cantidad de energía liberada, utilizando las amplitudes de las ondas registradas en un sismógrafo. La escala utilizada mundialmente para cuantificar los efectos de un sismo es la Escala de Richter, que asigna un número a cada terremoto. Cada grado de aumento en la escala significa que la energía liberada podría ser hasta 32 veces mayor que en el grado anterior. Por ejemplo, un sismo de magnitud 8 es 32 veces mayor que uno de magnitud 7, 1000 veces más grande que uno de magnitud 6, y 32 mil veces más grande que uno de magnitud 5. La **tabla II.1.2.2** muestra los valores correspondientes a cada grado de magnitud (SSN, 2021).

Clasificación

Los sismos se clasifican como naturales y artificiales, siendo los naturales los que liberan mayor cantidad de energía y tienen efectos más grandes en la superficie.

Sismos Naturales

Sismos Tectónicos: Se generan por interacción de placas tectónicas. De estos se han definido dos clases, los de interplaca ocasionados por fricción en las zonas de contacto entre las placas y los de intraplaca generados en la parte interna de las placas, generalmente consecuencia de deformaciones continentales.

Sismos Volcánicos: Estos son simultáneos a erupciones volcánicas; principalmente los ocasiona la ruptura de rocas debido a movimiento del magma. Aunque puede haber decenas de ellos en un día, estos no llegan a ser de gran magnitud como los anteriores.

Sismos de colapso: Se generan por derrumbamiento del techo de cavernas y minas, se sienten en un área reducida debido a que ocurren cerca de la superficie.

Sismos Artificiales

Son los producidos por el hombre por medio de explosiones comunes y nucleares, con fines de exploración, investigación, y explotación de bancos de material para la extracción de minerales.

Tabla II.1.2.1 *Escala de intensidad de Mercalli modificada.*

INTENSIDAD	PERCEPCIÓN-EFECTO
I	No es sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido claramente en interiores, especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día, se percibe en interiores por muchos; al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, puertas y ventanas agitados; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas, y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daños insignificantes en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras comunes bien construidas; considerables en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente para resistir sismos; considerable, en edificios comunes bien construidos, llegando hasta colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Los muros de relleno se separan de la estructura. Caída de chimeneas, objetos apilados, postes, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Cierta dificultad para conducir automóviles.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras bien diseñadas pierden la vertical; daño mayor en edificios comunes bien construidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el terreno. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas; la mayoría de estructuras de mampostería y marcos, destruidas incluyendo sus cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Deslizamientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de mampostería quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.
XII	Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CENAPRED, 2011.	

Tabla II.1.2.2 *Magnitudes de los terremotos e incidencia mundial*

MAGNITUD	DESCRIPCIÓN	EFECTOS	FRECUENCIA DE OCURRENCIA
<2.0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.	Alrededor de 8,000 por día.
2.0-2.9	Menor	Generalmente no son perceptibles.	Alrededor de 1,000 por día.
3.0-3.9	Menor	Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.	49,000 por año
4.0-4.9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones genera ruido. Sismo significativo, pero con daño poco probable.	6,200 por año
5.0-5.9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.	800 por año
6.0-6.9	Fuerte	Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160 Km a la redonda.	120 por año
7.0-7.9	Mayor	Pueden causar serios daños en extensas zonas.	18 por año
8.0-8.9	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.	1 por año
9.0-9.9	Gran	Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros	1 en 20 años
> 10	Épico	Nunca registrado	En la historia de la humanidad (y desde que se tienen registros históricos de sismos) nunca ha sucedido un terremoto de esta magnitud.
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de UniversObservado, 2012.			

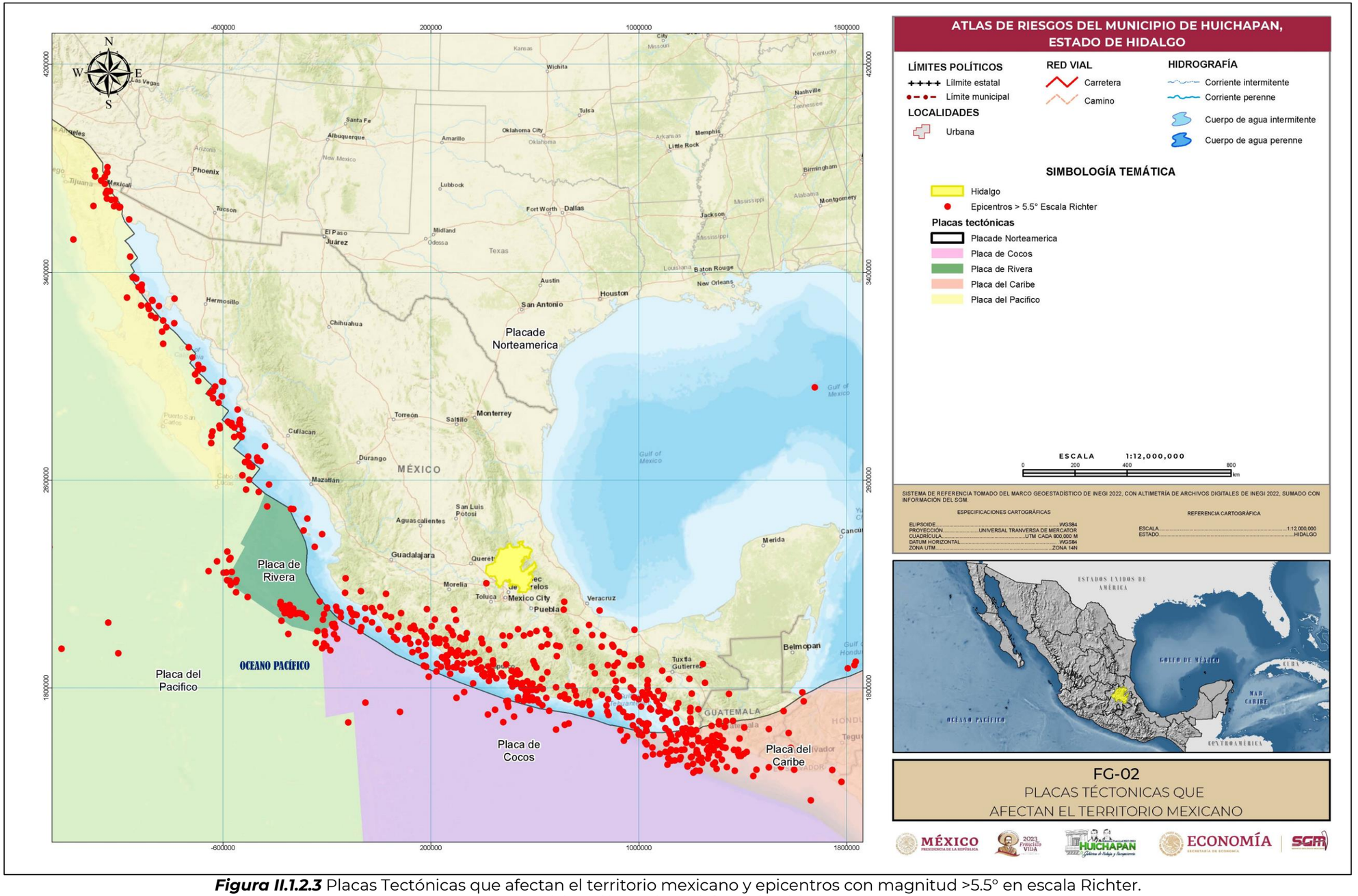


Figura II.1.2.3 Placas Tectónicas que afectan el territorio mexicano y epicentros con magnitud >5.5° en escala Richter.
Fuente: *Elaboración propia con información del SSN, 2023.*

Antecedentes

México es un país con alta actividad sísmica debido a la interacción de varias placas tectónicas y fallas locales. Las placas de Norteamérica, Cocos, Pacífico, Rivera y Caribe interactúan en la región (**Figura II.1.2.3**), lo que causa terremotos periódicos de diferentes magnitudes. Las fallas locales también contribuyen a la actividad sísmica, aunque son menos peligrosas que las placas tectónicas (SGM, 2017).

Aunque los sismos no pueden predecirse en tiempo, magnitud e intensidad, se presentan en regiones definidas cerca de la interacción entre placas tectónicas. La mayor zona de peligro sísmico en México está a lo largo de la Costa del Pacífico, donde las placas de Cocos y Rivera subduce por debajo de la Placa Norteamericana. Aunque el estado de Hidalgo se ubica lejos de esta zona, se han registrado sismos de baja magnitud.

Se consultó el catálogo de sismos del SSN con datos desde 1900 a mayo de 2023 y no hay antecedentes de eventos sísmicos en el municipio de Huichapan, que se considera una zona de baja sismicidad. No es posible realizar una zonificación de amenaza sísmica representativa, por lo que en este trabajo se hace mención a la interpretación de los mapas disponibles y a los antecedentes de sismicidad cercanos a la zona.

Aunque no hay antecedentes de eventos sísmicos en el municipio de Huichapan, esto no lo exime de que se perciban sismos de otras regiones cercanas. Por ejemplo, el sismo del 19 de septiembre de 2017 con epicentro en Axichiapan (Morelos) con una magnitud de 7.1° Richter y a una profundidad de 57 km se sintió en Huichapan con una intensidad de entre IV y V en la escala de Mercalli **(Figura II.1.2.5)**. El sismo del 7 de septiembre de 2021 con epicentro en Acapulco (Guerrero) con una magnitud de 7.1° Richter y a una profundidad de 10 km también se sintió en el municipio, **(Figura II.1.2.6)**.

Los mapas de aceleraciones máximas del terreno generado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, muestran que las zonas más afectadas son las cercanas al epicentro, y para la región de Huichapan se calcularon aceleraciones del terreno consideradas de grado leve con un rango de 0.1 a 2.0 cm/s^2. Esto se debe a que la distancia lineal entre la zona y el epicentro es de aproximadamente 275 km para el sismo de Morelos y 460 km para el sismo de Guerrero.

Método de trabajo

La creación de un mapa de peligro sísmico es esencial para diseñar estructuras y edificios adecuados, basándose en la sismicidad y la frecuencia de los eventos en una región determinada. Esta herramienta permite estar preparados ante posibles contingencias, evitando la pérdida de vidas humanas y daños materiales. La información necesaria para estimar el peligro sísmico se recopila a lo largo del tiempo en observatorios sismológicos, y la "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos" (CENAPRED, 2006), proporciona información derivada de mapas de peligros ya generados y empleados por especialistas. El atlas se elabora utilizando un método de trabajo que se muestra en la **Figura II.1.2.4.**

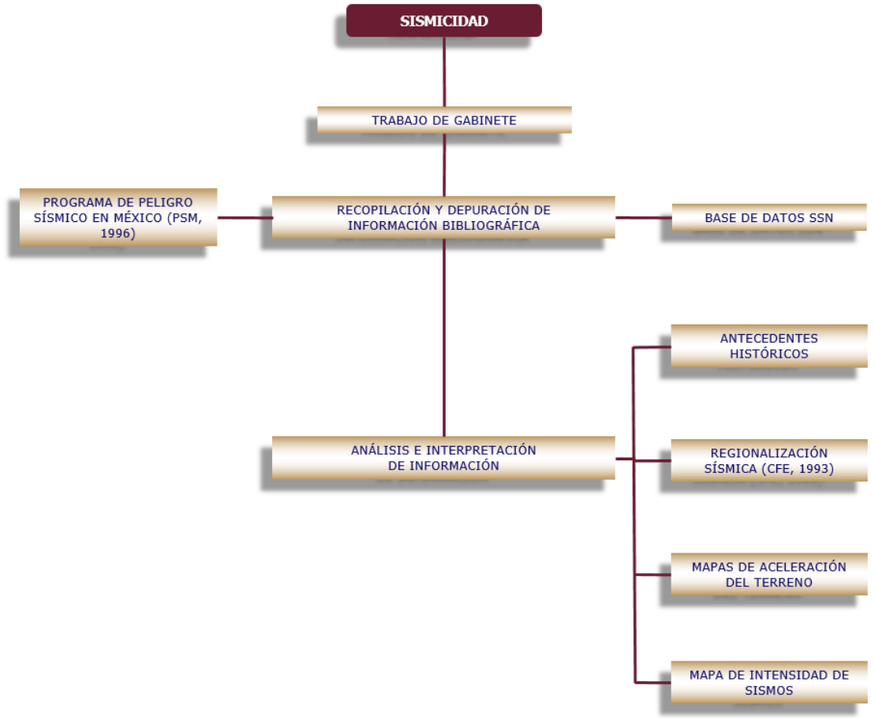


Figura II.1.2.4 Método de trabajo para la evaluación del peligro sísmico.

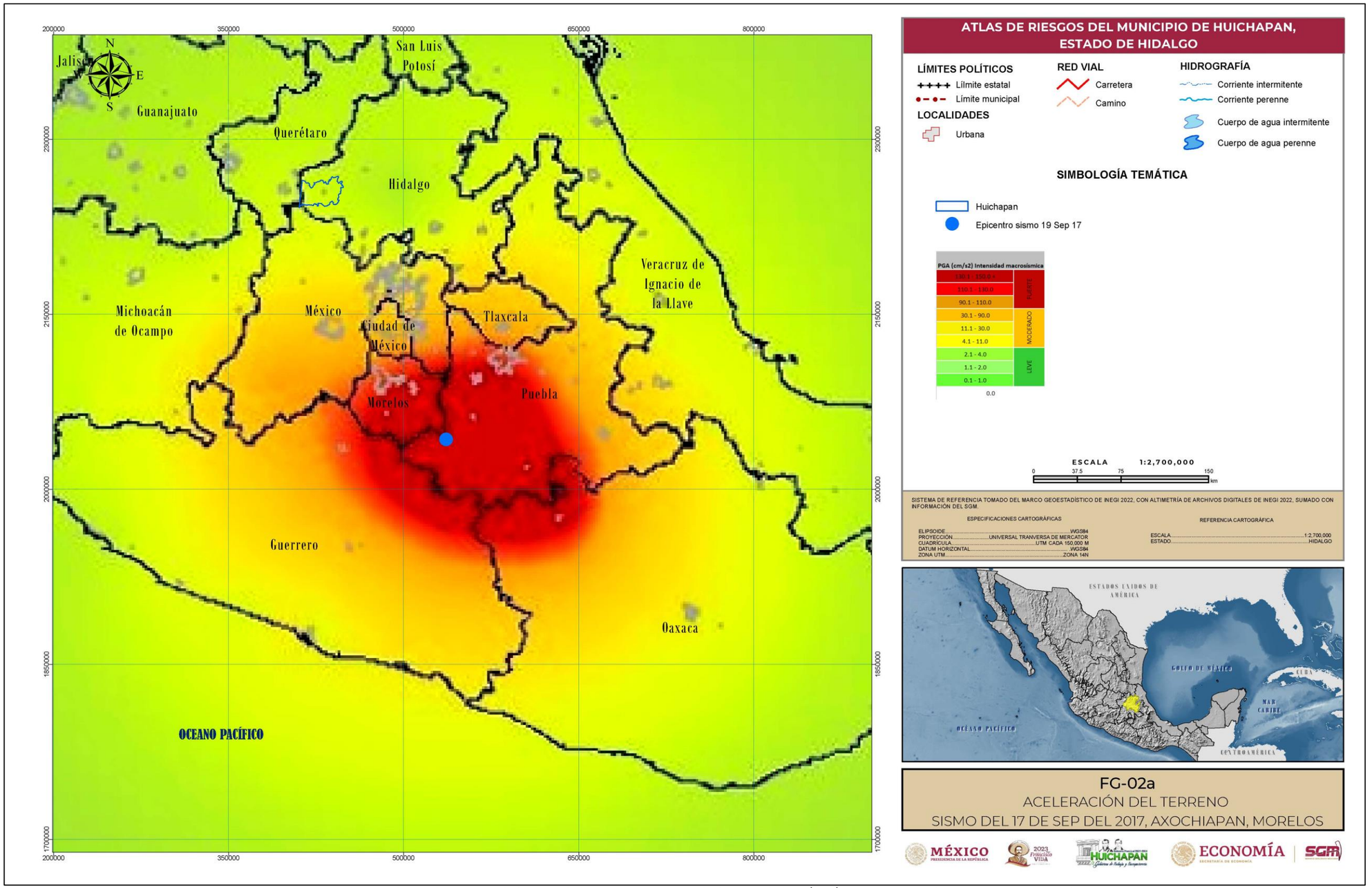


Figura II.1.2.5 Mapa de aceleraciones máximas del terreno para el sismo del 19/09/2017, con epicentro en Axochiapan, Morelos.
Fuente: *Elaboración propia con datos del SSN, 2021b.*

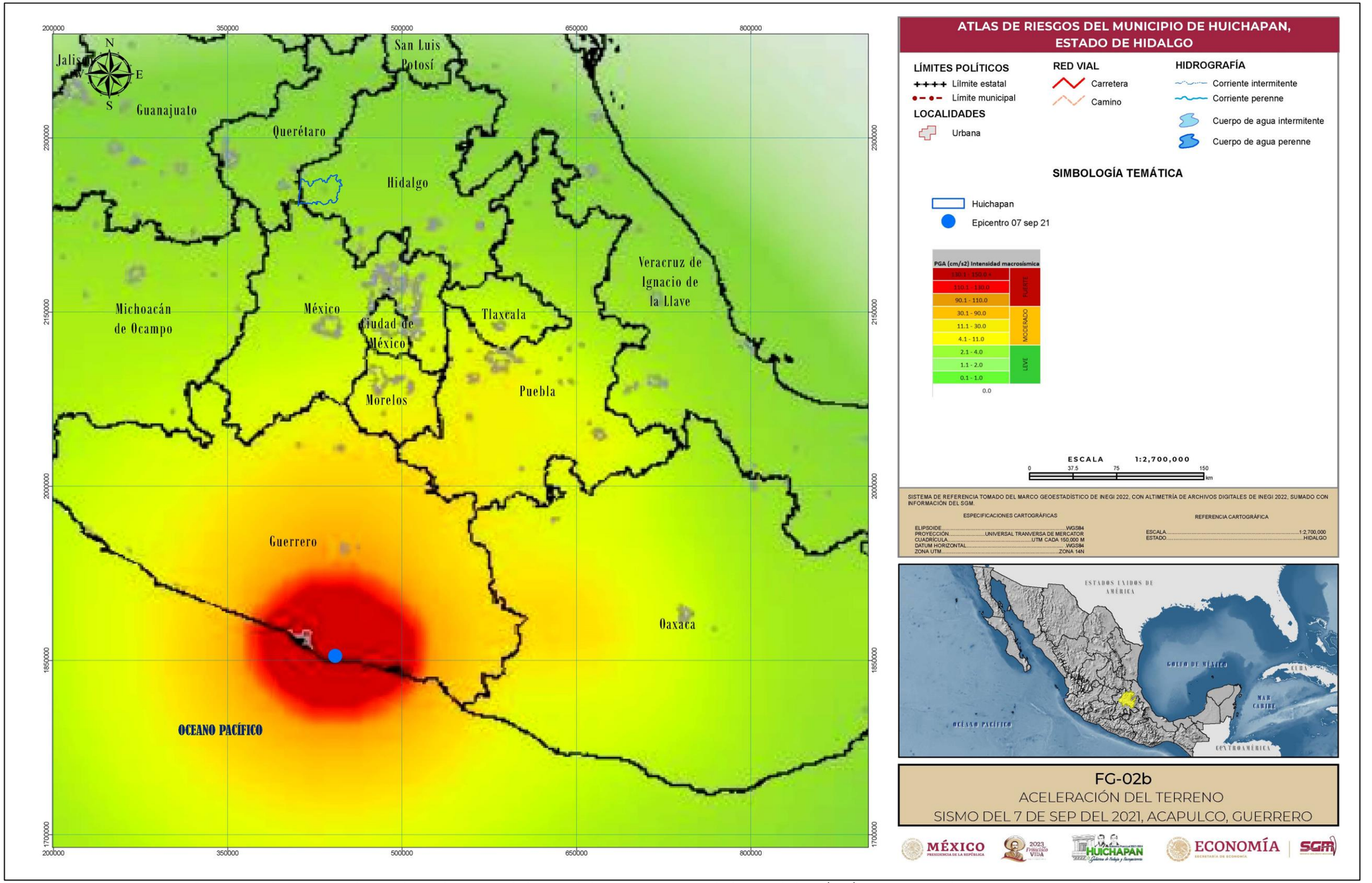


Figura II.1.2.6 *Mapa de aceleraciones máximas del terreno para el sismo del 07/09/2021, con epicentro en Acapulco, Guerrero.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del SSN, 2021b*

Análisis de la información

Para llevar a cabo el análisis de sismicidad se utilizó la Regionalización Sísmica del Manual de Obras Civiles de CFE (1993) y registros históricos de sismos en el estado de Hidalgo y sus alrededores, obtenidos de la base de datos del SSN entre 1900 y 2023 actualizando la base de datos para realizar los mapas, tablas y gráficas del tema.

También se incluyen resultados del Programa de Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), con periodos de retorno a 10, 100 y 500 años para aceleraciones del terreno mayores a 0.15 g (cm/s^2) en el Estado de Hidalgo y colindantes con el municipio de Huichapan. Se presentan tablas y gráficas con antecedentes de sismos cercanos a cada municipio para obtener una visión detallada del fenómeno. Esta información es crucial para realizar una zonificación de peligro sísmico mediante mapas estadísticos de eventos históricos de magnitud o intensidad similar.

Sismicidad en el Estado de Hidalgo y estados colindantes al municipio de Huichapan.

El Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) establece una clasificación del territorio nacional en cuatro zonas (A, B, C y D) según su nivel de peligro sísmico, conocida como la Regionalización Sísmica. Esta clasificación se basa en registros históricos de la frecuencia de sismos y la distribución de las ondas de los movimientos del terreno propios de cada región. Su objetivo es servir como guía para el diseño sísmico de estructuras, considerando el daño que puedan sufrir.

La zona A es la que presenta menor peligro sísmico, ya que no se tienen registros históricos de sismos y se espera que las aceleraciones del suelo no superen el 10% de la aceleración de la gravedad.

En las zonas B y C, el peligro sísmico es intermedio, con registros de sismos menos frecuentes y aceleraciones del suelo que no superan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad y donde se presentan temblores de gran magnitud (SGM, 2017).

La sismicidad y la aceleración del suelo en las zonas "B" y "C" están limitadas por los valores correspondientes de las zonas "A" y "D". En otras palabras, los terremotos de gran magnitud son poco frecuentes en estas zonas. La zona "A" representa el menor peligro, la zona "B" es de riesgo medio-bajo, la zona "C" es de riesgo medio-alto, mientras que la zona "D" es la más peligrosa (**Figura II.1.2.7**).

La clasificación de las zonas sísmicas se basa en la frecuencia y la aceleración máxima del suelo que se espera en caso de un sismo. Según esta regionalización, el estado de Hidalgo se encuentra en la zona "B". Los registros históricos indican que, aunque se trata de una zona sísmica, los terremotos de gran magnitud son poco comunes. Se estima que los valores de la aceleración del terreno en esta zona oscilan entre el 10% (98 cm/s^2) y el 70% (686 cm/s^2) del valor de la gravedad (g).

La **figura II.1.2.8** y **II.1.2.9** muestran que la actividad sísmica es más frecuente en el Estado de Hidalgo. Aunque se han registrado algunas magnitudes más altas en el Estado de México, estas no alcanzan niveles tan grandes como los sismos que se producen en la costa del Pacífico de México. Sin embargo, esto no implica que sean menos significativos, ya que en cualquier momento podría ocurrir un evento de mayor magnitud. Es importante destacar que algunos poblados, especialmente aquellos cercanos al epicentro, podrían sentir y/o verse afectados.

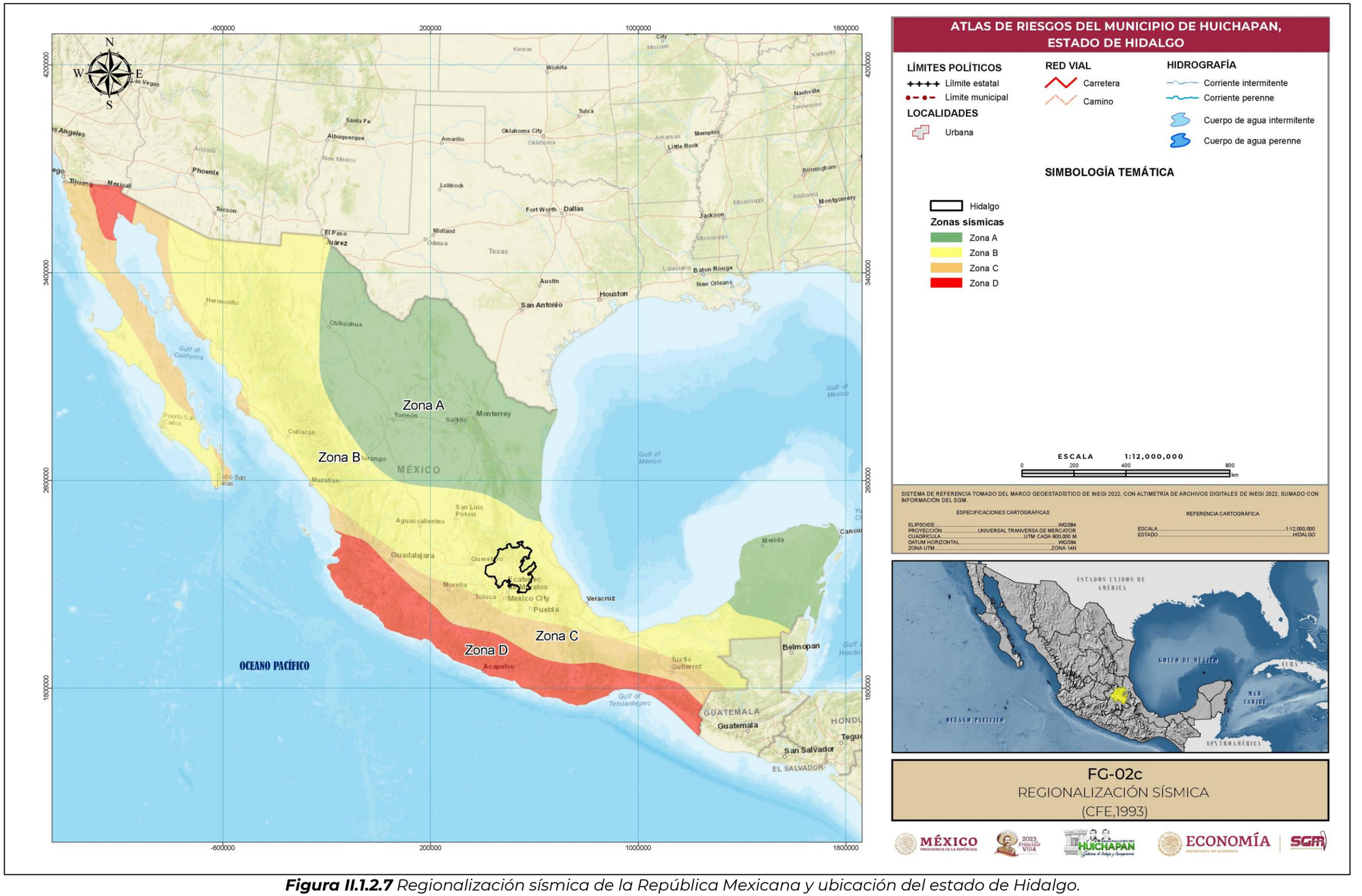


Figura II.1.2.7 *Regionalización sísmica de la República Mexicana y ubicación del estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia con información de CFE, 1993.*

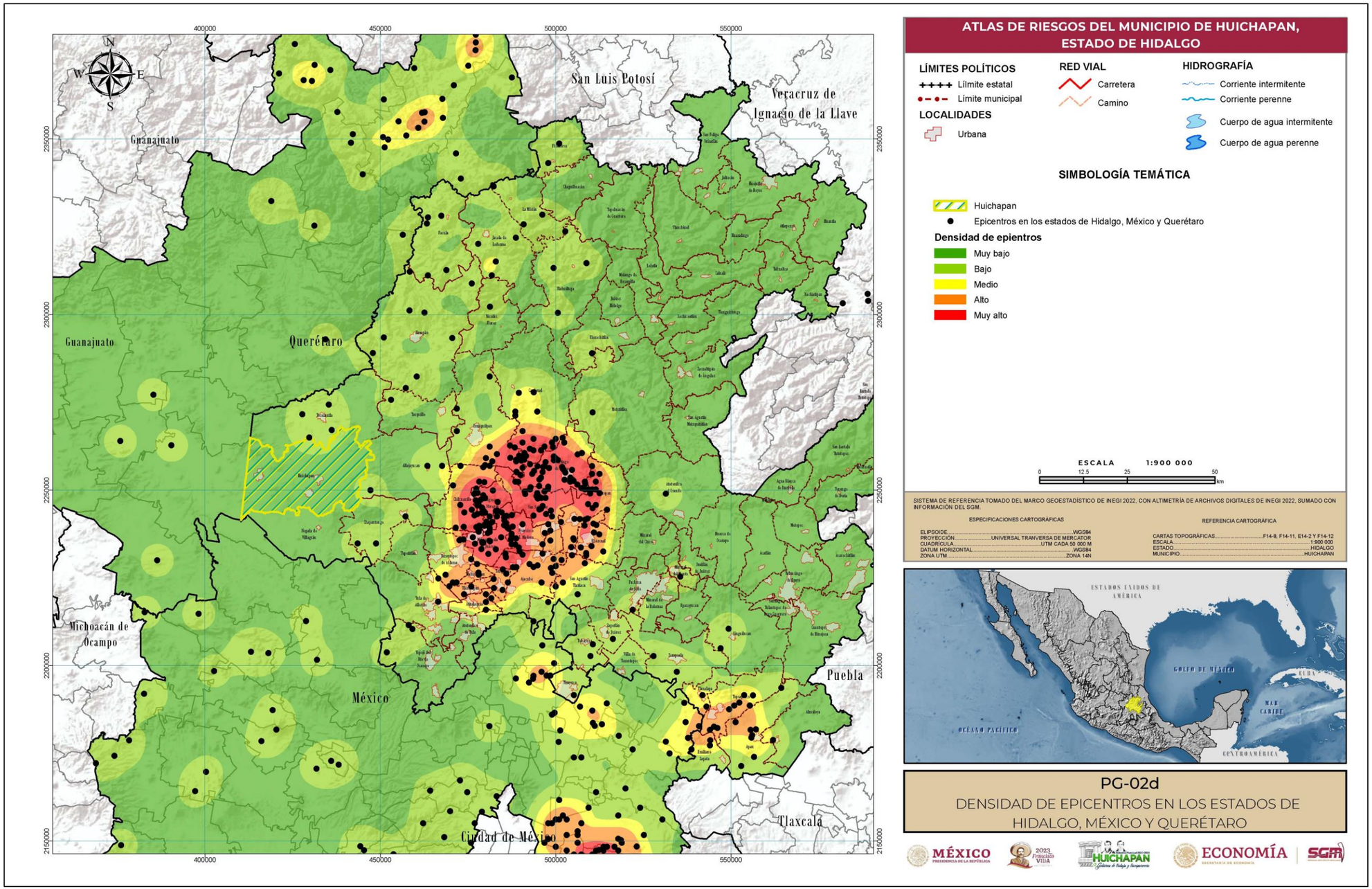
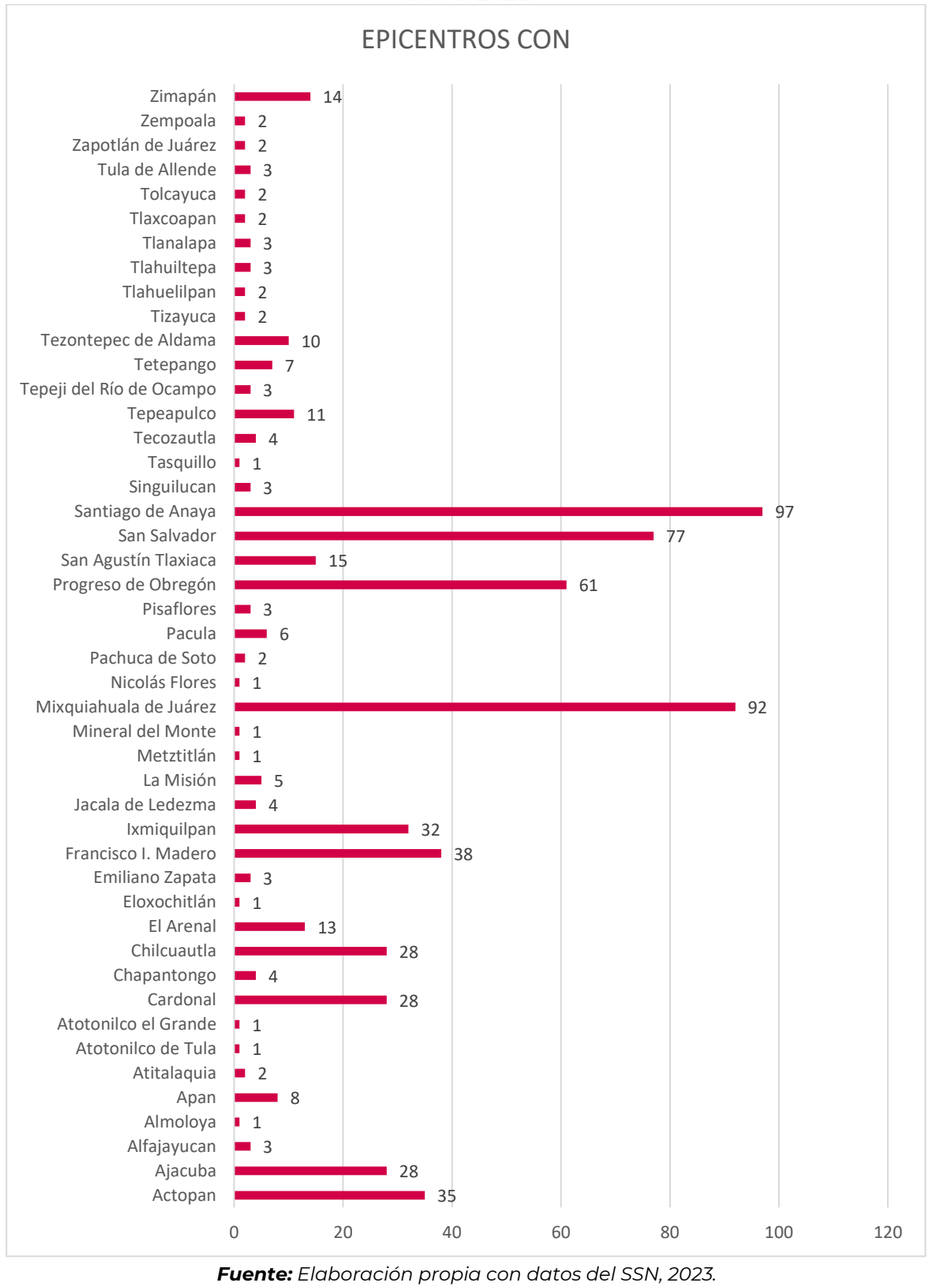


Figura II.1.2.8 *Sismicidad en los estados de Hidalgo, ,México y Querétaro.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del SSN, 2023.*

Gráfica II.1.2.1 *Número de epicentros registrados en los municipios de Hidalgo de 1990 a 2023.*



Fuente: *Elaboración propia con datos del SSN, 2023.*

Las zonas que aparecen en la **figura II.1.2.9** con tonalidades anaranjadas o rojizas no indican necesariamente un gran sismo. Los datos históricos muestran que el sismo de mayor magnitud registrado en algún municipio del Estado de Hidalgo apenas alcanzó los 5.1 grados en la escala de Richter. En el caso de los epicentros cercanos al municipio que se encuentran en los estados de Querétaro y Estado de México su magnitud oscila entre los 3 y 4.8. Sin embargo, se registró un epicentro de magnitud 6.9 en el municipio de Acambay de Ruíz Castañeda, Estado de México, en el año 1912. Por lo tanto, las zonas con tonalidades rojas reflejan como máximo magnitudes de 4.8 a 6.9.

Los sismos que ocurren en el interior del continente generalmente son de magnitudes bajas y de profundidades someras. Esto se debe a los reacomodos de la estructura geológica en el subsuelo. En el Estado de Hidalgo, los eventos sísmicos registrados han oscilado entre 1.6 y 5.1 grados en la escala Richter, con profundidades que varían de 1 a 20 km, aunque algunos también se han originado a profundidades de hasta 100 km.

A la fecha de elaboración del estudio, se han registrado epicentros en 46 de los 84 municipios del estado de Hidalgo, como se muestra en la **gráfica II.1.2.1**. La mayor actividad sísmica se ha observado en el Valle del Mezquital, especialmente en los municipios de Santiago de Anaya, San Salvador, Mixquiahuala y Progreso de Obregón. En los estados colindantes a Huichapan, la frecuencia de los sismos es baja **(Figura II.1.2.8)**, al igual que la magnitud en el municipio de Huichapan, que oscila entre 3.2 y 3.4 grados en la escala Richter, como se indica en la **figura II.1.2.9**.

Sismicidad en el municipio de Huichapan.

La CFE (1993) clasifica al municipio dentro de la zona "B" de la regionalización sísmica, donde los temblores grandes son poco frecuentes y se espera que las aceleraciones del terreno sean menores al 70% del valor de la gravedad. Aunque no se ha registrado ningún sismo en el catálogo del SSN para Huichapan, se han identificado epicentros cercanos a una distancia de entre 0.24 y 22 km. Los más cercanos se encuentran al norte del municipio, a menos de ocho kilómetros de distancia, en el municipio de Tecozautla; al este, a 2.98 km en el municipio de Alfajayucan; y al oeste, a 22.98 km en el estado de Querétaro. Es importante destacar que los sismos registrados en la zona han tenido magnitudes menores a 3.7°. (**Tabla II.1.2.3**).

Tabla II.1.2.3 *Epicentros más cercanos al municipio de Huichapan.*

MAGNITUD ESC. RICHTER	FECHA	MUNICIPIO	PROFUNDIDAD (km)	DISTANCIA (km)
3.1	24/02/2020	Tecozautla	8.6	0.24
3.7	20/09/2018	Tecozautla	2	1.82
3.3	23/02/2018	Tecozautla	13.8	7.32
3.4	13/12/2018	Tecozautla	9.5	7.45
3.4	23/09/2017	Alfajayucan	5	2.98
3.3	05/02/1998	Querétaro	1	22.98
Fuente: Elaboración propia con datos del SSN, 2023.				

Para facilitar la comprensión del nivel de peligro sísmico en el municipio, se presentan mapas que muestran las aceleraciones máximas del terreno para diferentes periodos de tiempo. El periodo de retorno es el tiempo promedio en años que tarda en repetirse un sismo con una determinada aceleración. Estos mapas se basan en los resultados del Programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), un sistema de información cuantitativa sobre este tipo de peligro en todo el país.

Según la información del PSM, se espera que en el municipio las aceleraciones máximas del terreno sean de 11 Gal para un periodo de retorno de 10 años (**Figura II.1.2.10**), de 27 Gal para un periodo de 100 años (**Figura II.1.2.11**) y de 45-135 Gal para un periodo de 500 años (**Figura II.1.2.12**). Estos mapas ayudarán a los ciudadanos y a las autoridades a entender mejor los riesgos sísmicos en el municipio y tomar medidas preventivas necesarias.

En el periodo de retorno para 500 años el valor de aceleración máxima del terreno es de 45 a 135 Gal, esta cifra se encuentra muy por debajo del valor considerado para determinar una zona con cierto grado de peligro (**Figura II.1.2.12**), el cual debe ser de al menos 150 Gal en cualquier periodo de retorno, en este caso el municipio se encuentra fuera del alcance del área de aceleraciones máximas para los periodos de retorno de 100 y 500 años por lo que la aceleración máxima solo podría llegar a 11 Gal. Según la escala de Mercalli los daños que se esperarían en este caso serían nulos.

En el PSM se presenta información de los periodos de retorno para aceleraciones del terreno de 0.15 g o mayores, para el caso del municipio de Huichapan, aunque no se encuentra en el listado del PSM, el municipio más cercano (San Juan de Río) tiene un periodo de 3 732 años, por lo que se estima un aproximado de este periodo de retorno para el municipio.

Conclusiones

El municipio se localiza en una zona que se caracteriza por una sismicidad baja y ausencia de registros de movimientos de alta magnitud, por lo que es de vital importancia conocer los mapas de peligro que se generan a partir de los datos de aceleración del terreno, ya que tienen por objetivo contar con una base actualizada que permita tomar medidas apropiadas y orientar decisiones para la evaluación y mitigación del riesgo por sismos

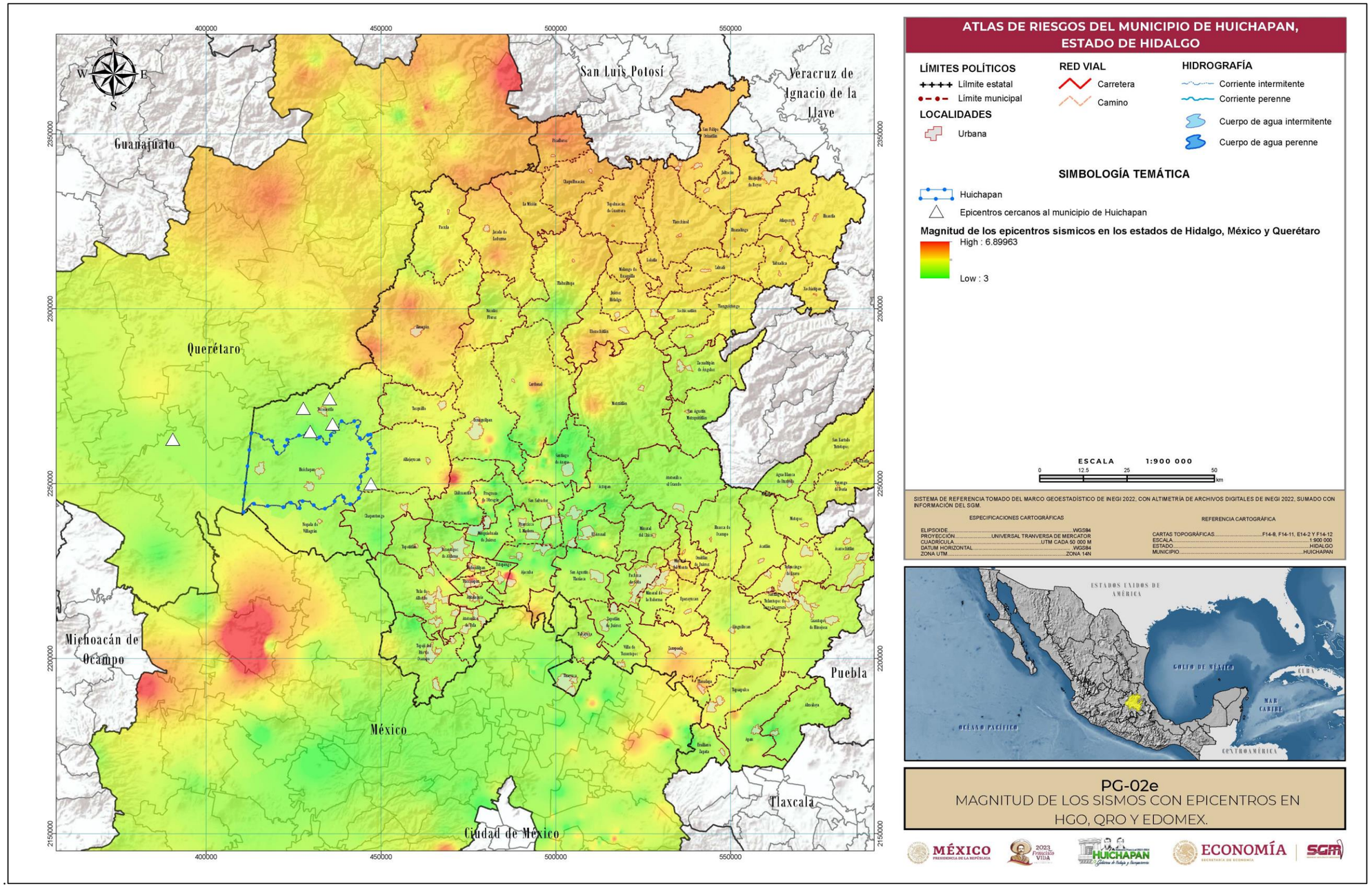


Figura II.1.2.9 *Magnitud de los sismos con epicentro en Hidalgo y ubicación de los epicentros más cercanos al municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del SSN, 2023.*

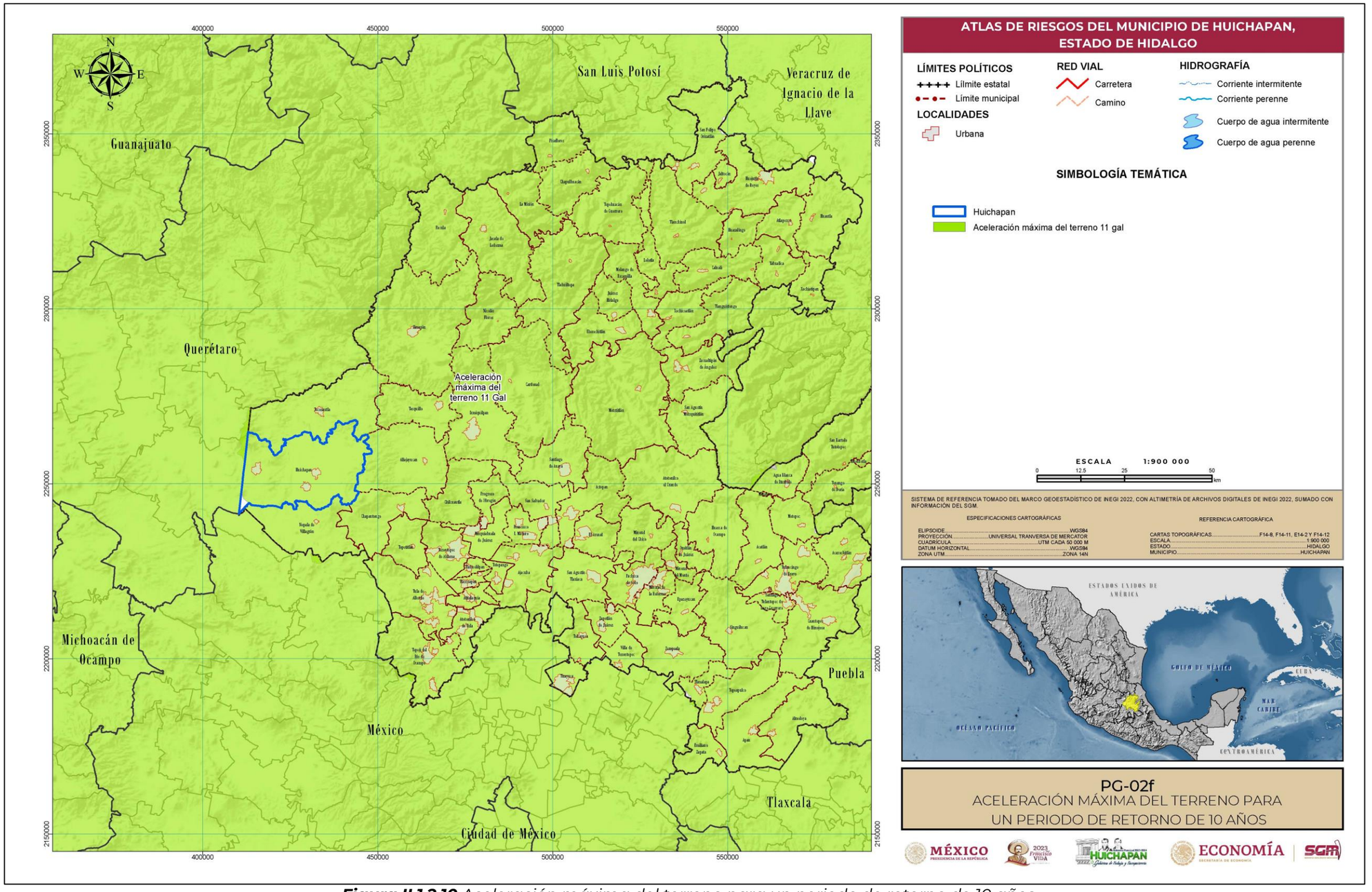


Figura II.1.2.10 *Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 10 años.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del Programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996).*

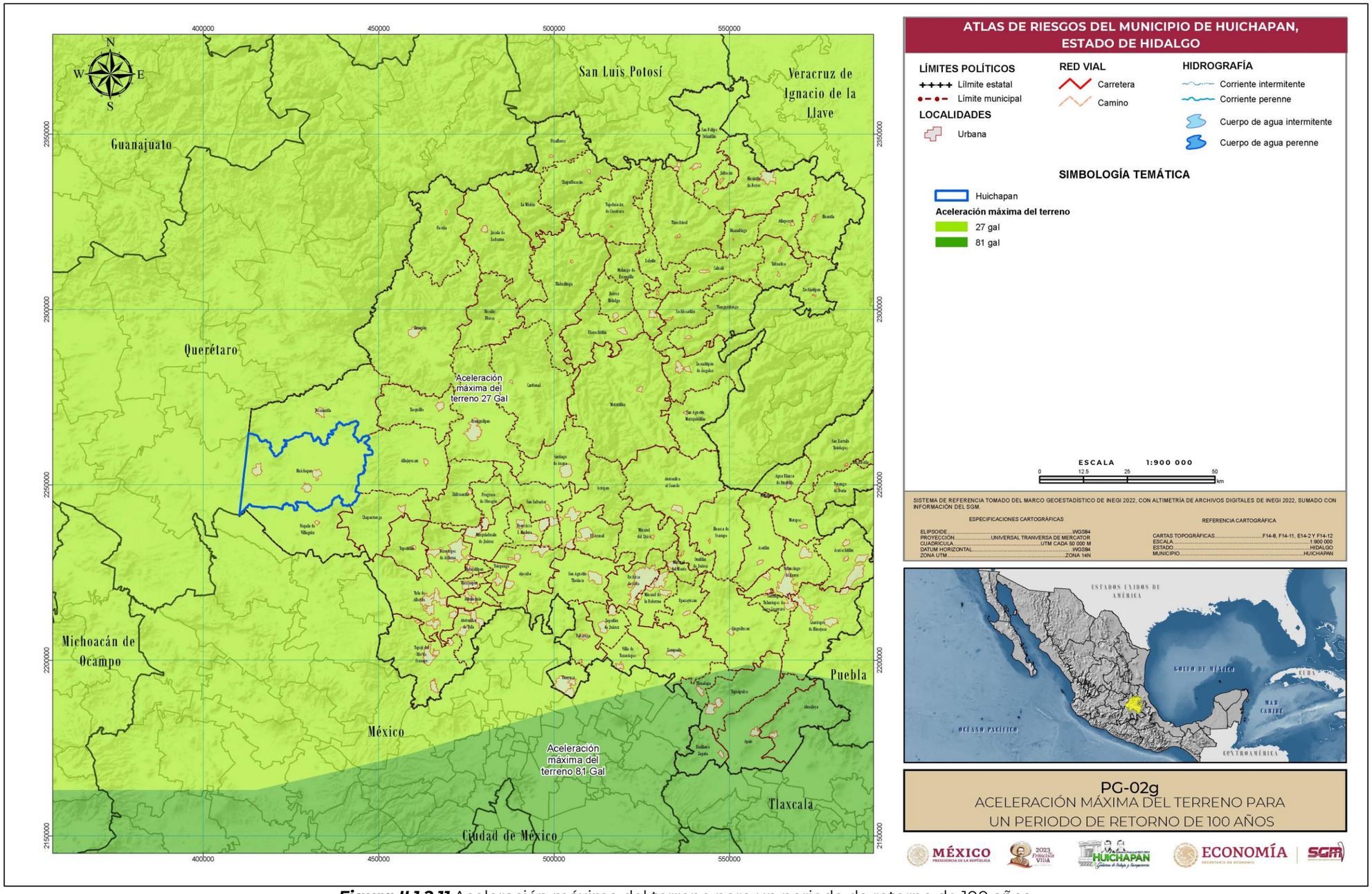


Figura II.1.2.11 Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: *Elaboración propia con datos del Programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996).*

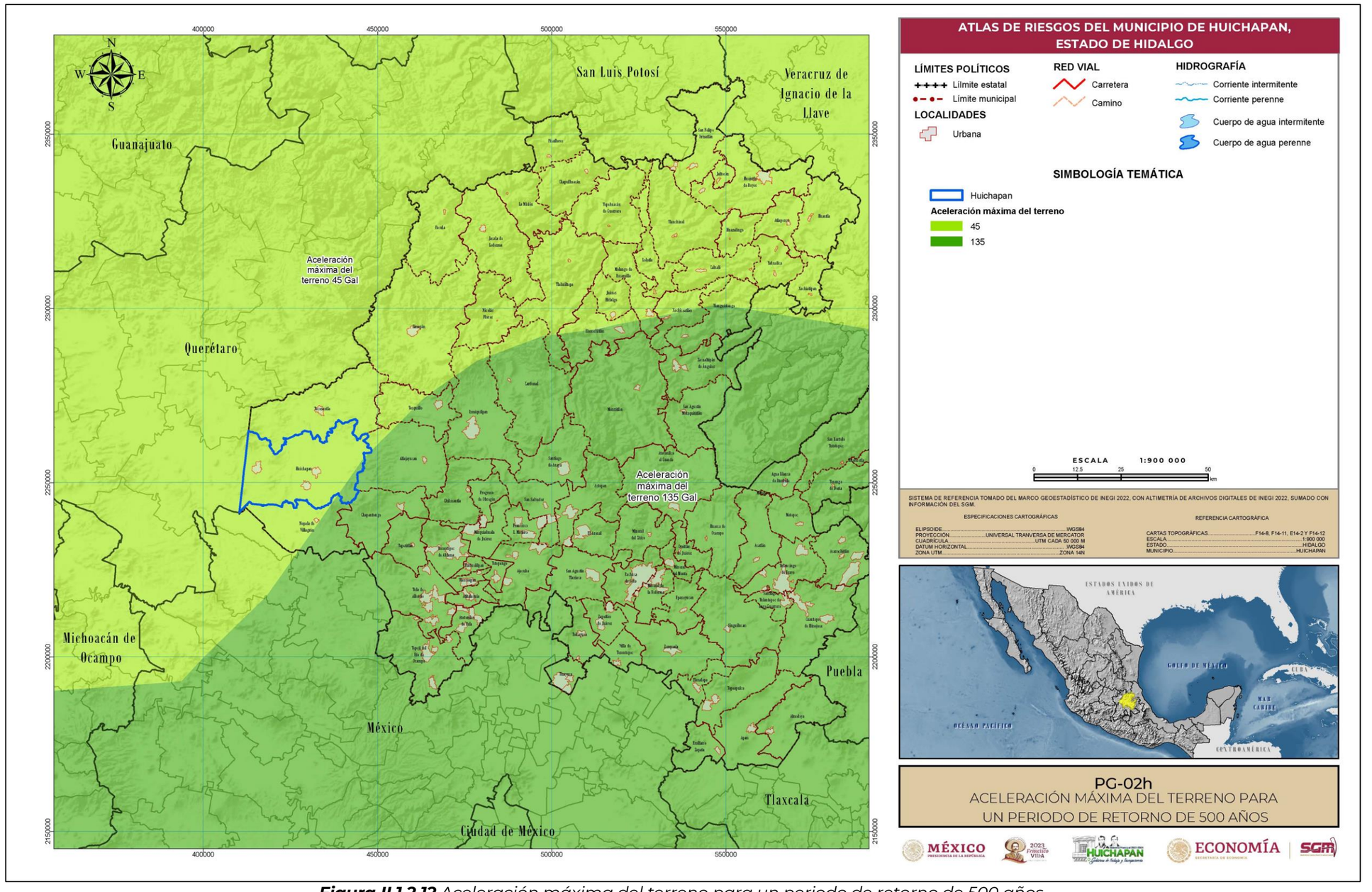


Figura II.1.2.12 *Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 500 años.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del Programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996).*

II.1.3 Tsunamis o maremotos

El término tsunami es japonés internacionalmente se utiliza para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto, en las costas pueden arribar con gran altura provocando efectos destructivos, pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los maremotos se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino (CENAPRED, 2011).

En México el riesgo mayor por este fenómeno son los generados por sismos en la Fosa Mesoamericana, que es la zona de hundimiento de la Placa de Cocos y de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, adyacente al litoral suroccidental, afectando la costa litoral del pacifico.

Conceptos Básicos

Los tsunamis de origen sísmico se clasifican en:

- Locales. El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto.
- Regionales. El litoral invadido está a no más de 1,000 km o a pocas horas de viaje de la zona de generación.
- Lejanos. El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación.

Antecedentes

De acuerdo con Núñez et al. (2008), se han registrado 60 tsunamis en el territorio mexicano en los últimos 250 años.

Los estados (**Tabla II.1.3.1**) que pudieran ser afectados directamente por un Tsunami son: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Baja California, Sonora y Sinaloa (CENAPRED, 2011).

Tabla II.1.3.1. *Eventos históricos ocurridos en la República Mexicana.*

FECHA	LUGAR	INTENSIDAD
25 Febrero 1732	Guerrero	3-4 metros
1 Septiembre 1754	Guerrero	4-5 metros
28 Marzo 1787	Michoacán, Guerrero y Oaxaca	6-8 metros
3 Abril 1787	Oaxaca	3-4 metros
4 Mayo 1820	Guerrero	1-2 metros
4 Mayo 1826	Guerrero	Menos de 1 metro
10 Marzo 1833	Guerrero	Menos de 1 metro
11 Marzo 1933	Guerrero	Menos de 1 metro
7 Abril 1845	Guerrero	1-2 metros
29 Noviembre 1852	Baja California	Sin dato
4 Diciembre 1852	Guerrero	Menos de 1 metro
12 Agosto 1868	Guerrero	1-2 metros
11 Mayo 1870	Oaxaca	Sin dato
23 Febrero 1875	Colima	Sin dato
14 Abril 1906	Guerrero	Sin dato
14 Abril 1907	Guerrero	1-2 metros
30 Julio 1909	Guerrero	Menos de 1 metro
16 Noviembre 1925	Guerrero	6-7 metros
22 Marzo 1925	Oaxaca y Chiapas	1-2 metros
16 Junio 1932	Oaxaca	1-2 metros
3 Junio 1932	Colima y Jalisco	4-5 metros
18 Junio 1932	Colima y Jalisco	Menos de 1 metro
22 Junio 1932	Colima	Más de 10 metros
3 Diciembre 1948	Islas Marías	2-5 metros
14 Diciembre 1950	Guerrero	Menos de 1 metro
28 Julio 1957	Guerrero (Sismo del Ángel D.F.)	1-1.5 metros
11 Mayo 1962	Guerrero	0.50-0.81 metros
19 Mayo 1962	Guerrero	Menos de 0.50 metros
23 Agosto 1975	Oaxaca	Menos de 1 metro
30 Enero 1973	Colima	1-2 metros
29 Noviembre 1978	Oaxaca	1-1.5 metros
14 Marzo 1979	Guerrero	1- 1.5 metros
25 Octubre 1981	Michoacán	Menos de 1 metro
19 y 20 Septiembre 1985	Michoacán (Terremoto del 85)	2-3 metros
9 Octubre 1995	Jalisco y Colima	2-4 metros
21 Enero 2003	Colima	Menos de 1 metro
11 marzo 2011	Costas del Pacífico	1-2 metros
8 septiembre 2017	Oaxaca y Chiapas	3 metros
23 junio 2020	Oaxaca	1 metro
22 enero 2022	Guerrero, Oaxaca, península de Baja California, Colima, Guerrero	0.5-2 metros
Fuente: Elaboración propia con información de Sky Alert Blog, 2021 y datosmundial, 2022.		

Método de trabajo

El método de trabajo para el análisis de este nivel de información, se divide en dos etapas; la primera consiste en compilar información digital, bibliográfica e histórica de los tsunamis ocurridos en México; en la segunda etapa, se analizaron imágenes de satélite con el objetivo de digitalizar líneas para calcular distancias entre el municipio de Calnali y las costas tanto del Golfo de México como del Pacifico.

Análisis de la Información

Para que un sismo genere un tsunami es necesario que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir: que la falla tenga movimiento vertical y no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral, esta condición permite diferenciar 2 zonas en la costa del Pacífico de México:

I) Al norte de la Placa de Rivera, donde la Placa del Pacífico se desliza hacia el norte con respecto a la Placa de Norteamérica, a lo largo de la falla de desgarre del Golfo de California. Esto propicia que las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa no sean fuentes de origen de tsunamis locales, sino únicamente receptoras de los lejanos, con alturas máximas de ola estimadas de 3 metros.

II) En el Sur, la Placa de Rivera gira y la de Cocos se hunde bajo la Placa de Norteamérica a lo largo de la Fosa Mesoamericana; constituye una frontera de colisión con hundimiento, generadora de tsunamis locales, algunos de los cuales han demostrado destructividad en las costas de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, con alturas de 10 metros. Esta zona también es receptora de tsunamis lejanos y regionales, con alturas probablemente menores (CENAPRED, 2011).

Conclusiones

Debido a que el estado de Hidalgo no ha presentado afectación histórica por este fenómeno, aunado a que no presenta alguna línea costera la amenaza por el impacto de un Tsunami es nula. En relación al municipio de Huichapan la distancia más próxima en línea recta de la costa del Océano Pacífico es de 342 km, mientras que la distancia más próxima al Golfo de México es de 236 km (**Figura II.1.3.1**).

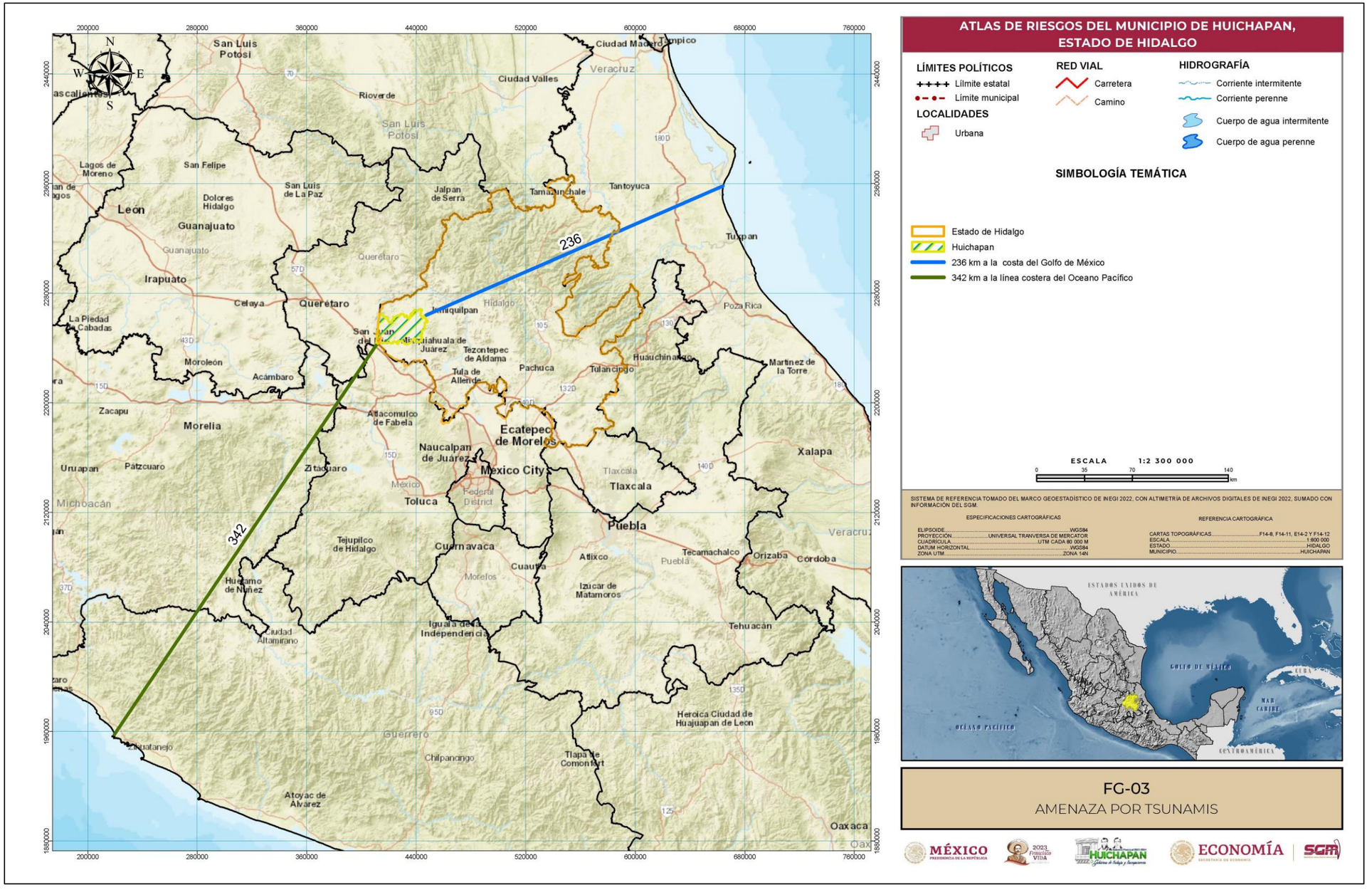


Figura II.1.3.1 *Distancia del municipio de Huichapan a los límites de costa del Océano Pacífico y del Golfo de México.*
Fuente: *Elaboración propia del SGM 2021 con imagen de ESRI, 2022.*

II.1.4 Procesos de Remoción en Masa (PRM)

En México, el tema de los desastres naturales ya es un tema cotidiano, los fenómenos como sismos, erupciones volcánicas, inestabilidad de laderas, huracanes, inundaciones, sequias, entre otros, han tenido un impacto en nuestra sociedad. Existe la posibilidad de que esta tendencia se agudice en los próximos años debido al Cambio Climático Global, al deterioro ambiental existente en el país, al crecimiento urbano en zonas no aptas y a la falta de criterios claros en materia jurídica o bien en su nula aplicación.

El fenómeno de Remoción en Masa o movimiento de ladera, engloba diferentes tipos de procesos, tales como deslizamientos, flujos, caída de bloques, reptaciones, avalanchas y la combinación de las anteriores, estos últimos resultan de la combinación de uno o más procesos. Los tres tipos básicos de instabilidad en los PRM se caracterizan por presentar una o más planos de falla, ya sea planar o circular (CENAPRED, 2006).

Conceptos básicos

Los Procesos de Remoción en Masa (PRM), también conocidos como procesos gravitacionales, procesos de ladera y movimientos de ladera, son considerados uno de los fenómenos geológicos que más afecta al ser humano y su infraestructura, dicho fenómeno ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una posición de los materiales que componen una ladera y se desplazan ladera abajo por acción de la gravedad (CENAPRED, 2006). Los agentes causantes que provocan la ocurrencia de estos procesos son calificados en dos tipos, el primero se refiere a factores internos o condicionantes tales como la composición del macizo rocoso, presencia de fallas geológicas o comportamiento geo-mecánico de la roca; los segundos son denominados factores externos o desencadenantes, por ejemplo, lluvias extremas, sismos y actividades antrópicas, entre otras.

Factores condicionantes

Existen diversos factores para la inestabilidad de laderas, principalmente las que influyen en las modificaciones de la geometría de la ladera, tales como: erosión, excavaciones artificiales, efectos de sismos de gran magnitud, explosiones para construcción o minería, lluvias intensas y prolongadas, debilitamiento de la capa superficial del suelo por deforestación, etc. Las causas que provocan los PRM también están relacionadas con las características geológicas y geomorfológicas del sitio (pendiente, altura, agrietamiento, grado de alteración de las rocas, etc.), así como propiedades mecánicas de los materiales propensos a perder su equilibrio.

En términos generales las causas o factores desencadenantes que propician la inestabilidad de laderas se pueden dividir en factores internos y externos:

Factores internos.

Son relativos a su propia naturaleza o características de la ladera:

- ***Geológicos.*** Representan un factor de inestabilidad permanente: la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas, estructuras geológicas, así como la alteración de la roca, ya sea, hidrotermal y/o meteorización.

- ***Hidrológicos* e hidrogeológicos.** Cambios en la presión de poro e hidrostáticas y el comportamiento geomecánico (resistencia a la deformidad, compresibilidad, cohesión, etc.)

- ***Geomorfológicos.*** Áreas con pendientes pronunciadas, geometría de los taludes, topografía irregular.

Factores externos.

Son aquellos sistemas ajenos a la ladera que perturban su estabilidad y producen un incremento de los esfuerzos cortantes, sin que la resistencia del material que compone el talud cambie. Una causa desencadenante, puede ser suficiente para provocar la inestabilidad, estos factores pueden ser:

- ***Naturales.*** Cambios en la pendiente del talud, filtración de agua pluvial sobre el terreno por las precipitaciones pluviales extraordinarias y torrenciales, las variaciones de temperatura y acciones dinámicas como las producidas por los sismos, erupciones volcánicas y/o explosiones.

- ***Antrópicos.*** Deforestación, quema e incendios forestales (provocados), corte de taludes para construcción de carreteras e infraestructura en general, asentamiento humano en las laderas, la actividad minera (no controlada) y uso inadecuado del suelo (**Figura II.1.4.1**).

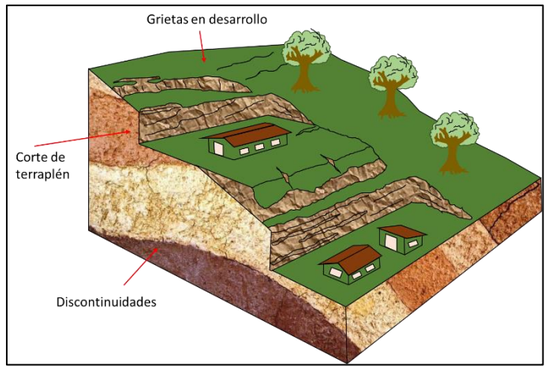


Figura II.1.4.1. *Esquema de modificaciones antrópicas que alteran la estabilidad de un talud.*
Fuente: *Suárez, 1998. Modificado por el SGM, 2023.*

Tipología de los Procesos de Remoción en Masa (PRM).

Alcántara-Ayala (2000) propone traducir el término *Landslide* como "movimiento del terreno", lo que permite diferenciar cada tipo de proceso e interpretar adecuadamente cada mecanismo en particular. De esta manera los términos **"movimientos de ladera"**, **"movimientos del terreno"**, **"procesos de ladera"**, **"procesos de remoción en masa"** e **"inestabilidad de ladera"** se consideran como sinónimos y están relacionados con diversos mecanismos de movimiento. (**Tabla II.1.4.1**).

Tabla II.1.4.1. *Procesos de remoción en masa(PRM).*

CLASIFICACIÓN DE LOS PRM	
Deslizamiento rotacional	***Falla circular***
Deslizamiento traslacional	***Falla plana***
	Por la intersección de dos planos de falla
Caída de rocas	***Movimientos primarios o desprendimientos***
	Movimientos secundarios o rodamiento
	Volteo con flexión
	Volteo de bloques
Flujos	***Flujos de lodo***
	Flujos de detritos
	Avalanchas
Expansión lateral	
Movimientos complejos (combinación de los anteriores)	
Fuente: Recuperado de Varnes, 1978. Modificado por SGM, 2023.	

Deslizamiento

Son movimientos relativamente rápidos de una porción de una talud o ladera, en los cuales la masa del geomaterial se mueve a través de una o más superficies que definen la geometría del deslizamiento, estos pueden ser:

- ***Deslizamiento rotacional.*** La superficie de falla es formada por una curva con centro de giro por encima del centro de gravedad de la masa de material, el movimiento se considera rotacional. Por lo general se dan de forma lenta. (**Figura II.1.4.2. a**).

- ***Deslizamiento traslacional.*** El movimiento se presenta por corte a través de una superficie relativamente plana (deslizamiento plano) o a través de líneas de intersección de dos planos (cuña). Este mecanismo es común en masas rocosas que están afectadas por discontinuidades tales como juntas de enfriamiento, planos de estratificación y fracturas de origen tectónico. (**Figura II.1.4.2. b**).

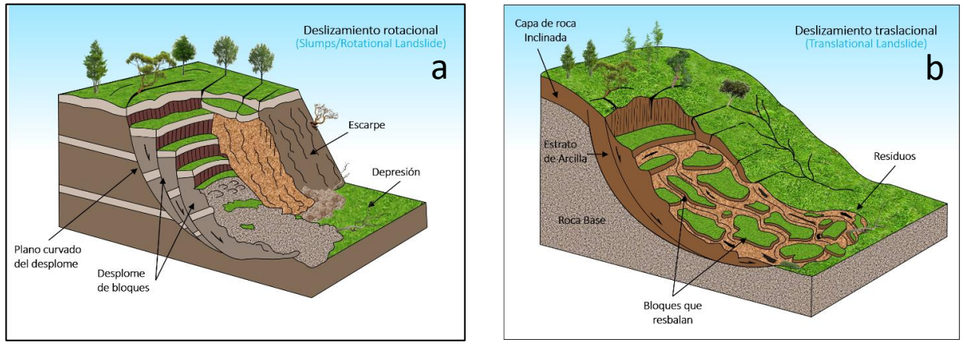


Figura II.1.4.2. a y b. *Diferentes tipos de deslizamientos que se presentan en la inestabilidad de laderas.*
Fuente: *Skinner and Porter, 1992. Modificado por el SGM, 2023.*

Caída de bloques.

Comprende el descenso rápido y libre de masas de suelo y/o roca con tamaño variable, de taludes con fuerte pendiente o de acantilados. Este tipo de evento puede incluir deslizamiento, rodamiento, rebote y caída libre; y estos se dividen en:

- ***Movimientos primarios o desprendimientos***. Es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente, que en una parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre volviendo

a entrar en contacto con la superficie del terreno, donde se pueden producir saltos, rebotes y rodamientos.

- ***Movimientos secundarios o rodamiento***. Involucra material disgregado, que ha quedado como un residuo del primario; también se pueden tratar de bloques que han quedado separados de la masa rocosa y que están apoyados sobre la ladera con posibilidad de rodar pendiente abajo. (**Figura II.1.4.3**).

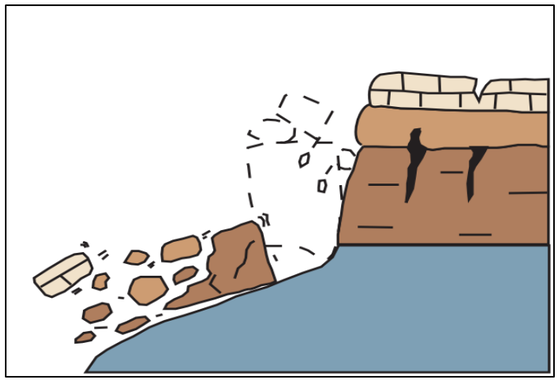
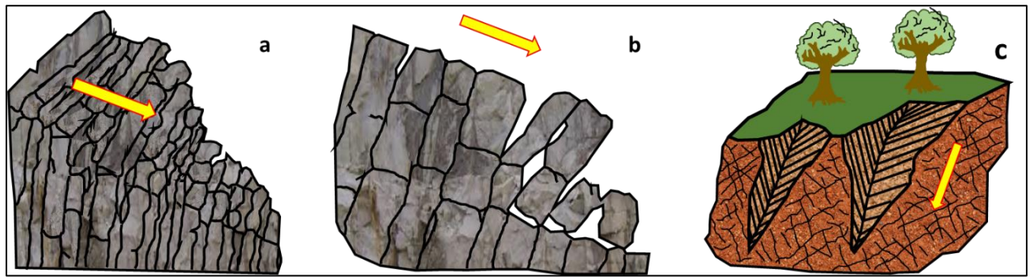


Figura II.1.4.3. *Caída de rocas por desprendimiento y rodamiento.*
Fuente: *Recuperado de Varnes, 1978.*

- ***Volteo con flexión***. Se presenta cuando un sistema de discontinuidades orientado subverticalmente y con echado en contra del talud, delimita capas o columnas semicontinuas, donde la fuerza del peso induce un esfuerzo y los bloques tienden a flexionarse. Este puede ser inducido por erosión o excavaciones en el pie del talud.

- ***Volteo de bloques***. Este mecanismo de falla ocurre cuando se trata de bloques singulares que son divididos por discontinuidades muy espaciadas y con gran apertura.

- ***Caída por cuña***. *Este movimiento se da principalmente por la intersección de dos o más planos de falla y cuya intersección es visible ya sea en talud o ladera.* **Figuras II.1.4.4. a, b, c.**



Figuras II.1.4.4. a, b, c. *Movimientos gravitacionales. Caída por flexión (a), Caída por volteo (b) y Caída por cuña. (c).*
Fuente: *Recuperado de Varnes (1978). Modificado por el SGM, 2023*

Flujos.

Son movimientos de una masa desorganizada de material, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas (Hungr *et al*., 2005). Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.
Para este tipo de movimientos es determinante la granulometría y el grado de saturación que los materiales puedan presentar. En ocasiones un deslizamiento puede evolucionar a un flujo (Suárez, 1998). (**Figuras II.1.4.5. *a, b, c, d, e)***. Estos se clasifican en:

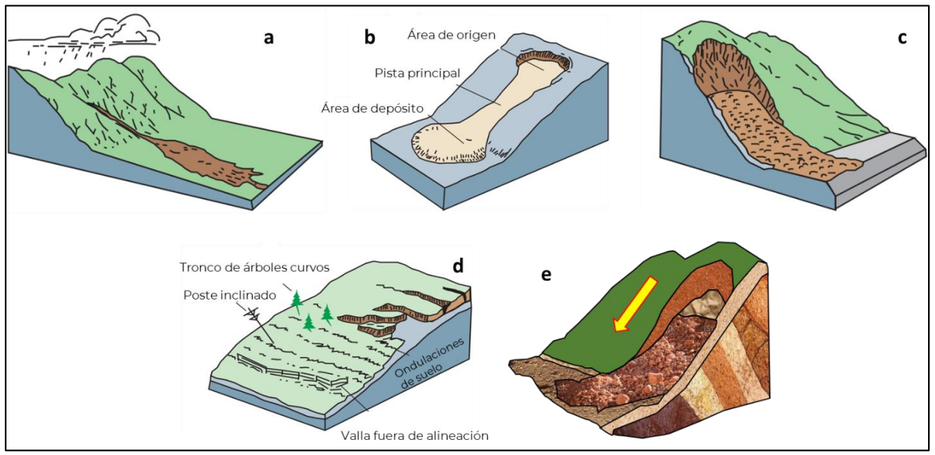
- ***Flujo de lodo.*** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

- ***Flujos de tierra o suelo.*** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.

- ***Flujos o avalanchas de detritos.*** Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos no cohesivos, fragmentos de roca, y vegetación con aire y agua entrapados, formando una masa viscosa o francamente fluida con movimiento pendiente abajo.

- ***Creep o flujo muy lento.*** A diferencia de los casos anteriores, este es un movimiento constante pero muy lento de suelo y roca pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.

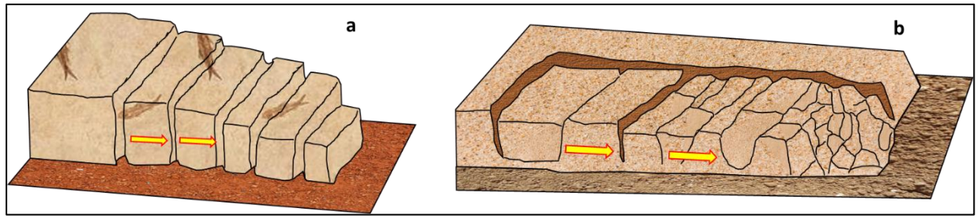
- ***Lahar.*** Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.



Figuras II.1.4.5. a, b, c, d, e. *Diferentes tipos de movimientos en los Procesos de Remoción en Masa.*
Fuente: *Recuperado de Varnes, 1978. Modificado por el SGM, 2023.*

Expansión lateral

Este término generalmente es utilizado para describir la extensión lateral de masas de suelo o roca compacta, debido a la licuación fluidización de material subyacente y generalmente la superficie de cizallamiento no está bien definida. Cuando las masas de suelo o roca son relativamente homogéneas, éstas se fracturan en varias unidades y conforman arreglos tipo horst y graben. **Figuras II.1.4.6. *a, b.***



Figuras II.1.4.6. a, b. *Extensión lateral en roca (a) y en material blando (b), movimientos por licuación o fluidización del material subyacente.*
Fuente: *Recuperado de Varnes (1978). Modificado por el SGM, 2023.*

Movimientos complejos

Se refiere a la combinación de dos o más mecanismos de falla, y dependiendo de los mecanismos involucrados se puede tener una combinación entre ellos, ejemplo, un deslizamiento rotacional con volteo de bloques al frente, un deslizamiento que involucre a un flujo, un volteo que posteriormente se vuelva una caída o bien una avalancha en caso de fragmentarse. **Figura II.1.4.7.**

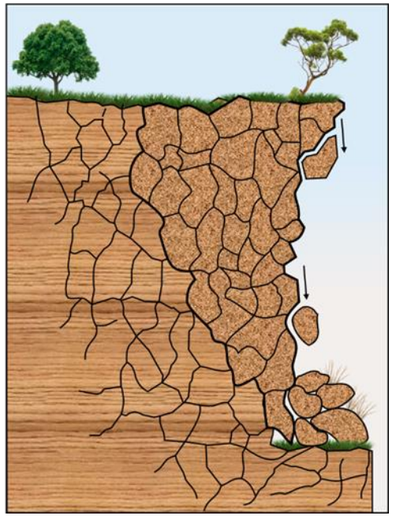


Figura II.1.4.7. *Movimientos combinados donde se pueden generar caída de bloques y deslizamientos sobre un plano de falla.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Método de trabajo

La primera fase de planeación y desarrollo de una metodología es primordial, para la evaluación de los peligros por Procesos de Remoción en Masa (PRM), se tomaron y adaptaron algunos de los criterios postulados por el CENAPRED (2006), en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riegos”.

Para el presente trabajo, los PRM se identifican de manera independiente, cada uno de los mecanismos, la cual tendrá un análisis partiendo de las variables que disponemos, tales como la litología, la densidad de fracturamiento (lineamientos), la edafología, la vegetación, y las pendientes, entre otras. De manera que el producto final que se obtenga serán los mapas de susceptibilidad por deslizamiento (inestabilidad de laderas), flujos y caída de bloque (desprendimientos).

Cabe mencionar que cada proceso maneja diferentes variables según influyan en su origen y su mecanismo, los cuales se podrán observar los diferentes factores de jerarquización que son utilizados para obtener el mapa de susceptibilidad.

Tomando como base lo anterior, el método de trabajo, se generaliza de tal forma que englobe cada uno de los PRM que se analizan en este estudio y el cual estará dividido en tres fases:

La primera fase, consiste en la recopilación, revisión y depuración de la información existente en libros, revistas, periódicos, y artículos de investigación, elección de escala de trabajo y delimitación de la zona de estudio, así como la elaboración del mapa base.

Para la elaboración del mapa base, se empleó la información vectorial de INEGI (2021), escala 1: 50,000, carta topográfica Tecozautla (F14-C68); San Juan del Río (F14-C77); Huichapan (F14-C78), así como las cartas geológicas minera del Servicio Geológico Mexicano (SGM) a escala 1: 50,000. A partir de esta información, se programó y trabajó la prospección en campo con la finalidad de obtener la ubicación del tipo de proceso observado, la litología, observaciones generales, afectaciones y una opinión cualitativa del riego.

Se integró información geomorfológica que indica los diferentes tipos de rasgos geomorfológicos en la superficie del terreno; tal como el relieve para identificar posibles deslizamientos antiguos; así como la edafología para verificar el tipo y uso del suelo; finalmente, el análisis de las zonas donde se concentra la población, infraestructura y sus actividades cotidianas. **Figura II.1.4.8.**

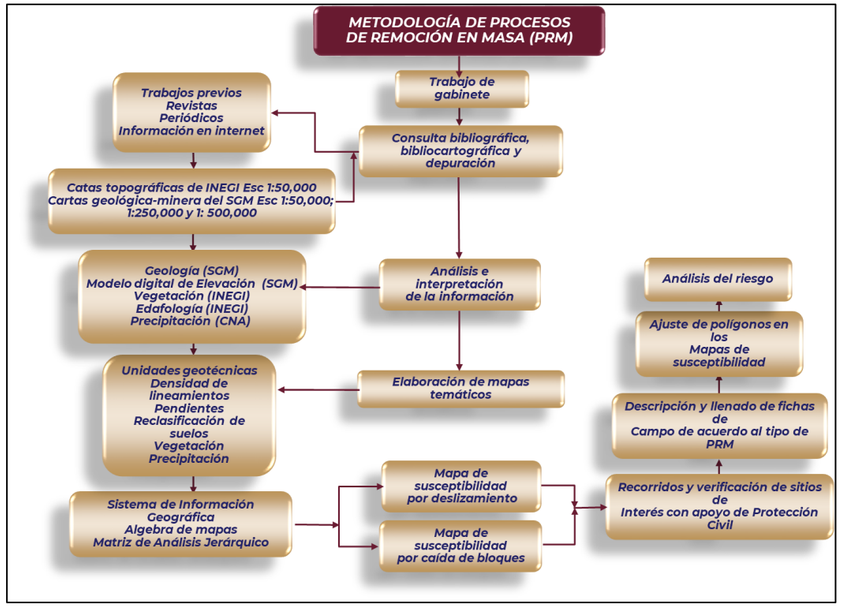


Figura II.1.4.8. *Diagrama de flujo de la metodología de trabajo empleada en la determinación de mapas índices de susceptibilidad por PRM.*
Fuente: *Elaboración propia, 2022.*

Una vez integrada la información de la cartografía básica, se procedió a la verificación de sitios asociados con la infraestructura donde pudieran existir problemas por PRM. Con base a lo anterior, se realizó la segunda fase, donde se proponen prospecciones de campo, las cuales consisten en realizar el inventario de sitios afectados por PRM, en los cuales se recaba la información para el llenado de cuatro fichas técnicas del SGM.

La ficha de caída de bloques contiene datos de localización y ubicación (coordenada UTM), se realiza la descripción del afloramiento que se encuentra en el talud o ladera, al igual, se realizan mediciones de altura, orientación, buzamiento, pendiente natural y grado de vegetación del sitio; así como la descripción del tipo de inestabilidad, el grado de afectación y observaciones generales.

En otro de los apartados dentro de la misma ficha, se realiza la medición de los parámetros del macizo rocoso, en la cual hay que determinar la resistencia de la masa rocosa, en la cual puede variar de extremadamente blanda a extremadamente dura; se determina el índice de calidad de la roca RQD ([Longitud de fragmentos de testigo>10 cm /Longitud total del tramo] X 100 = %) ésta varía desde muy mala a muy buena.

Otras de las mediciones que se realizan de manera puntual, son las lecturas que se hacen con un esclerómetro digital marca *control,* para ello se toman 10 datos puntuales, de los cuales solo se consideran los cinco valores más altos y se le saca el promedio. El dato se coloca en la ficha (Cálculo de Resistencia del Martillo Schmidt) y en la escala que corresponda de acuerdo a la posición en la que se tomó el disparo, posteriormente se traza una línea vertical hasta cortar el valor de la densidad de la roca, en esa intersección se traza una línea horizontal la cual nos dará el valor de la resistencia, de tal manera, que **mientras más dura y compacta sea la roca, mayor es el rebote**. ***Figura II.1.4.9.***

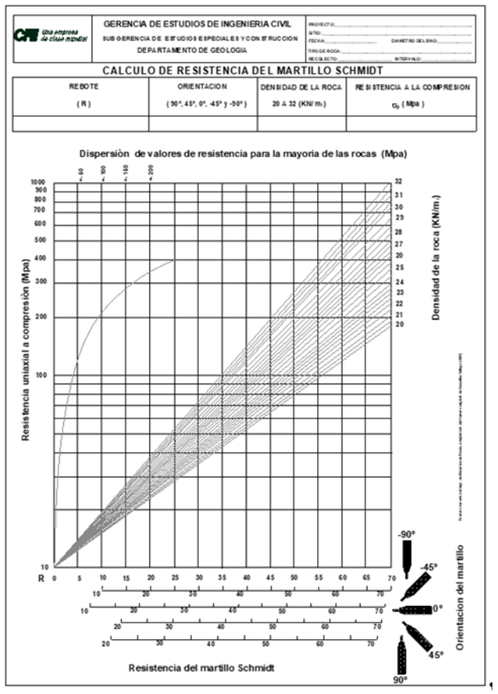


Figura II.1.4.9. *Abanico de correlación entre el valor de rebote de martillo Schmidt y peso específico.*
Fuente: *Recuperado de González, 2002.*

De igual manera, se hace la medición de una estación estructural en la que se considera el tipo de plano o discontinuidad, rumbo del buzamiento e inclinación del buzamiento, esto con el uso de una brújula tipo *Brunton*; además de realizar las mediciones de espaciamiento, continuidad, abertura, rugosidad y tipo de relleno que se presentan en las fallas, fracturas o diaclasas; a parte de determinar el número de familias de las discontinuidades, tamaño, forma de los bloques y determinación del grado de meteorización del macizo rocoso.

Finalmente, se toman datos de los parámetros .de clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR) en la que se considera la resistencia de la matriz rocosa, RQD %, La separación entre las diaclasas, estado de las discontinuidades y nivel freático.

Cabe destacar que, en la toma de datos estructurales de las discontinuidades, se recaba un promedio de 10 datos por cada sitio, mismos que son analizados mediante una proyección estereográfica en el diagrama de áreas iguales de Schmidt. De esta manera se define si existen bloques cinéticamente inestables, así como él o los tipos de fallas o mecanismos de inestabilidad encontrados en el talud, en algunos casos los mecanismos potenciales de movimiento de los bloques fueron establecidos a partir de los datos de orientación de las discontinuidades con respecto al frente del talud. ***Figura II.1.4.10***.

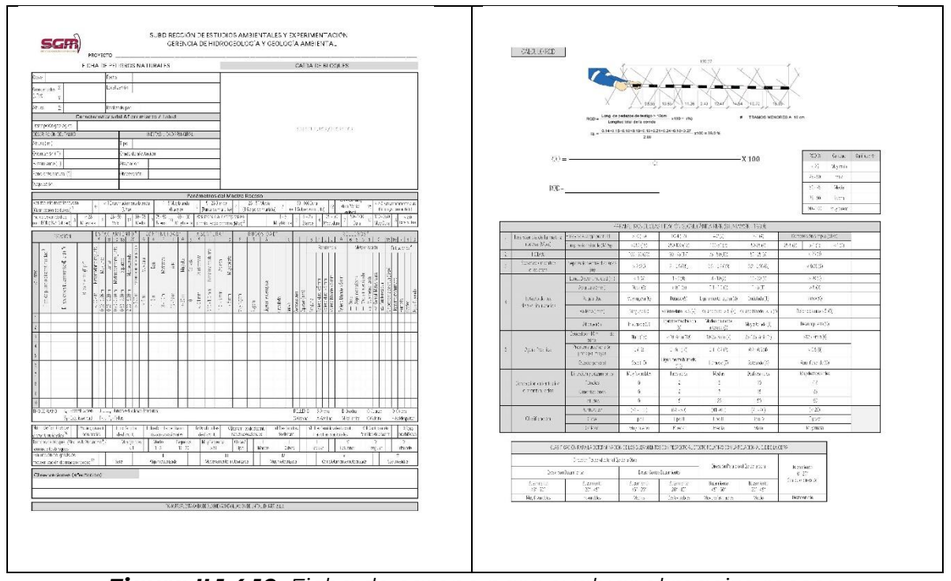
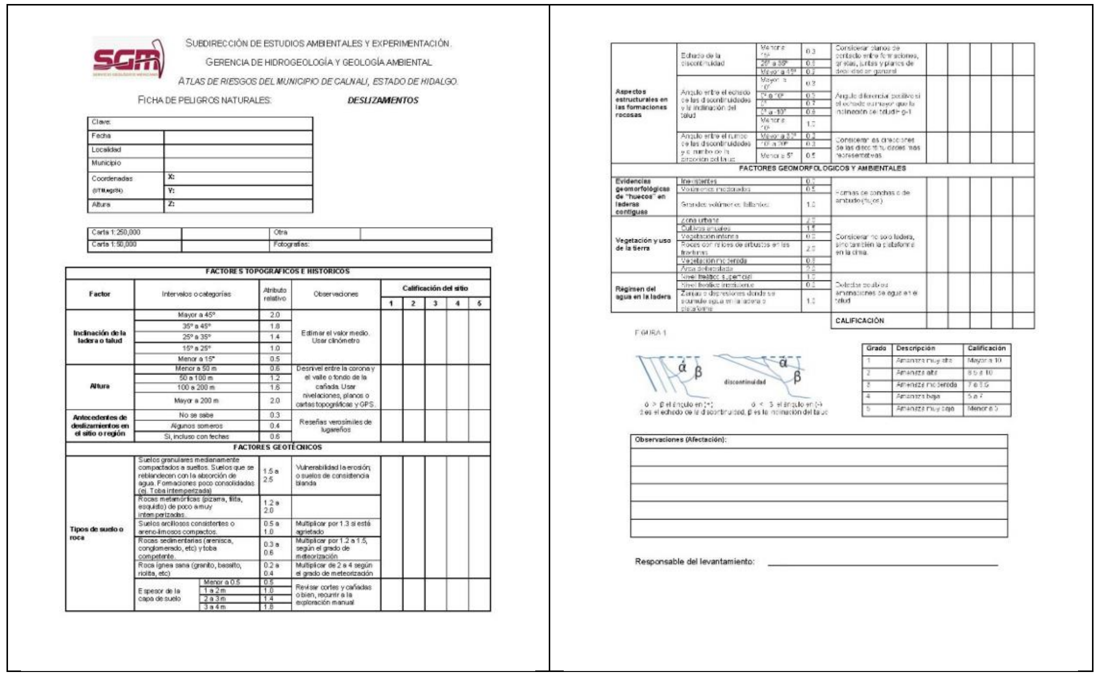


Figura II.1.4.10. *Ficha de campo para evaluar el macizo rocoso.*
Fuente: *Modificado de SGM, 2021.*

Otra de las fichas corresponde a peligros naturales por deslizamiento, modificada del CENAPRED, 2006, contiene datos generales del sitio a evaluar, utilizando los factores topográficos e históricos, inclinación de la ladera, altura del talud o ladera, antecedentes de deslizamientos, identificando los factores topográficos-geotécnicos (tipo de roca o suelo y aspectos estructurales), así como

geomorfológicos y ambientales (régimen de agua, vegetación y uso del suelo), a cada parámetro se le evalúa en función de su influencia respecto a la generación de inestabilidad de laderas, asignándoles un valor y así la sumatoria de todos los parámetros medidos dará en grado de amenaza en el sitio. **Figura II.1.4.11.**



SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y EXPERIMENTACIÓN.
GERENCIA DE HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA AMBIENTAL
ATLAS DE RIESGOS DEL MUNICIPIO DE CALNALI, ESTADO DE HIDALGO.
FICHA DE PELIGROS NATURALES: ***DESLIZAMIENTOS***

Clave:	
Fecha	
Localidad	
Municipio	
Coordenadas	X:
	Y:
Altura	Z:

Carta 1:250,000		Otra	
Carta 1:50,000		Fotografías:	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación del sitio 1	2	3	4	5
FACTORES TOPOGRAFICOS E HISTORICOS								
Inclinación de la ladera o talud	Mayor a 45°	2.0	Estimar el valor medio. Usar clinómetro					
	35° a 45°	1.8						
	25° a 35°	1.4						
	15° a 25°	1.0						
	Menor a 15°	0.5						
Altura	Menor a 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Usar nivelaciones, planos o cartas topográficas y GPS.					
	50 a 100 m	1.2						
	100 a 200 m	1.6						
	Mayor a 200 m	2.0						
Antecedentes de deslizamientos en el sitio o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños					
	Algunos someros	0.4						
	Si, incluso con fechas	0.6						
FACTORES GEOTÉCNICOS								
Tipos de suelo o roca	Suelos granulares medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas (ej. Toba intemperizada)	1.5 a 2.5	Vulnerabilidad la erosión, o suelos de consistencia blanda					
	Rocas metamórficas (pizarra, filita, esquisto) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0						
	Suelos arcillosos consistentes o areno-limosos compactos.	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado					
	Rocas sedimentarias (arenisca, conglomerado, etc) y toba competente.	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización					
	Roca ígnea sana (granito, basalto, riolita, etc)	0.2 a 0.4	Multiplicar de 2 a 4 según el grado de meteorización					
	Espesor de la capa de suelo: Menor a 0.5	0.5	Revisar cortes y cañadas o bien, recurrir a la exploración manual					
	1 a 2 m	1.0						
	2 a 3 m	1.4						
	3 a 4 m	1.8						
Aspectos estructurales en las formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	[illegible]	Considerar planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad en general					
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	[illegible]	Angulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación del talud. Fig-1					
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	[illegible]	Considerar las direcciones de las discontinuidades más representativas					
FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES								
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	[illegible]	Formas de conchas o de embudo (flujos)					
	Volúmenes moderados	0.5						
	Grandes volúmenes faltantes	1.0						
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	[illegible]	Considerar no solo ladera, sino también la plataforma en la cima.					
	Cultivos anuales	[illegible]						
	Vegetación intensa	[illegible]						
	Rocas con raíces de arbustos en las fracturas	2.0						
	Vegetación moderada	[illegible]						
	Área deforestada	[illegible]						
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud					
	Nivel freático inexistente	[illegible]						
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0						
			CALIFICACIÓN					

FIGURA 1

Grado	Descripción	Calificación
1	Amenaza muy alta	Mayor a 10
2	Amenaza alta	[illegible]
3	Amenaza moderada	[illegible]
4	Amenaza baja	5 a 7
5	Amenaza muy baja	Menor a 5

Observaciones (Afectación):

Responsable del levantamiento: ______

Figura II.1.4.11. *Ficha de campo para deslizamientos.*
Fuente: *Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006.*

Finalmente se tiene la ficha por flujos de detritos, ésta engloba lo que se considera como flujos de lodo, suelo, avalancha y lahar. La ficha de campo contiene datos de localización y ubicación (coordenada UTM), se describen las características del sitio en la que se detalla la composición del flujo, la longitud, el ancho, el origen y la edad; se determinan las estructuras geológicas del lugar (fallas, fracturas, sinclinales, etc.) así como la medición del azimut, echado, dirección preferencial de las discontinuidades y distancia aproximada a la infraestructura más próxima (vivienda y caminos), así como la descripción de posibles afectaciones del entorno. **Figura II.1.4.12.**

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y EXPERIMENTACIÓN
GERENCIA DE HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA AMBIENTAL
ATLAS DE RIESGOS DEL MUNICIPIO DE CALNALI, ESTADO DE HIDALGO.
FICHA DE PELIGROS NATURALES: ***FLUJO DE DETRITOS***

Clave:			
Fecha			
Localidad			
Municipio			
Coordenadas UTM	X:		
	Y:		
Altura	Z:		
Carta 1:250,000		Otra	
Carta 1:50,000			

Fotografías: ______

Características del sitio

Composición del flujo	
Longitud:	Ancho:
Origen	
Edad	

Estructuras existentes (fallas, fracturas, anticlinal, sinclinal, etc.)	
Azimut	Echado:
Dirección preferencial de las discontinuidades	
Distancia a la infraestructura (vivienda, camino, etc)	

Comentarios (afectación):

Responsable del levantamiento: ______

Figura II.1.4.12. *Ficha de campo para flujo de detritos.*
Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

En la tercera fase, se realiza el análisis e interpretación de la información generada, tanto en campo como en gabinete; con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se procede a la integración y análisis de la información, con la finalidad de generar mapas de peligros de los PRM.

Adicional a lo anterior, se incluye la zonificación de campo por medio de la evaluación de las fichas técnicas. A cada uno de los parámetros involucrados le es asignado un valor numérico con base al grado de influencia que ejerce cada uno en la generación de procesos de remoción en masa.

Por otra parte, el SIG es una herramienta muy potente para realizar estos tipos de modelos, ya que, por medio de ellos, se puede zonificar una determinada área de susceptibilidad, debido a que permite el almacenamiento y manipulación de la información de los diferentes factores que intervienen en el análisis de las capas de los datos. El procesamiento de la información se lleva a cabo en el software ArcMap10.8, en la cual, se reclasifican los valores de cada uno de los factores para su procesamiento.

II.1.4.1 Determinación de la susceptibilidad por deslizamiento

El análisis de multicriterio es de gran utilidad para encontrar soluciones a problemas complejos, ya que con el método de jerarquías analíticas ayuda a evaluar por medio de criterios heurísticos, los factores condicionantes y detonantes que propician que un Proceso de Remoción en Masa (PRM) ocurra. Este procedimiento está basado en el método de la Matriz de Jerarquías Analíticas (Saaty, 1990).

El método es viable para el enfoque del análisis de inestabilidad del terreno, ya que permite combinar la información de los criterios conforme a las características del terreno, para obtener un índice sintético de desempeño por cada alternativa que facilite una decisión. La importancia en la selección de variables para la representación de los PRM, radica en el criterio de seleccionar y ponderar los factores condicionantes y detonantes, a través del análisis de las causas que generan eventos dentro de la zona de interés.

La importancia de los criterios (variables) para la generación de los Procesos en Remoción en Masa (PRM), se fundamenta en determinar de manera cualitativa y cuantitativa los diferentes grados de importancia de las variables seleccionadas en función del mecanismo particular del tipo de movimiento. Para la elaboración de este trabajo. Se consideraron todos aquellos criterios que influyen en los PRM, la consideración de pesos, el análisis de las condiciones del terreno, lo observado en los recorridos de campo y la experiencia del especialista.

Para ello se hizo uso de la tabla de ponderación para la matriz de Jerarquías Analíticas, en la cual, Satty, 1990, la divide en tres criterios, en la primera, considera que (**i,j**) contribuyen de igual manera a los procesos de remoción en masa (PRM); en el criterio dos, el factor (**i**) es moderadamente más incluyente que el factor (**j**) para los PRM; finalmente, en el criterio tres, el factor (**i**) es absolutamente más incluyente que el facor (**j**) para los PRM. **Tabla II.1.4.1.1.**

Tabla II.1.4.1.1. *Medidas de escala relativa.*

ESCALA DE IMPORTANCIA RELATIVAS		
NIVEL DE IMPORTANCIA	**DEFINICIÓN**	**DESCRIPCIÓN**
1	Igual preferencia	Los dos criterios (i,j) contribuyen de igual manera al proceso de remoción de masas (PRM).
2	Moderada preferencia	El factor (i) es moderadamente más influyente que el factor (j) para el PRM.
3	Absoluta preferencia	El factor (i) es absolutamente más influyente que el factor (j) para el PRM.
Fuente: Recuperado de Saaty, 1990, Modificado por el SGM, 2023.		

Con estos criterios se procedió a realizar una matriz simétrica para deslizamiento, en la cual se tomaron en cuenta los factores litología, pendiente, vegetación, suelo, altimetría, lineamientos, drenaje, curvatura, sobrecarga del terreno y precipitación, una vez que se le asignaron valores, se calcula el promedio para cada variable, éstos se suman y el valor resultante divide a cada variable, esto con la finalidad de normalizar los datos que van de 0 a 1 o en porcentaje de 0 a 100. De esta manera se obtiene el peso para cada variable. **Tabla II.1.4.1.2.**

Tabla II.1.4.1.2 *Matriz simétrica para la obtención del valor de peso de cada factor.*

PONDERACIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LOS DESLIZAMIENTOS												
		j										
i	Factor	Litología	Pendiente	Vegetación	Suelo	Altimetría	Lineamientos	Drenaje	Curvatura	Sobre carga del terreno	Precipitación	(xij)/n	(xij)/n/S (xij)
	Litología	1.00	0.33	2.00	0.50	2.00	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.88	0.07
	Pendiente	3.00	1.00	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	1.95	0.16
	Vegetación	0.50	2.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	2.00	0.50	0.50	0.90	0.07
	Suelo	2.00	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	2.00	0.50	0.50	0.90	0.07
	Altimetría	0.50	0.50	2.00	2.00	1.00	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.88	0.07
	Lineamientos	2.00	0.50	2.00	2.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.50	1.70	0.14
	Drenaje	2.00	0.50	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.50	1.50	0.12
	Curvatura	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	2.00	0.80	0.07
	Sobrecarga del terreno	2.00	0.33	2.00	2.00	2.00	0.33	0.50	2.00	1.00	2.00	1.42	0.11
	Precipitación	2.00	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.50	0.50	1.00	1.45	0.12
											S (xij)	12.38	1.00
Fuente: Elaboración propia, 2023.													

Los PRM pueden ser desencadenantes tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas. Las características intrínsecas y las debilidades inherentes en las rocas y suelos, frecuentemente se combinan con uno o más eventos desestabilizadores, tales como lluvias intensas, actividad sísmica, actividad volcánica, y en menor proporción en México por el deshielo (CENAPRED, 2006).

A continuación, se describen brevemente cada uno de los mapas temáticos involucrados en la determinación del mapa de índice de susceptibilidad por deslizamientos.

La litología es uno de los factores más importantes que controlan los Procesos de Remoción en Masa (PRM). Con base a la información proporcionada por protección civil municipal y en los recorridos de campo, fue posible asignar las ponderaciones de las diferentes unidades litológicas que afloran en el área de interés y que son susceptibles a deslizamientos de suelo y roca. El municipio cuenta con 16 unidades litológicas, las cuales fueron agrupadas en tres clases de acuerdo a su comportamiento geomecánico similar.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (litología), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de litología, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso se dividieron en tres grupos, los cuales quedan de la siguiente manera: Caliza, Andesita, Andesita-Basalto, Basalto-Andesita, Dacita-Riolita, Andesita-Piroclastos (**7**); Toba-Riolítica-Ignimbrita, Toba Riolítica, Ignimbrita-Toba Dacítica (**14**); Toba Pumicítica, Lutita-Arenisca, Lacustre, Arena-Limo, Aluvión (**21**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to* Raster. **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4. 1.1.a.**

La presencia o ausencia de la vegetación puede afectar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra, la cobertura vegetal densa reduce la disponibilidad del agua al interceptar la lluvia y como consecuencia de la absorción y la evapotranspiración. La erosión del suelo puede estar sujeto en gran medida al tipo de vegetación, ya que los sistemas de raíces (especialmente los de las áreas boscosas) aumentan la resistencia al corte del suelo y ayudan a mejorar la estabilidad de las pendientes.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (Vegetación), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *layer* de vegetación, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Bosque de encino (**7**); Matorral crasicaude (**14**); Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino (**21**); pastizal inducido y natural, Agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal permanente (**28**); Áreas desprovistas de vegetación, urbano construido (**35**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.b.**

La pendiente tiene múltiples influencias en la susceptibilidad a los deslizamientos, afecta directamente al esfuerzo cortante en los suelos (material no consolidado) e indirectamente controla la velocidad del agua superficial (grado de saturación). Por otro lado, se espera que en pendientes suaves o bajas tengan una menor susceptibilidad a deslizamientos a diferencia que las de mayor pendiente.

Para obtener el Mapa de peso y grado de importancia (pendientes), se hace uso de la herramienta *ArcGis /3D Analyst Tool/Raster Surface/Slope*, para ello se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de interés, una vez que se obtenga el mapa, este se reclasifica en cinco clases. Posteriormente se vuelve a reclasificar en *Spatial Analyst Tool/Reclass/Reclassfy*, en el cual se ponen los datos de la tabla de asignación de peso, columna grado de importancia, de tal amera que para los rangos de pendiente les corresponden los siguientes valores: <15 (**16**); 15-25(**32**); 25-35 (**48**); 35-45 (**64**); >45(**80**). **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.c.**

Las propiedades físicas y químicas de un suelo influyen y son factor de gran relevancia en la ocurrencia de Procesos de Remoción en Masa (Guimaraes *et al*, 2003, Malet *et al*. 2003). La granulometría y la composición son factores de gran importancia, ya que si un suelo constituido con materiales poco consolidados como la arena, o bien de alta plasticidad como las arcillas, pueden ser muy propensos a la inestabilidad de laderas.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (suelos), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de suelos, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Leptosol (**7**); Planosol (**14**); Phaeozems (**21**); Rendzina (**28**); Vertisol (**35**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.d.**

La altimetría representa la diferencia máxima absoluta de elevación de un punto específico, calculada en una determinada área. De tal manera, que la mayor diferencia de elevación será más susceptible a deslizamiento de suelo o material blando, así como una mayor escorrentía y menor infiltración.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (altimetría), se requiere el uso del MDE, a este se le hace una reclasificación de cinco clases, posteriormente con ayuda de la herramienta *Spatial analys tolos/Reclass/Reclassify* se asignan los valores que corresponde de acuerdo al grado de importancia, de tal manera que para los rangos de cota les corresponden los siguientes valores: 2055 (**7**); 2179 (**14**); 2308 (**21**); 2482 (**28**); 3010 (**31**). **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.e.**

Los lineamientos son todas aquellas estructuras geológicas, tales como fallas, fracturas, diaclasas, estratificación y que en general forman una línea o zona de debilidad caracterizadas por rocas intensamente fracturadas. La distancia (amortiguamiento) de las estructuras tectónicas se presentan como probabilidad de ocurrencia de los procesos en remoción en masa, la erosión selectiva y el movimiento del agua a lo largo de los planos de falla promueven tales fenómenos. Para el desarrollo de este mapa se emplearon las estructuras geológicas de las

cartas geológico-minera San Juan del Río (F14-C67), Huichapan (F14-C78) y Tecozautla (F14-C68), esc. 1: 50,000, así como la interpretación de la imagen epipolar del municipio de Huichapan.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (lineamientos), se debe hacer una conversión de vector a raster para poder calcular una densidad lineamientos, para ello, se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst/density/Line Density*, posteriormente se procede a realizar un *Mask* y este se realiza con la herramienta *Spatial Analys Tool/Extraction/Extract by Mask*, el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el shape normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**14**)* para cuando hay presencia de una estructura geológica y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.f.**

Mapa de drenajes, algunos estudios han demostrado que la proximidad de las líneas de drenaje de la erosión intensiva de cárcavas, es un factor importante que controla la ocurrencia de PRM (Pachauri *et al*, 1998), esto se puede atribuir al hecho de que la modificación del terreno causada por la erosión de los barrancos (acción de socavamiento de los arroyos) puede influir en el desencadenamiento de PRM. Por otro lado, se observa la máxima infiltración en las laderas adyacentes a los arroyos donde los geomateriales tienen la máxima permeabilidad, es decir, rocas fragmentadas y depósitos coluviales.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (drenaje), se requiere tener el *layer* de drenaje en formato *raster*; para el cálculo de densidad de lineamientos, se hace uso de la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Density/Line Density*, una vez obtenido la densidad se procede a realizar un *Mask*, para ello se emplea la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Extraction/Extrac By Mask* el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el layer normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**12**)* para cuando hay presencia de un río o arroyo y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.g.**

El clima y en especial la precipitación juegan un papel determinante en la estabilidad de las laderas y taludes. La presencia o ausencia de precipitación, la variación de temperatura y clima, controlan las condiciones para los procesos de meteorización física y química. Los taludes y laderas bajo diferentes condiciones climáticas forman perfiles disparejos que se comportan de forma diferente. Las fuerzas que actúan dentro de un talud cambian al modificarse las condiciones ambientales. Ejemplo de ello, sucede cuando las anomalías climáticas permiten la ocurrencia de lluvias excepcionales en zonas semiáridas que generan problemas acelerados de deslizamientos y avalanchas (Suárez, 1998).

Dado lo anterior, los umbrales de las condiciones de lluvia, humedad del suelo o succión que al ser alcanzadas o excedidas podrían desencadenar deslizamientos. Un umbral de lluvia se puede entender como un límite mínimo sobre el cual se espera que existan deslizamientos y son de gran utilidad para para su predicción a escala regional.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia por precipitación (umbral de lluvias extremas)se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* donde se contengan las isolíneas de los umbrales de las lluvias extremas, posteriormente se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, quedando de la siguiente manera: 41-45 (**12**); 45-48 (**24**); 48-51 (**36**); 51-54 (**48**); 54-58 (**60**). **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.h.**

La sobre carga del terreno, es de gran importancia considerar este factor, debido a que las laderas han sido alteradas por la actividad antropogénica, debido a la construcción de viviendas e infraestructura. El peso de la infraestructura en general y dependiendo de las características intrínsecas del material rocoso o de suelo, puede favorecer a deslizamientos del terreno por gravedad. Para la obtención del mapa de sobrecarga, se requiere el límite del área, en el cual se le sobrepone las áreas urbanas, en la tabla de atributos se le coloca un campo llamado “peso” el cual va a ser llenado de acuerdo a la tabla de asignación de peso, que para nuestro caso es (**11**) para cuando hay área urbana y cero cuando no lo hay.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (sobrecarga del terreno), se procede a usar la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. Una vez que tenemos los dos rasters, se utiliza la herramienta *Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster*. Con la finalidad de obtener un solo *raster*. Al final del proceso tendremos un mapa con una leyenda de (**0 – 11**) que corresponde al valor de ausencia de construcción (**0**) y presencia de construcción (**11**). **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.i.**

La curvatura representa prácticamente la morfología de la topografía (Zevenberger & Thorne, 1987). Los valores positivos indican una superficie convexa hacia arriba en la celda y los valores negativos indican una superficie que es cóncava hacia arriba, un valor de cero representa áreas planas. Para valores negativos, cuanto menos sea el valor, mayor será la superficie a un PRM. Después de fuertes lluvias, las pendientes cóncavas hacia arriba tienen más agua y la retienen por más tiempo. Las áreas convexas hacia arriba no muestran correlación con la ocurrencia de PRM.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (curvatura de la ladera), se requiere el modelo digital de elevación del área de estudio, se procede a hacer uso de la herramienta *3D Analyst tool/Raster Surface/Curvature*, una vez obtenido en mapa, se procede a realizar una clasificación en tres clases, para ello se hace uso de *Properties/Classified*, asignando valores negativos (**-**) y valores positivos (**+**), dejando el último valor por *defaul*, nuevamente se procede a hacer uso de la herramienta *Spatial Analyst/Reclass/Reclassify*, en el cual se le asignan los valores de grado de importancia, los cuales son: Cóncavo (**7**); Plana (**14**); Convexo (**21**). **Tabla II.1.4.1.3; Figura II.1.4.1.1.j.**

***Tabla II.1.4.1.3**. Asignación de peso para la obtención del grado de importancia para los factores que inciden en los deslizamientos.*

ASIGNACIÓN DE PESO A LAS VARIABLES POR DESLIZAMIENTO				
Mapa temático (Factor)	**Clase**	**Valor de clase (influencia)**	**Peso**	**Grado de importancia**
Litología (U1)	Caliza	1	0.07	0.07
	Andesita			
	Andesita-Basalto			
	Basalto-Andesita			
	Andesita			
	Dacita-Riolita			
	Andesita-Piroclasto			
Litología (U2)	Toba Riolítica-Ignimbrita	2		0.14
	Toba Riolítica			
	Ignimbrita-Toba Dacítica			
	Toba-Riolítica			
Litología (U3)	Toba Pumicítica	3		0.21
	Lutita-arenisca			
	Lacustre			
	Arena-Limo			
	Aluvión			
Pendiente	< 15	1	0.16	0.16
	15 - 25	2		0.32
	25 - 35	3		0.48
	35 - 45	4		0.64
	> 45	5		0.80
Vegetación	Bosque de encino	1	0.07	0.07
	Matorral crasicaule	2		0.14
	Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino.	3		0.21
	Pastizal inducido, Pastizal natural, Agricultura de riego anual, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente.	4		0.28
	Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido	5		0.35
Suelo	Leptosol	1	0.07	0.07
	Planosol	2		0.14
	Phaeozems	3		0.21
	Rendzina	4		0.28
	Vertisol	5		0.35
Altimetría	1840 - 2055	1	0.07	0.07
	2055 - 2179	2		0.14
	2179 - 2308	3		0.21
	2308 - 2482	4		0.28
	2482 - 3010	5		0.35
Lineamiento	Presencia	1	0.14	0.14
	Ausencia	0		0.00
Drenaje	Presencia	1	0.12	0.12
	Ausencia	0		0.00
Curvatura	Concavo	1	0.07	0.07
	Plana	2		0.14
	Convexo	3		0.21
Sobre carga del terreno	Presencia	1	0.11	0.11
	Ausencia	0		0.00
Umbral de lluvias extremas	41-45	1	0.12	0.12
	45-48	2		0.24
	48-51	3		0.36
	51-54	4		0.48
	54-58	5		0.60

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Finalmente, para la obtención del Mapa Índice de Susceptibilidad por Deslizamiento (MISD)se hizo uso de la herramienta *Spatial analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator*. Para ello se sumaron los diez factores que inciden en la generación de deslizamientos y estos se dividieron entre (10), obteniendo como resultado el MISD. ***Figura II.1.4.1.2.***

Con al mapa obtenido, se puede observar que existen pequeñas áreas susceptibles a los deslizamientos, principalmente en la parte poniente del municipio, las localidades pueden llegar a presentar cierto riesgo, son las localidades de Tlaxcalilla y La Cruz.

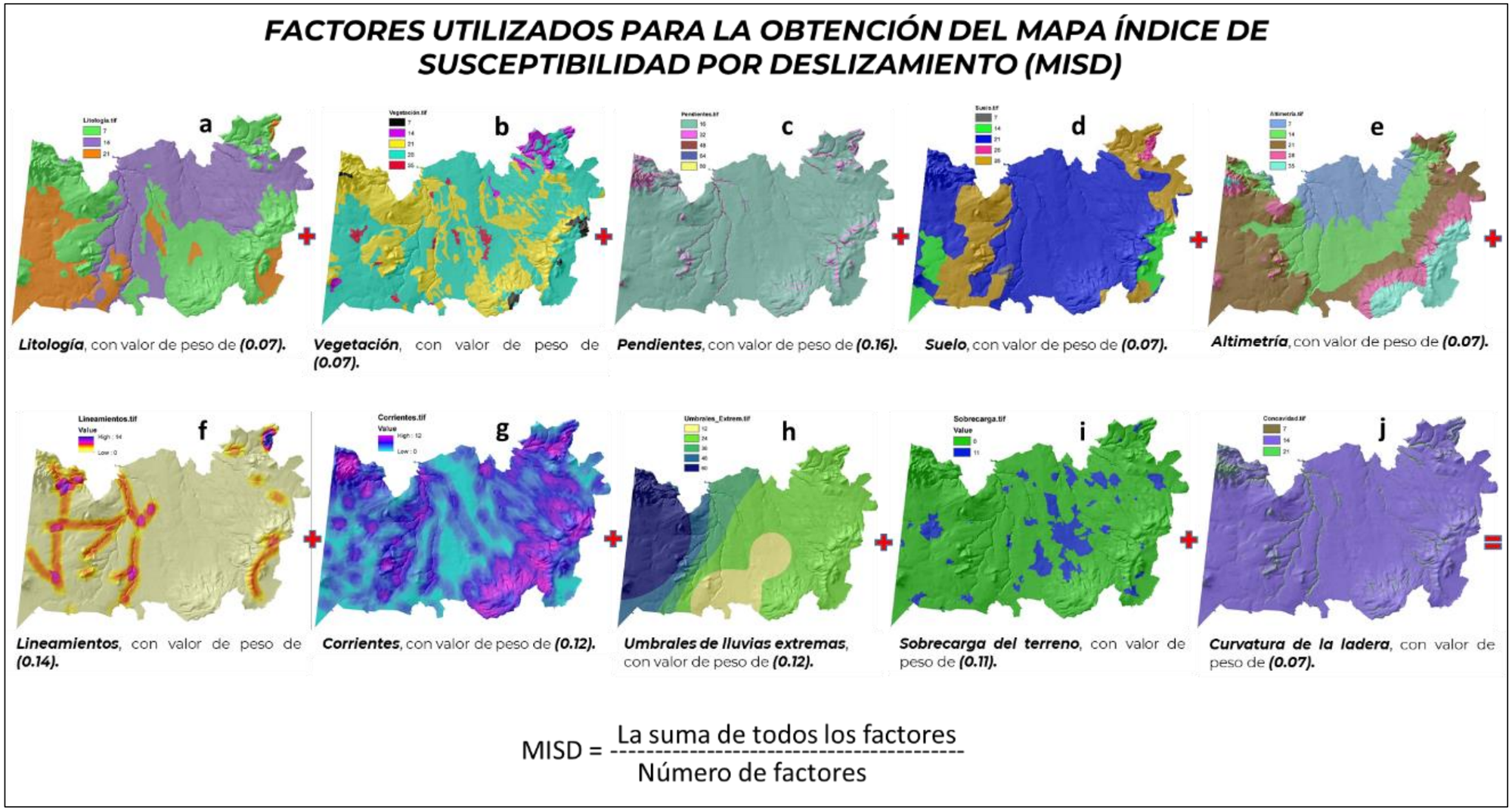


Figura II.1.4.1.1.a-j. *Factores utilizados para determinar el índice de susceptibilidad por deslizamientos.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

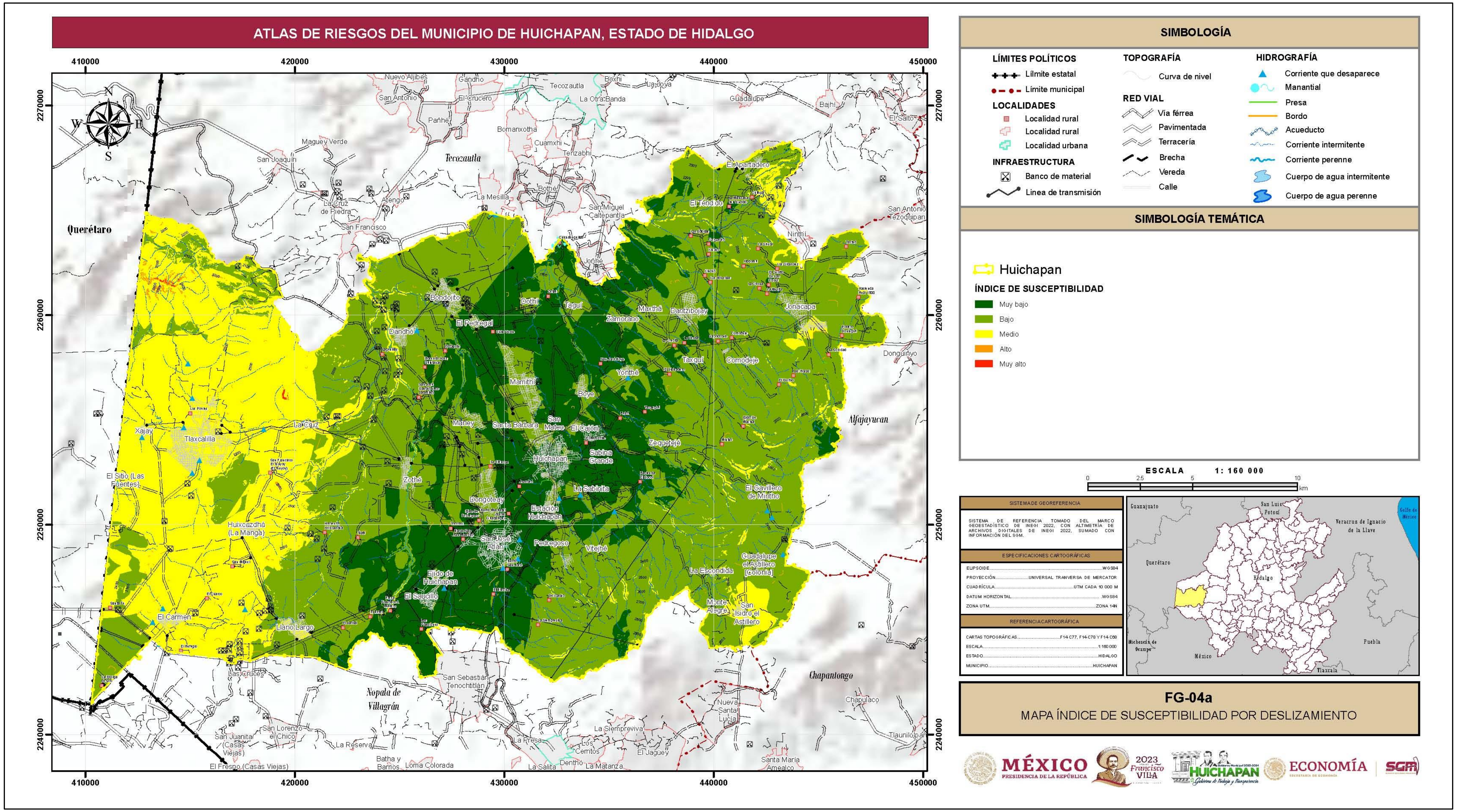


Figura II.1.4.1.2. *Mapa índice de susceptibilidad por deslizamiento en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Descripción de los sitios verificados en campo susceptibles a presentar deslizamientos.

En la etapa de trabajos de campo, se prospectaron todas aquellas localidades que, de acuerdo al análisis de gabinete, resultaron en zonas de susceptibilidad media, alta y muy alta. Estos recorridos se llevaron a cabo con el apoyo de Protección Civil del municipio de Huichapan, estado de Hidalgo. Durante los recorridos se identificaron diferentes procesos de remoción en masa a diferentes escalas, las que mayor predominan son los caídos de bloques, flujos y en menor proporción los deslizamientos.

Para el análisis de deslizamientos en campo, se evaluaron laderas mediante una ficha técnica en la cual se registran factores topográficos e históricos, tales como: la inclinación de la ladera y/o altura del talud, antecedentes de deslizamientos en el sitio o región, factores geotécnicos como el tipo de suelo o roca, aspectos estructurales en las formaciones rocosas, evidencias geomorfológicas de hueco en las laderas contiguas, tipo de vegetación, uso del suelo, así como el nivel freático de la ladera.

En la localidad de Tlaxcalilla, se tiene el punto de inspección **HD01**, ubicado en las coordenadas 14Q 415626 mE y 2254089 mN y elevación de 2181 msnm, en el lugar se observan rocas volcánicas, hacia su base son depósitos y flujos de pómez de aspecto arenoso, hacia la cima basalto y andesitas de composición máfica. Los asentamientos de viviendas se encuentran en ambas litologías, siendo las pendientes de 25 a 35° en los flujos de pómez y subhorizontal en los derrames de lava.

Aunque aquí la precipitación no es un factor detonante para la generación de deslizamientos, sin embargo, por ser zona urbana, existe la posibilidad de filtraciones de agua por la red hidráulica o fugas de agua en las viviendas, lo que puede provocar un deslizamiento de terreno. De acuerdo a la ficha técnica levantada en campo, nos arroja una amenaza baja a deslizamiento. **Fotografías II.1.4.1.1a-b.**

Fotografías II.1.4.1.1a-b. *En la imagen* ***a*** *se observa un corte de talud inestable con obra de mitigación para evitar el desplazamiento del material, en la imagen* ***b*** *se observa la pumicita con matriz arenosa, en línea roja el plano de discontinuidad.*

II.1.4.2 Determinación de la susceptibilidad por caída de bloques

Con base al uso de la tabla de ponderación para la matriz de jerarquización analítica **Tabla II.1.4.1.1**,se elaboró la matriz simétrica para la obtención del peso para cada uno de los factores que intervienen en la incidencia de caída de bloques, para nuestro caso se tomaron en cuenta los factores de litología, pendiente, vegetación, suelo, altimetría, lineamientos, drenaje, curvatura, sobrecarga del terreno y precipitación (umbrales), una vez que se le asignaron valores, se calcula el promedio para cada variable, éstos se suman y el valor resultante divide a cada variable, esto con la finalidad de normalizar los datos que van de 0 a 1 o en porcentaje de 0 a 100. De esta manera se obtiene el peso para cada variable. **Tabla II.1.4.2. 1.**

Tabla II.1.4.2.1*.. Matriz simétrica para la obtención del valor de peso de cada factor.*

PONDERACIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA CAÍDA DE BLOQUES													
Factores	Litología	Pendiente	Vegetación	Suelo	Altimetría	Lineamientos	Drenaje	Curvatura	Sobre carga del terreno	Precipitación	(xij)/n	(xij)/n/S (xij)	Factores
Litología	1.00	0.50	3.00	0.50	3.00	0.33	0.33	0.50	2.00	2.00	1.31	0.10	Litología
Pendiente	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	0.50	0.50	0.50	3.00	3.00	1.65	0.13	Pendiente
Vegetación	0.33	0.50	1.00	2.00	0.50	0.33	0.50	0.50	0.33	2.00	0.79	0.06	Vegetación
Suelo	2.00	0.50	0.50	1.00	2.00	0.50	0.50	0.33	2.00	2.00	1.13	0.08	Suelo
Altimetría	0.33	0.50	2.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	2.00	3.00	1.08	0.09	Altimetría
Lineamientos	3.00	2.00	3.00	2.00	2.00	1.00	0.50	2.00	2.00	3.00	2.05	0.16	Lineamientos
Drenaje	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.15	Drenaje
Curvatura	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	0.50	0.50	1.00	2.00	2.00	1.70	0.12	Concavidad
Sobrecarga del terreno	0.50	0.33	3.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	3.00	1.03	0.07	Sobrecarga del terreno
Precipitación	0.50	0.33	0.50	0.50	0.33	0.33	0.50	0.50	0.33	1.00	0.48	0.04	Precipitación
										S (xij)	13.22	1.00	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, se describen brevemente cada uno de los mapas temáticos involucrados en la determinación del mapa de índice de susceptibilidad por caída de bloques.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (litología), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de litología, en la tabla de atributos se añade un campo denominado "peso de la variable" en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso se dividieron en tres grupos, los cuales quedan de la siguiente manera: Caliza, Andesita, Andesita-Basalto, Basalto-Andesita, Dacita-Riolita, Andesita-Piroclasto (**30**); Toba-Riolítica-Ignimbrita, Toba Riolítica, Ignimbrita-Toba Dacítica (**20**); Toba Pumicítica, Lutita-Arenisca, Lacustre, Arena-Limo, Aluvión (**10**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.a**.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (Vegetación), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de vegetación, en la tabla de atributos se añade un campo denominado "peso de la variable" en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Bosque de encino (**6**); Matorral crasicaude (**12**); Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino (**18**); pastizal inducido y natural, Agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal permanente (**24**); Áreas desprovistas de vegetación, urbano construido (**30**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.b**.

Para obtener el Mapa de peso y grado de importancia (pendientes), se hace uso de la herramienta *ArcGis /3D Analyst Tool/Raster Surface/Slope*, para ello se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de interés, una vez que se obtenga el mapa, este se reclasifica en cinco clases. Posteriormente se vuelve a reclasificar en *Spatial Analyst Tool/Reclass/Reclassfy*, en el cual se ponen los datos de la tabla de asignación de peso, columna grado de importancia, de tal manera que para los rangos de pendiente les corresponden los siguientes valores: <15 (**13**); 15-25(**26**); 25-35 (**39**); 35-45 (**52**); >45(**65**). **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.c**.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (suelos), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de suelos, en la tabla de atributos se añade un campo denominado "peso de la variable" en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Leptosol (**8**); Planosol (**16**); Phaeozems (**24**); Rendzina (**32**); Vertisol (**40**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.d**.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (altimetría), se requiere el uso del MDE, a este se le hace una reclasificación de cinco clases, posteriormente con ayuda de la herramienta *Spatial analys tolos/Reclass/Reclassify* se asignan los valores que corresponde de acuerdo al grado de importancia, de tal manera que para los rangos de cota les corresponden los siguientes valores: 2055 (**9**); 2179 (**18**); 2308 (**27**); 2482 (**36**); 3010 (**40**). **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.e**.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (lineamientos), se debe hacer una conversión de vector a raster para poder calcular una densidad lineamientos, para ello, se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst/density/Line Density*, posteriormente se procede a realizar un *Mask* y este se realiza con la herramienta *Spatial Analys Tool/Extraction/Extract by Mask*, el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el layer normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**16**)* para cuando hay presencia de una estructura geológica y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.f**.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (drenaje), se requiere tener el *layer* de drenaje en formato *raster*; para el cálculo de densidad de lineamientos, se hace uso de la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Density/Line Density*, una vez obtenido la densidad se procede a realizar un *Mask*, para ello se emplea la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Extraction/Extrac By Mask* el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el layer normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**15**)* para cuando hay presencia de un río o arroyo y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.g.**

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia por precipitación (umbral de lluvias extremas), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape*

donde se contengan las isolíneas de los umbrales de las lluvias extremas, posteriormente se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, quedando de la siguiente manera: 41-45 (**4**); 45-48 (**8**); 48-51 (**12**); 51-54 (**16**); 54-58 (**20**). **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.h**.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (sobrecarga del terreno), se requiere tener el shape de las áreas urbanas y límite del área municipio, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. Una vez que tenemos los dos rasters, se utiliza la herramienta *Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster*. Con la finalidad de obtener un solo *raster*. Al final del proceso tendremos un mapa con una leyenda de (**0 – 7**) que corresponde al valor de ausencia de construcción (**0**) y presencia de construcción (**7**). **Tabla II.1.4.2.2; Figura II.1.4. 2.1.i.**

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (curvatura de la ladera), se requiere el modelo digital de elevación del área de estudio, se procede a hacer uso de la herramienta *3D Analyst tool/Raster Surface/Curvature*, una vez obtenido en mapa, se procede a realizar una clasificación en tres clases, para ello se hace uso de *Properties/Classified*, asignando valores negativos (**-**) y valores positivos (**+**), dejando el último valor por *defaul*, nuevamente se procede a hacer uso de la herramienta *Spatial Analyst/Reclass/Reclassify*, en el cual se le asignan los valores de grado de importancia, los cuales son: Cóncavo (**12**); Plana (**24**); Convexo (**36**). **Tabla II.1.4.2.2**; ***Figura II.1.4. 2.1.j***.

Tabla II.1.4.2.2. *Asignación de peso para la obtención del grado de importancia para los factores que inciden en la caída de bloques.*

ASIGNACIÓN DE PESO A LAS VARIABLES POR CAÍDA DE BLOQUES				
Mapa temático (Factor)	**Clase**	**Valor de clase (influencia)**	**Peso**	**Grado de importancia**
Litología (U1)	**Toba Pumicítica**	**1**	**0.10**	**0.10**
	Lutita-arenisca			
	Lacustre			
	Arena-Limo			
	Aluvión			
	Toba Riolítica-Ignimbrita			
	Toba Riolítica			
Litología (U2)	**Ignimbrita-Toba Dacítica**	**2**		**0.20**
	Toba-Riolítica			
	Caliza			
	Andesita			
Litología (U3)	**Andesita-Basalto**	**3**		**0.30**
	Basalto-Andesita			
	Andesita			
	Dacita-Riolita			
	Andesita-Piroclasto			
Pendiente	**< 15**	**1**	**0.13**	**0.13**
	15 - 25	**2**		**0.26**
	25 - 35	**3**		**0.39**
	35 - 45	**4**		**0.52**
	> 45	**5**		**0.65**
Vegetación	**Bosque de encino**	**1**	**0.06**	**0.06**
	Matorral crasicaule	**2**		**0.12**
	Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino.	**3**		**0.18**
	Pastizal inducido, Pastizal natural, Agricultura, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente.	**4**		**0.24**
	Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido	**5**		**0.30**
Suelo	**Leptosol**	**1**	**0.08**	**0.08**
	Planosol	**2**		**0.16**
	Phaeozems	**3**		**0.24**

	Rendzina	***4***		***0.32***
	Vertisol	***5***		***0.40***
Altimetría	***1840 - 2055***	***1***	***0.09***	***0.09***
	2055 - 2179	***2***		***0.18***
	2179 - 2308	***3***		***0.27***
	2308 - 2482	***4***		***0.36***
	2482 - 3010	***5***		***0.40***
Lineamiento	***Presencia***	***1***	***0.16***	***0.16***
	Ausencia	***0***		***0.00***
Drenaje	***Presencia***	***1***	***0.15***	***0.15***
	Ausencia	***0***		***0.00***
Curvatura	***Concavo***	***1***	***0.12***	***0.12***
	Plana	***2***		***0.24***
	Convexo	***3***		***0.36***
Sobre carga del terreno	***Presencia***	***1***	***0.07***	***0.07***
	Ausencia	***0***		***0.00***
Umbral de lluvias extremas	***41-45***	***1***	***0.04***	***0.04***
	45-48	***2***		***0.08***
	48-51	***3***		***0.12***
	51-54	***4***		***0.16***
	54-58	***5***		***0.20***

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Finalmente, para la obtención del Mapa Índice de Susceptibilidad por Caída de Bloques (MISC)se hizo uso de la herramienta *Spatial analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator*. Para ello se sumaron los diez factores que inciden en la generación de caída de bloques y estos se dividieron entre (10), obteniendo como resultado el MISC. **Figura II.1.4.2.2.**

Con al mapa obtenido, se puede observar que existen pequeñas áreas susceptibles por caída en bloques, principalmente en las partes altas del lado oriente, suroriente y poniente del municipio, existen seis localidades que pueden tener afectación, los cuales son: Tlaxcalilla, La Crúz, Zothé, San Isidro El astillero, El Gavillero de Mintho, y El Apartadero.

Descripción de los sitios verificados en campo susceptibles a presentar caída de bloques.

En el apartado de conceptos básicos se describen los mecanismos por caída de bloques, los cuales son: falla por volteo, falla plana y falla en cuña. En los recorridos de campo, se identificaron los tres tipos de movimiento de bloques, tanto en taludes como en laderas.

Para definir la estabilidad de los taludes, se utilizó el programa *Dips* versión 6, ya que este es un programa diseñado para realizar análisis y visualizar información de los datos estructurales del macizo rocoso; con esta herramienta se representa orientaciones e inclinaciones preferentes de elementos que en la naturaleza no se presentan con desarrollos geométricos perfectos, como el caso de estratos, fallas y fracturas.

Sobre el plano del talud, se toman datos de inclinación y dirección de la inclinación, para el caso de las discontinuidades (estratificación, fallas, fracturas, y esquistosidad), de igual manera, se toman datos de los planos de inclinación y dirección de la inclinación.

Sobre el plano del talud, se toman datos de inclinación y dirección de la inclinación, para el caso de las discontinuidades (estratificación, fallas, fracturas, y esquistosidad), de igual manera, se toman datos de los planos de inclinación y dirección de la inclinación.

Sobre la carretera pavimentada que comunica a las localidades de Ejido de Huichapan y Llano Largo, se tiene un corte de talud por ambos lados, el cual se hizo la verificación con clave de campo **H052** y levantamiento de ficha técnica **HC01**, ubicado en las coordenadas 14Q 424638 mE y 2245890 mN con elevación de 2192 m. En el sitio se tienen taludes constituidos por flujos de lava basáltica de color ocre a negro a la intemperie y negro al fresco, fracturamiento de medio a alto; se observa que a escasos metros existe un contacto estratigráfico, en donde el basalto sobreyace a tobas riolíticas e ignimbritas del Plioceno.

El lugar presenta inestabilidad en sus taludes por caída de bloques, las discontinuidades presentan intersecciones, lo que provoca caída por cuña. De acuerdo a información de Protección Civil Municipal, en esta zona existen detonaciones (banco en explotación), por lo que puede generar la caída de bloques, siendo la afectación a la vía pavimentada de gran flujo vehicular. Es importante mencionar que en la actualidad este banco de material se encuetra sin operación **Fotografías II.1.4.2.1a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC01, se identificaron cuatro familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.3**

se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y volteo, representada por cuña la intersección de 5m: J2 (39/309) con 1m: J1 (60/44); 3m: J3 (78/121) con 1m: J1 (60/44) y 4m: J4 (82/2645) con 3m: J3 (78/121), finalmente por volteo 1m: J1 (60/44), siendo los datos del talud de (88/235) y un ángulo de fricción de 45°.

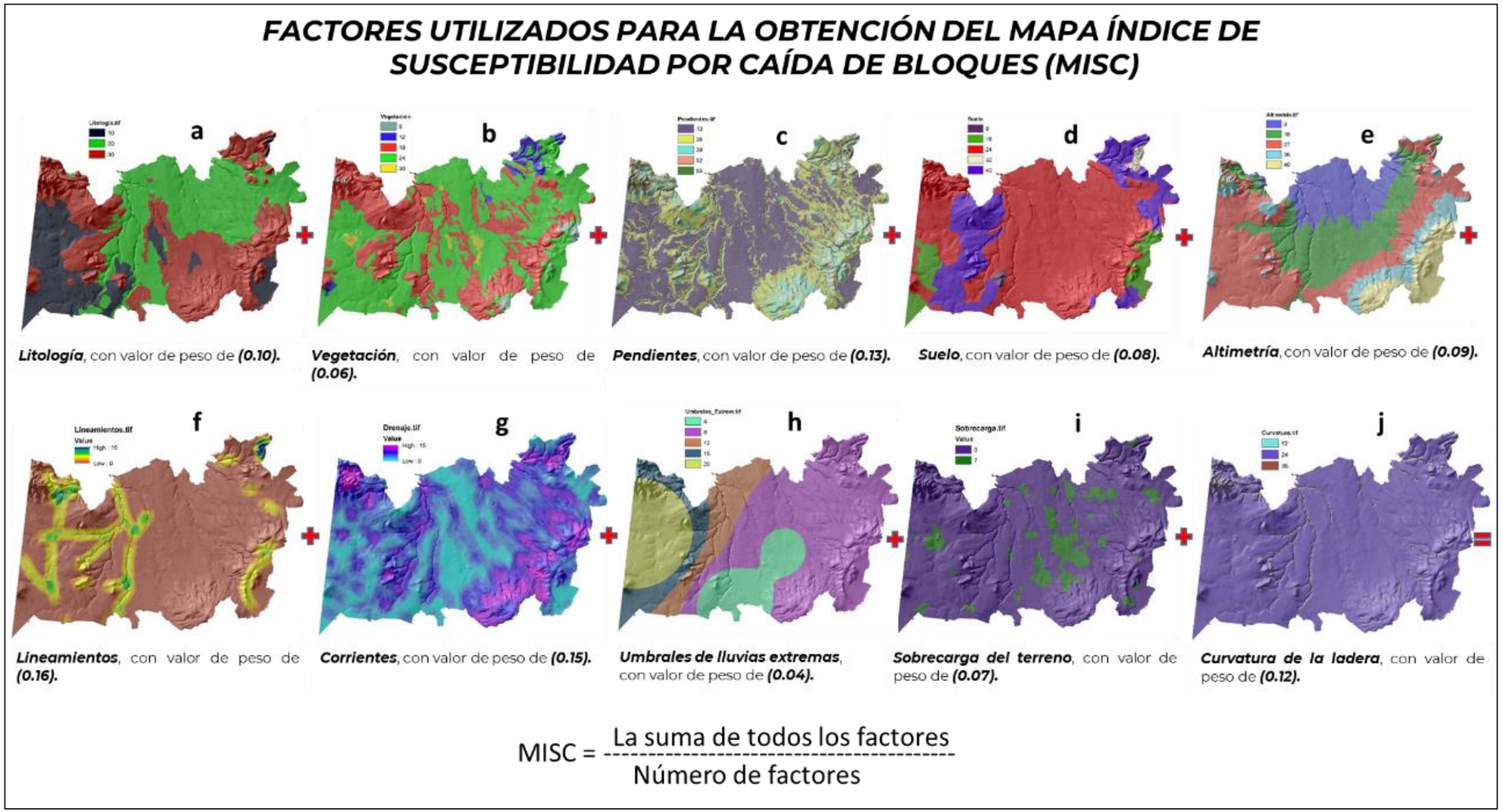


***Figura II.1.4. 2.1.a-j**. Factores utilizados para determinar el índice de susceptibilidad por caída de bloques.*
***Fuente:** Elaboración propia, 2023*

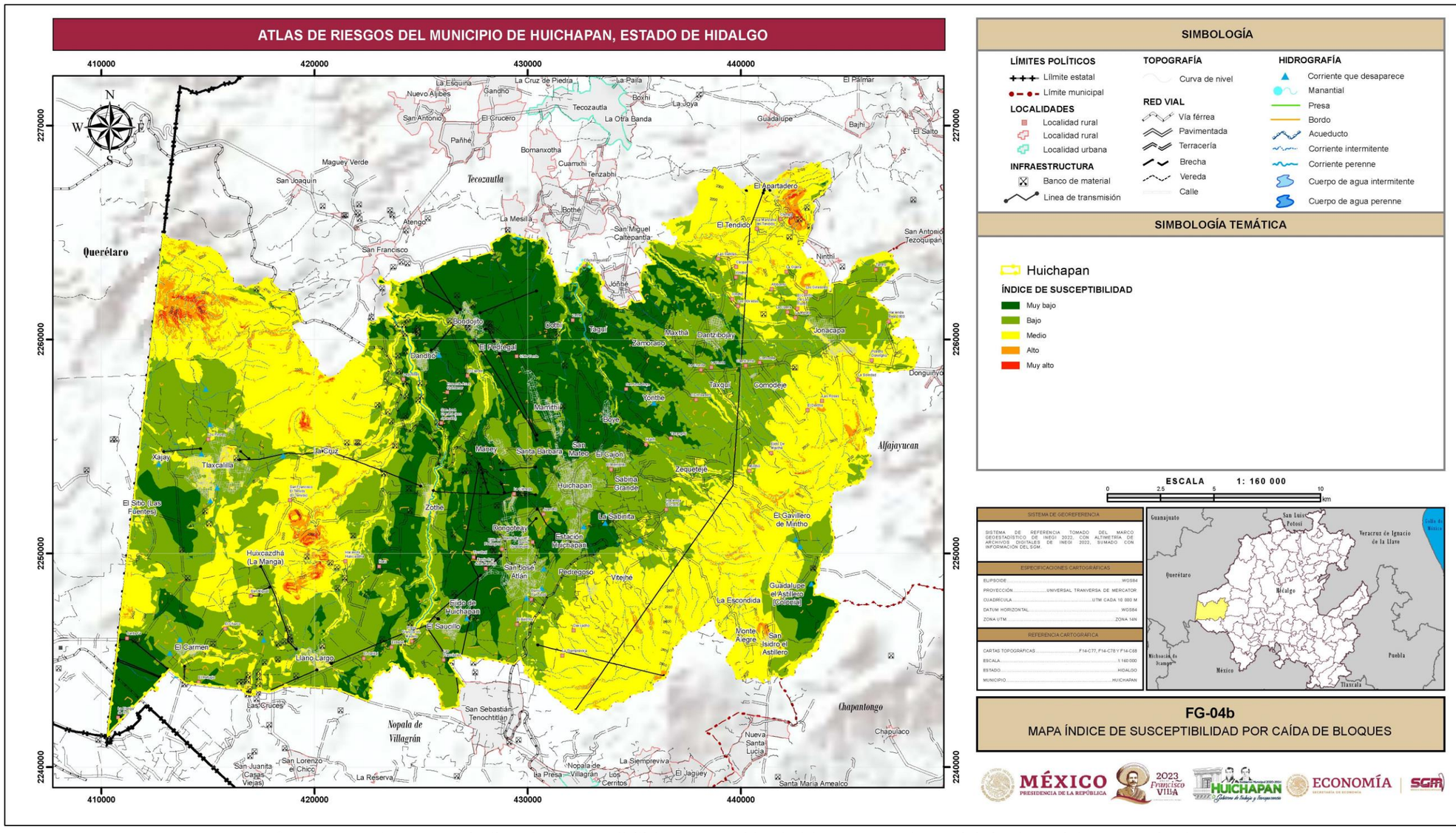
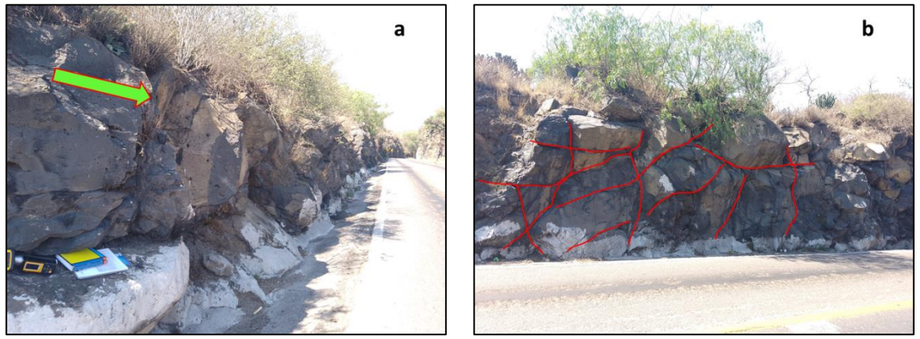


Figura II.1.4. 2.2. *Mapa índice de susceptibilidad por caída de bloques en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023*



Fotografías II.1.4.2.1a-b. *En la imagen* ***a*** *se observa el corte de talud con afectación a la vialidad. En la imagen* ***b*** *se observan las discontinuidades y en ocasiones talud con pendiente negativa.*

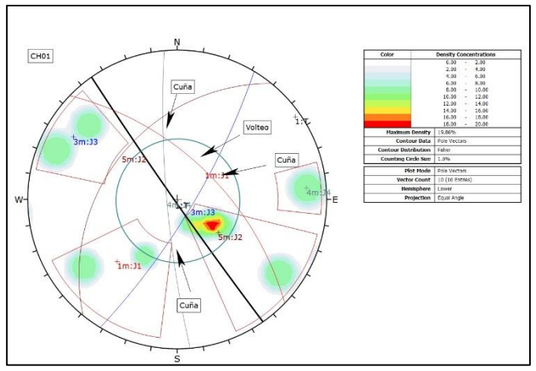


Figura II.1.4.2.3 interpretación estereográfica (**CH01**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y volteo.

En la localidad de Tlaxcalilla se tiene roca basáltica-andesítica del Plioceno, la cual sobreyace a toba pumicítica del Plioceno, en el frente suroeste del remanente, se encuentran viviendas con riesgo a ser afectadas por algún caído de rocas. En el sitio se realizó la verificación de campo **H053** y levantamiento de ficha técnica **HC02**, ubicado en las coordenadas 14Q 415637 mE y 2254312 mN con elevación de 2205 m. El material litológico consiste grandes bloques de roca basáltica, intercalado con material brechoide de la misma composición, el tamaño de los bloques es en promedio de 3 m^3, mientras que, para el material piroclástico, el espesor es de 1 m en promedio. Presenta una coloración ocre, café rojizo al intemperie y negro al fresco.

El lugar presenta inestabilidad en sus taludes por caída de bloques, las discontinuidades presentan intersecciones, lo que provoca caída por cuña y deslizamiento por falla plana. Pendiente abajo se encuentran viviendas, así como rodados de roca que se han desplazo aproximadamente 6 m. Un posible evento de desprendimiento y caída de bloques podría afectar principalmente a las viviendas que se ubican en la periferia del afloramiento (cerro). **Fotografías II.1.4.2.2a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC02, se identificaron cinco familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.4** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y deslizamiento por falla plana; representada por cuña la intersección de 3m: J3 (45/44) con 1m: J1 (84/310); 4m: J4 (47/181) con 2m: J2 (83/277), mientras que por falla plana es 1m: J1 (84/310), el valor del talud es de (78/304) y un ángulo de fricción de 45°.

Fotografías II.1.4.2.2a-b. *En la imagen a se observan las discontinuidades con intersección entre ellas. En la imagen b se observa a detalle los depósitos piroclásticos, la cual, determina parte del tamaño y forma de los bloques.*

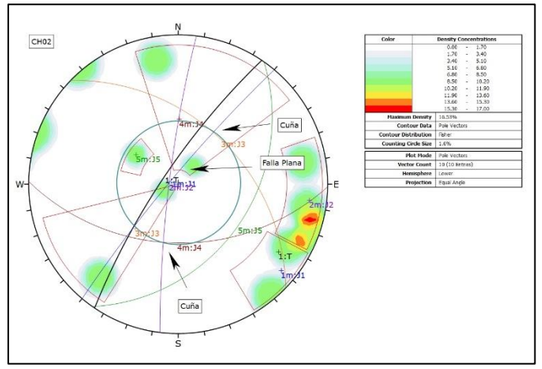
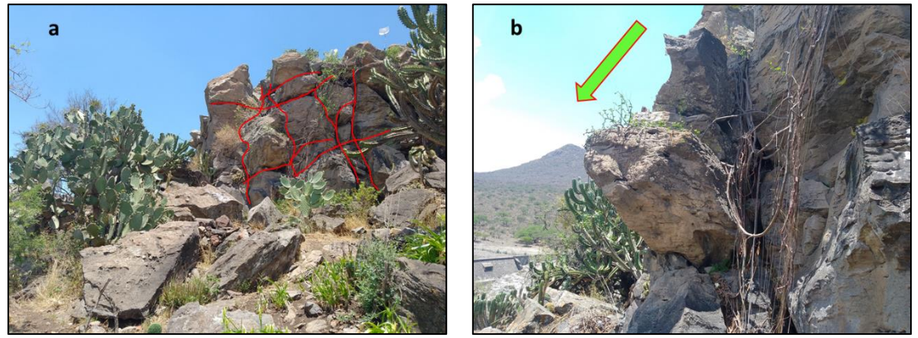


Figura II.1.4.2.4 *interpretación estereográfica (**CH02**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana.*



Fotografías II.1.4.2.3a-b. *En la imagen **a** se observa parte del talud con alto contenido de discontinuidades. En la imagen **b** se observan bloques desprendidos y con posibilidad a rodamiento.*

En la localidad La Cruz, porción noroeste, se encuentran derrames de composición basáltica andesítica del Plioceno, la cual sobreyace a depósitos pumicíticos del Plioceno y andesita basalto del Mioceno. En el sitio se realizó la verificación de campo con la clave **HC054** y levantamiento de ficha técnica **HC03**, ubicado en las coordenadas 14Q 420386 mE y 2254857 mN con elevación de 2137 m. En el sitio se tienen taludes constituidos por flujos de lava basálticos y andesíticos de color café oscuro a negro a la intemperie y negro al fresco: fracturamiento de medio a alto.

En el lugar, se encuentran asentadas varias viviendas a un costado del frente de depósitos volcánicos, este presenta discontinuidades en diferentes direcciones, algunas de ellas se cruzan entre sí, además que, en algunas partes del talud, presentan pendiente negativa, provocando la caída de bloques, los mecanismos de movimiento identificados son por cuña y falla plana. Hasta el momento Protección Civil Municipal no tiene reporte de algún incidente por caída o rodamiento de rocas. **Fotografías II.1.4.2.3a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC03, se identificaron cuatro familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.5** se tiene la interpretación estereográfica de los datos levantados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y falla plana, representada por cuña la intersección de 3m: J3 (84/221) con 2m: J2 (70/157); 1m: J1 (63/310) con 3m: J3 (84/221) y por falla plana 3m: J3 (84/221), siendo los datos del talud de (88/225) y un ángulo de fricción de 45°

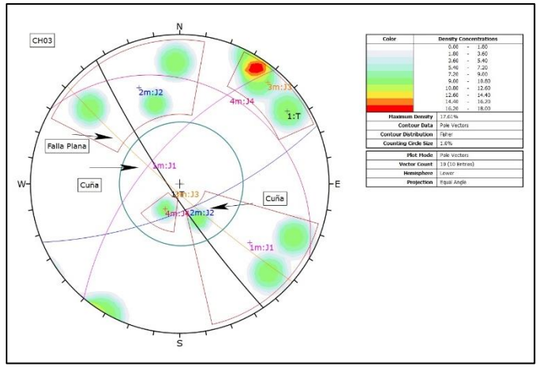


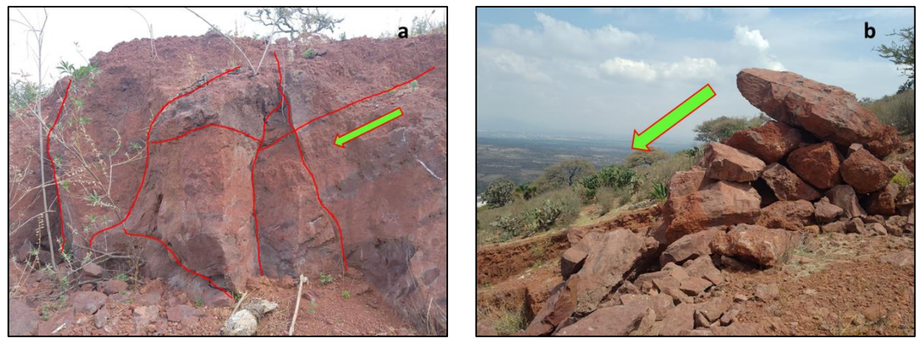
Figura II.1.4.2.5 *interpretación estereográfica (**CH03**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana.*

En la porción oriente de la localidad La Escondida, se ubica un banco de material abandonado, en donde se encuentra una gran cantidad de bloques de diferentes tamaños, depositados sobre terrazas y parte de la ladera. En el sitio se realizó la verificación de campo con clave **H055** y levantamiento de ficha técnica **HC04**, con coordenadas 14Q 440290 mE y 2247624 mN con elevación 2020 m. En el sitio aflora andesita basáltica intercalada con depósitos piroclásticos de caída libre. La coloración es de color negro a gris oscuro al fresco, mientras que en la intemperie son café rojizo; presenta una estructura masiva y en partes fluidal.

El lugar presenta inestabilidad en sus taludes por caída y rodamiento de bloques, las discontinuidades presentan intersecciones, lo que provoca caída por cuña y falla plana. Las discontinuidades presentan diferentes direcciones, las cuales se llegan a interceptar entre ellas, además de presentar dirección de flujo a favor de la

pendiente. Por el momento no existe afectación a viviendas e infraestructura. **Fotografías II.1.4.2.4a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC04, se identificaron cinco familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.6** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y falla plana, representada por cuña la intersección de 4m: J4 (80/288) con 5m: J5 (68/68), 2m: J2 (85/207), 3m: J3 (84/147); 1m: J1 (74/98) con 5m: J5 (68/68), 3m: J3 (84/147), 2m: J2 (85/207), finalmente por falla plana 3m: J3 (84/147), siendo los datos del talud de (74/172) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.4a-b. *En la imagen* ***a*** *se observan algunas de las discontinuidades y planos de flujo (flecha verde). En la imagen* ***b*** *se observa algunos de los apilamientos con tendencia a rodamiento.*

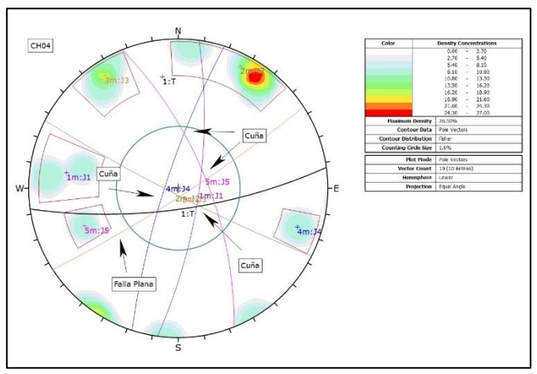
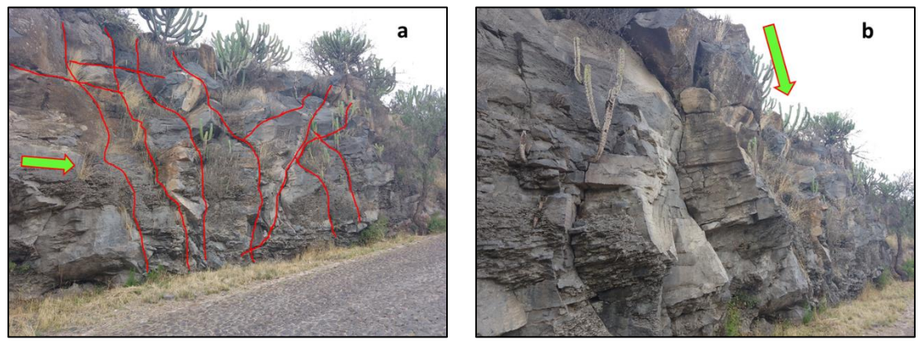


Figura II.1.4.2.6 *interpretación estereográfica (****CH04****) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana.*

En la localidad de Zequetejé se tienen taludes de composición basalto andesita, éstos presentan alto grado de fracturamiento, además de contener planos de flujo. En el sitio se realizó la verificación de campo con clave de verificación **H057** y levantamiento de ficha técnica **HC05**, con coordenadas 14Q 435357 mE y 2253620 mN con elevación de 2129 m. La litología consiste en basalto y andesita de color ocre a café oscuro al intemperie y negro al fresco, de estructura laminar.

El lugar presenta inestabilidad en sus taludes por caída de bloques, las discontinuidades presentan intersecciones, lo que provoca caída por cuña, deslizamiento por falla plana y volteo. La afectación es al camino empedrado que comunica a las localidades de Zequetejé, Sabina Grande y El Cajón entre otras. **Fotografías II.1.4.2.5a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC05, se identificaron cuatro familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.7** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña, volteo y falla plana; representada por cuña la intersección de 2m: J2 (78/63) con 4m: J4 (88/290), 1m: J1 (69/191); 3m: J3 (84/239) con 1m; J1 (69/191), 4m: J4 (88/290); por falla plana 3m: J3 (84/239) y volteo 2m: J2 (78/63), el valor del talud es de (88/228) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.5a-b. *En la imagen a se observan las discontinuidades y la estructura laminar (flecha verde) originando que el talud sea inestable. En la imagen b se observan los mecanismos de caída, cuña, volteo y falla plana.*

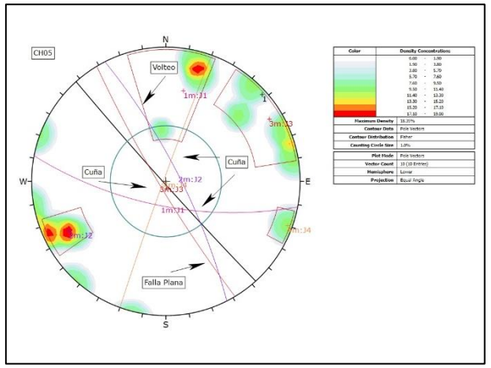
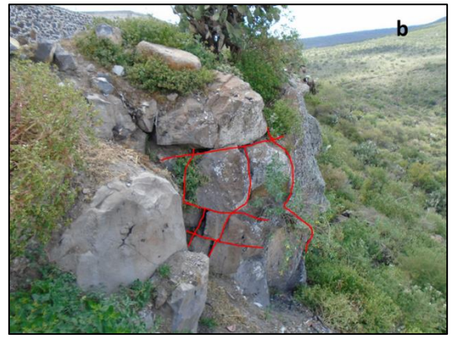


Figura II.1.4.2.7 *interpretación estereográfica (**CH05**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana y volteo.*

La localidad La Cruz se encuentra asentada sobre sobre derrames de lava de composición máfica, éstas a su vez, sobreyacen a tobas riolíticas e ignimbritas de la Formación Huichapan. En el sitio se levantaron datos estructurales de las diferentes discontinuidades, en la cual se utilizó la ficha técnica con clave de reificación **HC06** con coordenadas 14Q 420865 mE y 2254878 mN con elevación de 2140 m. La litología consiste en basalto y andesita de color ocre a café oscuro al intemperie y negro al fresco, de estructura masiva.

En el sitio se observan taludes inestables por caída de rocas, el macizo rocoso presenta gran cantidad de discontinuidades en diferentes direcciones que se cruzan entre sí, formando bloques de 1 a 3 m, mismos que son susceptibles a desprenderse y rodar pendiente abajo. En la parte alta del talud se encuentran viviendas y sistema de drenaje (3.5 m), mismos que no presentan ningún riego, y hacia la parte baja es zona despoblada. **Fotografías II.1.4.2.6a-b.**

Con base a los datos estructurales levantado en campo, se identificaron al menos cuatro familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.8** se observa el estereograma en donde se interpretan los datos del macizo rocoso, de acuerdo a este análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña, representadas por las intersecciones de 3m: J3 (68/287) con 1m: J1 (78/20) y 2m: J2 (73/59); 2m: J2 (73/59) con 1m: J1 (78/20), el valor del talud es de (78/351) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.6a-b. *En la imagen **a** se observa una barda perimetral, sistema de drenaje y distancia al corte del talud (3.5 m). En la imagen **b** se observa las discontinuidades del macizo rocoso.*

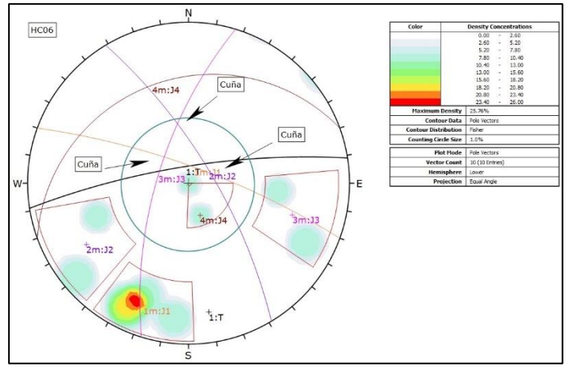
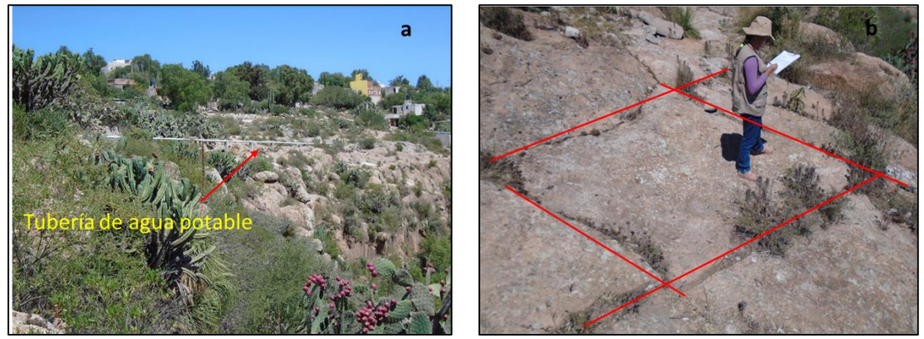


Figura II.1.4.2.8 *interpretación estereográfica (**CH06**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña.*

La localidad de Zothé se encuentra asentada sobre material volcánico el cual consiste en derrames cineríticos de forma tabular, en el sitio se realizó la verificación de campo con la ficha técnica **HC07**, con coordenadas 14Q 425411 mE y 2252267 mN con elevación de 2059 m. La unidad litológica presenta un color rosa claro al fresco y café a naranja a la intemperie, presenta seudo estratificación de mediana compactación.

El sitio es susceptible a caída de bloques, principalmente en los taludes del río, las principales discontinuidades (diaclasas) se cruzan entre ellas y estas a su vez, interceptan a los planos de seudoestratificación, las cuales provocan mayormente caída por cuña y en menor proporción falla plana. De acuerdo a lo observado en campo, no existe afectación a vivienda e infraestructura, por lo tanto, no existe riesgo por proceso de remoción en masa (PRM). **Fotografías II.1.4.2.7a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC07, se identificaron cinco familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.9** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y falla plana. La cuña está dada por la intersección de 3m: J3 (82/56) con 2m: J2 (88/318), 1m: J1 (85/148) y 5m: J5(82/211); 2m: J2 (88/318) con 5m: J5 (82/211); 1m: J1 (85/148) con 5m: J5 (82/211), el valor del talud es de (75/304) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.7a-b. *En la imagen* ***a*** *se observa ducto de agua potable sin riesgo por inestabilidad del terreno. En la imagen* ***b*** *se observa las discontinuidades (diaclasas) del macizo rocoso.*

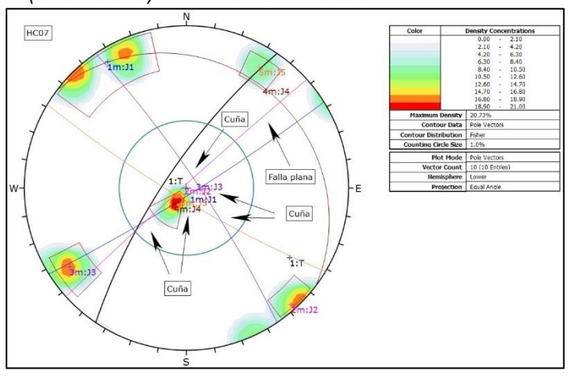
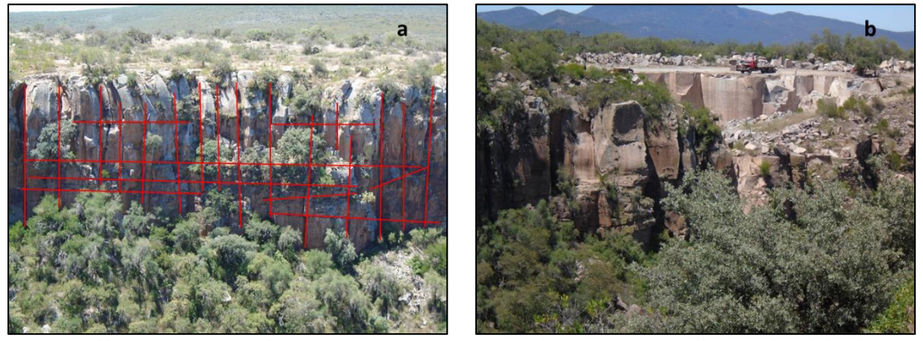


Figura II.1.4.2.9 *interpretación estereográfica (**CH07**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana.*

En la localidad de Dandhó se encuentra asentada sobre material volcánico el cual consiste en derrames cineríticos de forma tabular, en el sitio se realizó la verificación de campo con la ficha técnica **HC08** con coordenadas 14Q 424611 mE y 2258885 mN con elevación de 1986 m. La unidad litológica presenta un color rosa claro al fresco y café a naranja a la intemperie, presenta seudo estratificación de mediana compactación.

El lugar es susceptible a caída de bloques, principalmente en los taludes que se encuentran en las cercanías del río, el macizo rocoso presenta diaclasamiento y seudoestratificación, estas discontinuidades tienen diferentes direcciones, en los cuales varios de ellos se interceptan entre sí, las cuales provocan inestabilidad de taludes por caída en forma de cuña y falla plana. De acuerdo a la verificación de campo, los PRM no afecta a la infraestructura y viviendas.

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC08, se identificaron cinco familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.10** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña y falla plana. La cuña está dada por la intersección de 3m: J3 (84/252) con 2m: J2 (88/210); 1m: J1 (87/296) con 2m: J2 (88/210) y 4m: J4 (60/158); 4m: J4 (60/158) con 2m: J2 (88/210), 3m: J3 (84/252) y 1m: J1 (87/296), el valor del talud es de (88/160) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.8a-b. *En la imagen a se observan las discontinuidades en el macizo rocoso. En la imagen b se observa banco de explotación de cantera; la extracción se facilita por la disposición de las discontinuidades.*

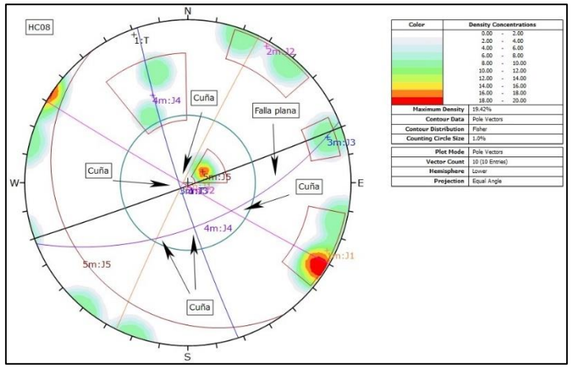
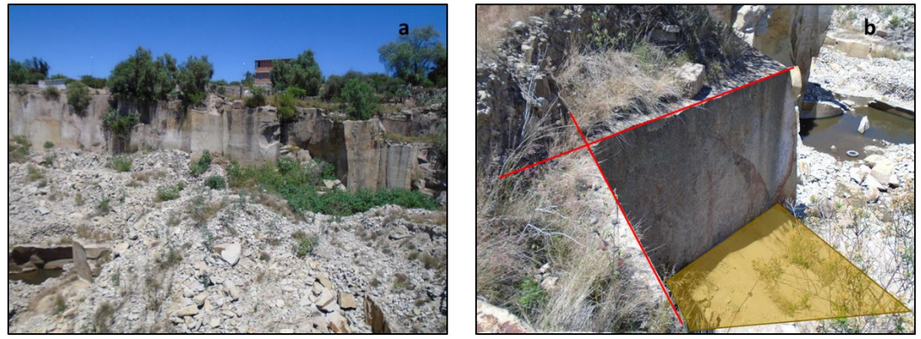


Figura II.1.4.2.10 *interpretación estereográfica (**CH08**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña y falla plana.*

La localidad de Bondojito se encuentra asentada sobre depósitos volcánicos, representada por tobas riolíticas. En el sitio se levantó la ficha técnica **HC09**, ubicado en las coordenadas 14Q 427126 mE y 2260500 mN con elevación de 1953 m. La unidad litológica presenta color rosa claro al fresco y café naranja a la intemperie, presenta seudoestratificación de mediana compactación y diaclasamiento vertical, la matriz consiste de pómez y ceniza de grano medio con abundancia de líticos de piedra pómez.

El sitio presenta inestabilidad en sus taludes por caída de bloques, las discontinuidades se cortan entre ellas, lo que provoca que se forme un mecanismo de movimiento por cuña. De acuerdo a lo observado en campo, no hay riesgo, debido a que no hay afectación a infraestructura y viviendas. Por otro lado, al otro extremo del río, se observa un banco de material en explotación, en donde extraen cantera para las laminadoras de la zona. **Fotografías II.1.4.2.9a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC09, se identificaron tres familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.11** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña; representada por cuña la intersección de 1m: J1 (84/85) con 2m: J2 (84/356), el valor del talud es de (88/143) y un ángulo de fricción de 45°.



Fotografías II.1.4.2.9a-b. *En la imagen **a** se observa banco de material pétreo y al fondo viviendas sin riesgo a ser afectadas. En la imagen **b** se observan tres familias de discontinuidades.*

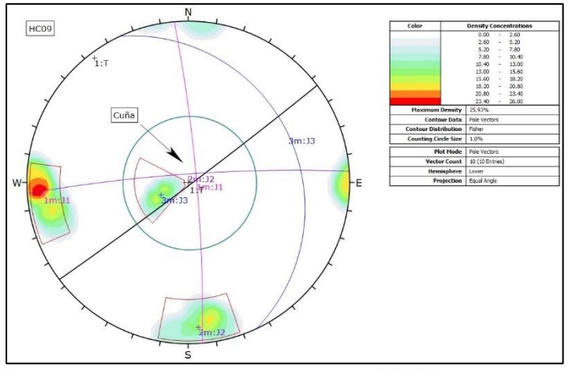


Figura II.1.4.2.11 *interpretación estereográfica (**CH09**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña.*

La localidad de San isidro, se encuentra asentada sobre lavas asociadas al anillo de la caldera de Huichapan. En el sitio se levantó la ficha técnica **HC10**, ubicado en las coordenadas 14Q 441176 mE y 2246441 mN con elevación de 2589 m. Esta unidad consiste de andesita basáltica, andesita y depósitos piroclásticos de composición félsica. Se compone de rocas de color negro a gris oscuro al fresco, mientras que a la intemperie son café rojizas, de estructura masiva y en partes fluidal, con fracturamiento en forma de lajas, intercalas con depósitos piroclásticos de caída libre.

En el sitio se observan taludes inestables por caída de bloques, las discontinuidades presentan intersecciones que se llegan a cruzar entre sí, originando un mecanismo de movimiento por cuña. A escasos 20m se encuentra una vivienda, la cual puede

salir afectada en caso que se genere un desprendimiento y rodamiento de bloques. ***Fotografías II.1.4.2.10a-b.***

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC10, se identificaron tres familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.12** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña; representada por cuña la intersección de 1m: J1 (81/35) con 2m: J2 (88/170), el valor del talud es de (88/170) y un ángulo de fricción de 45°.

Fotografías II.1.4.2.10a-b. *En la imagen* ***a*** *se observa frente de depósitos y disposición de las discontinuidades. En la imagen* ***b*** *se observa el talud inestable y posible afectación a la vivienda en caso de desprendimiento y rodamiento de un bloque.*

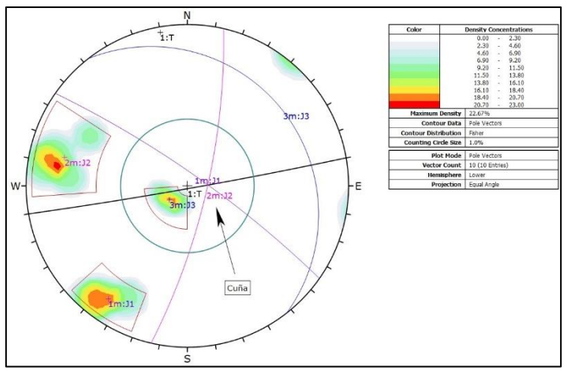


Figura II.1.4.2.12 *interpretación estereográfica (****CH10****) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña.*

La localidad El Apartadero, se encuentra asentada sobre derrames de lavas de composición andesítica. En el sitio se realizó la verificación de campo con el levantamiento de la ficha técnica **HC11**, ubicado en las coordenadas 14Q 441299 mE y 2266508 mN con elevación de 2249 m. La litología del lugar consiste en roca máfica a intermedia, de color negro a gris oscuro al fresco y café a gris claro a la intemperie, de estructura masiva y en ocasiones fluidal.

En el lugar evaluado, se presenta inestabilidad de talud por caída de bloques, el espaciamiento de las discontinuidades llega a ser de hasta 0.20 m, continuidades mayores a los cinco metros y parcialmente abiertas. No hay afectación en el sitio, ya que a vivienda más próxima se encuentra aproximadamente 10 m pendiente arriba. **Fotografías II.1.4.2.11a-b.**

Con base a los datos estructurales tomados sobre el talud, con ficha técnica HC11, se identificaron cuatro familias de discontinuidades, los datos de inclinación (*Dip*) y dirección de la inclinación (*Dip Direction*) son valores azimutales. En la **Figura II.1.4.2.13** se tiene la interpretación estereográfica de los datos tomados en campo de las discontinuidades que se presentan en el macizo rocoso. De acuerdo al análisis, se interpreta que existen las condiciones para que se generen caída de bloques por cuña, representadas por las intersecciones entre: 3m: J3 (62/79) con 2m: J2 (58/135) y 1m: J1 (72/211); 2m: J2 (58/135) con 1m: J1 (72/211), el valor del talud es de (60/179) y un ángulo de fricción de 45°.

Fotografías II.1.4.2.11a-b. *En la imagen a se observa frente del depósito de lava y disposición de las discontinuidades. En la imagen b se observa la ubicación de la vivienda próxima al talud.*

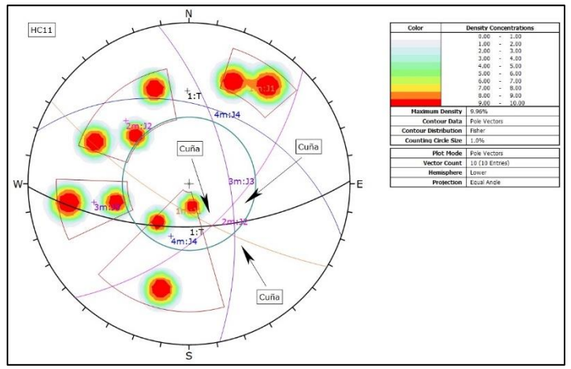


Figura II.1.4.2.13 *interpretación estereográfica (**CH11**) de las discontinuidades del macizo rocoso. Caída por cuña.*

II.1.4.3 Determinación de la susceptibilidad por flujos (lodo y detritos)

Con base al uso de la tabla de ponderación para la matriz de jerarquización analítica **Tabla II.1.4.3.1**,se elaboró la matriz simétrica para la obtención del peso para cada uno de los factores que intervienen en la incidencia de caída de bloques, para nuestro caso se tomaron en cuenta los factores de litología, pendiente, vegetación, suelo, altimetría, lineamientos, drenaje, curvatura, sobrecarga del terreno y precipitación (umbrales), una vez que se le asignaron valores, se calcula el promedio para cada variable, éstos se suman y el valor resultante divide a cada variable, esto con la finalidad de normalizar los datos que van de 0 a 1 o en porcentaje de 0 a 100. De esta manera se obtiene el peso para cada variable. **Tabla II.1.4.3.1**.

Tabla II.1.4.3. 1. *Matriz simétrica para la obtención del valor de peso de cada factor.*

PONDERACIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LOS FLUJOS														
		j												
i	Factores	Litología	Pendiente	Vegetación	Suelo	Altimetría	Lineamientos	Drenaje	Curvatura	Sobre carga del terreno	Precipitación	(xij)/n	(xij)/n/S (xij)	Factores
	Litología	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	3.00	0.33	0.50	0.50	2.00	0.93	0.07	Litología
	Pendiente	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00	0.50	2.00	2.00	2.00	1.85	0.15	Pendiente
	Vegetación	2.00	0.50	1.00	2.00	2.00	0.50	0.50	2.00	0.50	2.00	1.30	0.10	Vegetación
	Suelo	2.00	0.50	0.50	1.00	2.00	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.45	0.11	Suelo
	Altimetría	2.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.70	0.05	Altimetría
	Lineamientos	0.33	0.33	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	2.00	2.00	0.50	1.27	0.10	Lineamientos
	Drenaje	3.00	2.00	2.00	0.50	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.85	0.16	Drenaje
	Curvatura	2.00	0.50	0.50	0.50	2.00	0.50	0.50	1.00	2.00	0.50	1.00	0.08	Concavidad
	Sobrecarga del terreno	2.00	0.50	2.00	0.50	2.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.08	Sobrecarga del terreno
	Precipitación	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	2.00	0.50	2.00	2.00	1.00	1.15	0.10	Precipitación
											S (xij)	12.50	1.00	

Fuente: Elaboración SGM, 2023.

A continuación, se describen brevemente cada uno de los mapas temáticos involucrados en la determinación del mapa de índice de susceptibilidad por flujos de detritos.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (litología), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de litología, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso se dividieron en tres grupos, los cuales quedan de la siguiente manera: Caliza, Andesita, Andesita-Basalto, Basalto-Andesita, Dacita-Riolita, Andesita-Piroclasto (**7**); Toba-Riolítica-Ignimbrita, Toba Riolítica, Ignimbrita-Toba Dacítica (**14**); Toba Pumicítica, Lutita-Arenisca, Lacustre, Arena-Limo, Aluvión (**21**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4. 3.1.a***.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (Vegetación), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de vegetación, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Bosque de encino (**10**); Matorral crasicaude (**20**); Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino (**30**); pastizal inducido y natural, Agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal permanente (**40**); Áreas desprovistas de vegetación, urbano construido (**50**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4. 3.1.b***.

Para obtener el Mapa de peso y grado de importancia (Pendientes), se hace uso de la herramienta *ArcGis /3D Analyst Tool/Raster Surface/Slope*, para ello se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de interés, una vez que se obtenga el mapa, este se reclasifica en cinco clases. Posteriormente se vuelve a reclasificar en *Spatial Analyst Tool/Reclass/Reclassfy*, en el cual se ponen los datos de la tabla de asignación de peso, columna grado de importancia, de tal manera que para los rangos de pendiente les corresponden los siguientes valores: <15 (**15**); 15-25(**30**); 25-35 (**45**); 35-45 (**60**); >45(**75**). **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4. 3.1.c***.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (suelos), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* de suelos, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “peso de la variable” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Leptosol (**11**); Planosol (**22**); Phaeozems (**33**);

Rendzina (**44**); Vertisol (**55**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1.d***.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (altimetría), se requiere el uso del MDE, a este se hace una reclasificación de cinco clases, posteriormente con ayuda de la herramienta *Spatial analys tolos/Reclass/Reclassify* se asignan los valores que corresponde de acuerdo al grado de importancia, de tal manera que para los rangos de cota les corresponden los siguientes valores: 2055 (**5**); 2179 (**10**); 2308 (**15**); 2482 (**20**); 3010 (**25**). **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1.e***.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (lineamientos), se debe hacer una conversión de vector a raster para poder calcular una densidad lineamientos, para ello, se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst/density/Line Density*, posteriormente se procede a realizar un *Mask* y este se realiza con la herramienta *Spatial Analys Tool/Extraction/Extract by Mask*, el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el layer normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**10**)* para cuando hay presencia de una estructura geológica y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1.f***.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (drenaje), se requiere tener el *layer* de drenaje en formato *raster*; para el cálculo de densidad de lineamientos, se hace uso de la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Density/Line Density*, una vez obtenido la densidad se procede a realizar un *Mask*, para ello se emplea la herramienta *Spatyal Analyst Tool/Extraction/Extrac By Mask* el valor resultante se procede a normalizar, para ello se va a sus propiedades, fuente, se copia su valor máximo, se va a la herramienta *Spatial Analyst Tool/Map algebra/Raster Calculator*, selecciona el *Layer de Mask* para ser dividido con el valor máximo. Nuevamente se hace uso de la *Raster Calculator, se selecciona el layer normalizado y se multiplica por el grado de importancia, que en nuestro caso le corresponde el valor (**16**)* para cuando hay presencia de un río o arroyo y (**0**) para cuando hay ausencia. **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1.g***.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia por Precipitación (umbral de lluvias extremas), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* donde se contenga las isolíneas de los umbrales de las lluvias extremas, posteriormente se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, quedando de la siguiente manera: 41-45 (**10**); 45-48 (**20**); 48-51 (**30**); 51-54 (**40**); 54-58 (**50**). **Tabla II.1.4.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1.h***.

Para la obtención del Mapa de peso y grado de importancia (Sobrecarga del Terreno), se requiere tener el *shape* de las áreas urbanas y límite del área municipio, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. Posteriormente se utiliza la herramienta *Data Management Tools/Raster/Raster Dataset/Mosaic To New Raster*. Con la finalidad de obtener un solo *raster*. Al final del proceso tendremos un mapa con una leyenda de (**0 –8**) que corresponde al valor de ausencia de construcción (**0**) y presencia de construcción (**8**). **Tabla II.1.4.3.2, *Figura II.1.4.3.1.i***.

Para la elaboración del Mapa de peso y grado de importancia (curvatura de la ladera), se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio, se procede a hacer uso de la herramienta *3D Analyst tool/Raster Surface/Curvature*, una vez obtenido en mapa, se procede a realizar una clasificación en tres clases, para ello se hace uso de *Properties/Classified*, asignando valores negativos (**-**) y valores positivos (**+**), dejando el último valor por *defaul*, nuevamente se procede a hacer uso de la herramienta *Spatial Analyst/Reclass/Reclassify*, en el cual se le asignan los valores de grado de importancia, los cuales son: Cóncavo (**8**); Plana (**16**); Convexo (**24**). **Tabla II.1.3.2**; ***Figura II.1.4.3.1. j***.

Tabla II.1.4.3.2. *Asignación de peso para la obtención del grado de importancia para los factores que inciden en los flujos.*

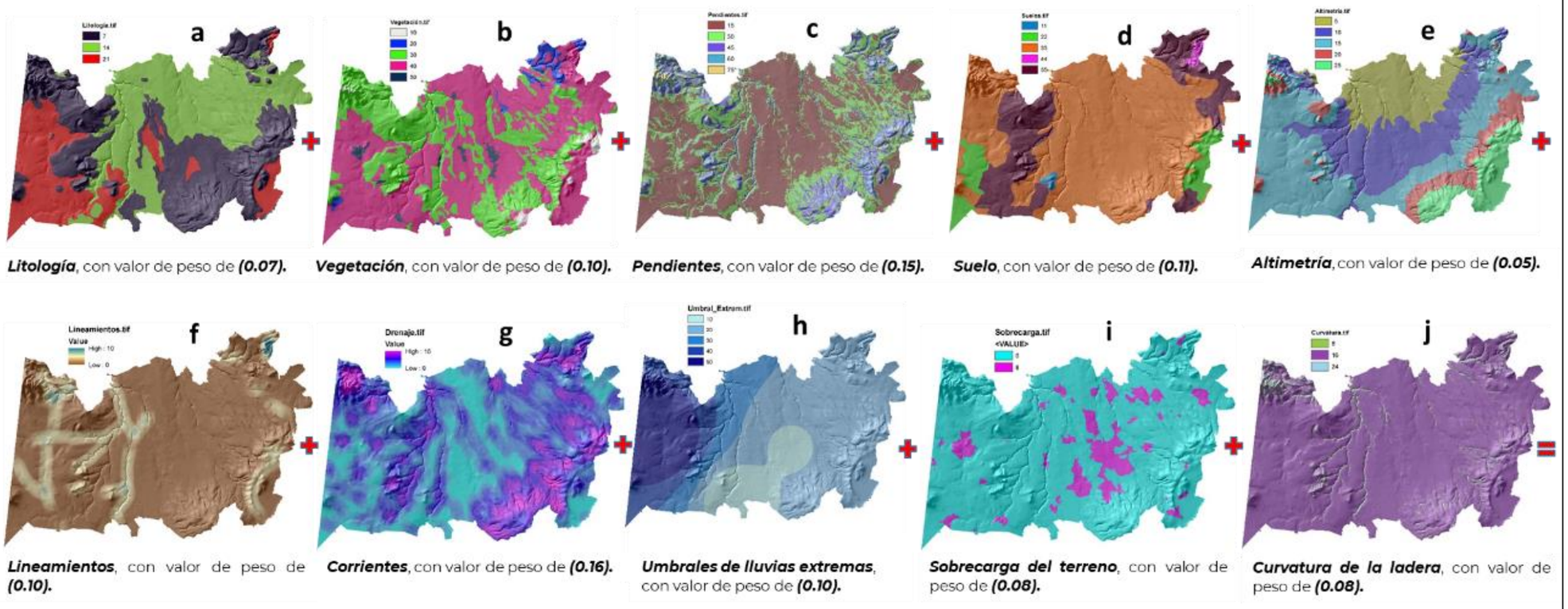
ASIGNACIÓN DE PESO A LAS VARIABLES POR FLUJOS				
Mapa temático (Factor)	**Clase**	**Valor de clase (influencia)**	**Peso**	**Grado de importancia**
Litología (U1)	Caliza	1	0.07	0.07
	Andesita			
	Andesita-Basalto			
	Basalto-Andesita			
	Andesita			
	Dacita-Riolita			
	Andesita-Piroclasto			
Litología (U2)	Toba Riolítica-Ignimbrita	2		0.14
	Toba Riolítica			
	Ignimbrita-Toba Dacítica			
	Toba-Riolítica			
Litología (U3)	Toba Pumicítica	3		0.21
	Lutita-arenisca			
	Lacustre			
	Arena-Limo			
	Aluvión			
Pendiente	< 15	1	0.15	0.15
	15 - 25	2		0.30
	25 - 35	3		0.45
	35 - 45	4		0.60
	> 45	5		0.75
Vegetación	Bosque de encino	1	0.10	0.10
	Matorral crasicaule	2		0.20
	Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino.	3		0.30
	Pastizal inducido, Pastizal natural, Agricultura de riego anual, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente.	4		0.40
	Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido	5		0.50
Suelo	Leptosol	1	0.11	0.11
	Planosol	2		0.22
	Phaeozems	3		0.33
	Rendzina	4		0.44
	Vertisol	5		0.55
Altimetría	1840 - 2055	1	0.05	0.05
	2055 - 2179	2		0.10
	2179 - 2308	3		0.15
	2308 - 2482	4		0.20
	2482 - 3010	5		0.25
Lineamiento	Presencia	1	0.10	0.10
	Ausencia	0		
Drenaje	Presencia	1	0.16	0.16
	Ausencia	0		
Curvatura	Concavo	1	0.08	0.08
	Plana	2		0.16
	Convexo	3		0.24
Sobre carga del terreno	Presencia	1	0.08	0.08
	Ausencia	0		
Umbral de lluvias extremas	41-45	1	0.10	0.10
	45-48	2		0.20
	48-51	3		0.30
	51-54	4		0.40
	54-58	5		0.50

Fuente: Elaboración propia SGM, 2023.

Finalmente, para la obtención del Mapa Índice de Susceptibilidad por Flujos (MISF)se hizo uso de la herramienta *Spatial analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator*. Para ello se sumaron los diez factores que inciden en la generación de flujos y estos se dividieron entre (10), obteniendo como resultado el MISC. ***Figura II.1.4.3.2.***

Con al mapa obtenido, se puede observar que existen pequeñas áreas susceptibles por flujos (lodo, detritos), principalmente en las partes altas del lado oriente, suroriente y poniente del municipio, existen ocho localidades que queden tener afectación, los cuales son: Tlaxcalilla, La Crúz, Zothé, San Isidro El Astillero, El Sitio, Dandhó, Huizcadhá y Llano Largo.

FACTORES UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJOS (MISF)



Litología, con valor de peso de ***(0.07).***

Vegetación, con valor de peso de ***(0.10).***

Pendientes, con valor de peso de ***(0.15).***

Suelo, con valor de peso de ***(0.11).***

Altimetría, con valor de peso de ***(0.05).***

Lineamientos, con valor de peso de ***(0.10).***

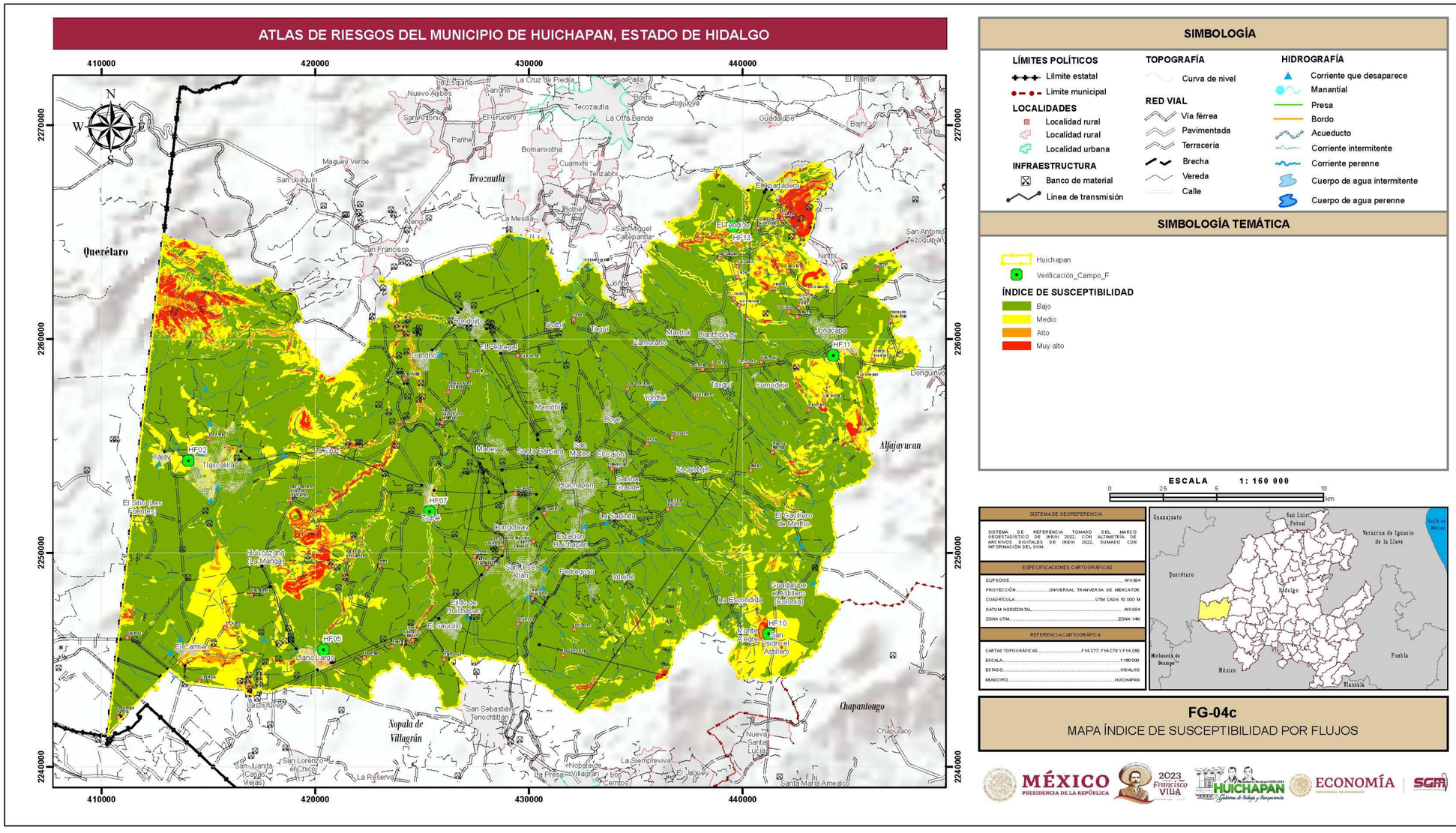
Corrientes, con valor de peso de ***(0.16).***

Umbrales de lluvias extremas, con valor de peso de ***(0.10).***

Sobrecarga del terreno, con valor de peso de ***(0.08).***

Curvatura de la ladera, con valor de peso de ***(0.08).***

Figura II.1.4.3.1.a-j. *Factores utilizados para determinar el índice de susceptibilidad por flujos (lodo y detritos).*
Fuente: *Elaboración propia, 2023*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Línea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Verificación_Campo_F

ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FG-04c
MAPA ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJOS

Figura II.1.4.3.2. *Mapa índice de susceptibilidad por flujos en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Descripción de los sitios verificados en campo susceptibles a presentar flujos (lodo y detritos).

Los flujos son movimientos de suelo y/o fragmentos de roca pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos, tienen movimientos relativos, dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos. En el apartado de conceptos básicos se describen a detalle.

Para este tipo de movimientos es determinante la granulometría y el grado de saturación que los materiales puedan presentar, ya que en ocasiones un deslizamiento puede evolucionar a un flujo (Suárez, 1998).

En la localidad de Tlaxcalilla se tiene un punto de inspección con ficha técnica **HF02** con coordenadas 14 Q 414079 mE y 2254303 mN con elevación 2195 m, se observa en las calles material de arrastre que van desde el tamaño de la arena, hasta fragmentos de roca de 0.05 a 0.10 m. El material está constituido principalmente por fragmentos y piedra pómez y líticos de composición intermedia. El sitio presenta pendientes que varían de 25 a 35° y con la acción de las precipitaciones, se incrementa el arrastre de material suelto, el cual afecta a las calles (Alcanfores y Caoba), ocasionalmente a las viviendas. **Fotografía II.1.4.3.1a-b.**

Fotografías II.1.4.3.1a-b. *En ambas imágenes (**a** y **b**).se observa material suelto sobre las calles, susceptibles al arrastre en temporadas de lluvias.*

En la localidad de Llano Largo se tiene un punto de verificación, en el que se elaboró una ficha técnica con clave **HF05** con coordenadas 14 Q 420395 mE y 2245476 mN con elevación 2205 m. El tipo de litología que se encuentra en el lugar consiste de fragmentos de roca pómez y fragmentos de roca basalto y andesita, en una matriz arenosa, las pendientes en promedio varían de 25 a 35°, lo que provoca que, con la acción de la lluvia, el material suelto comience con un proceso de arrastre pendiente abajo, la cual afecta principalmente al camino empedrado. **Fotografía II.1.4.3.2a-b.**

Fotografías II.1.4.3.2a-b. *En la imagen (**a**) se observa el tipo de material arenoso de tipo volcánico, deleznable y susceptible a la erosión, en la imagen (**b**) se observa la afectación que le provoca al camino empedrado, en temporada de lluvias.*

En la localidad de Zothé se tiene un punto de inspección con ficha técnica **HF07** con coordenadas 14 Q 425348 mE y 2251935 mN con elevación 2277 m. La unidad litológica presenta un color rosa claro al fresco y café a naranja a la intemperie, presenta seudoestratificación, la matriz consiste de pómez y ceniza de grano medio con abundancia de líticos de pómez, de andesita y escoria basáltica, las pendientes en promedio varían de 25 a 35°, sin embargo, también se puede observar que hay pendientes de mayor ángulo, lo que provoca que, con la acción de la lluvia, el material suelto comience con un proceso de arrastre pendiente abajo, no se observa afectación. **Fotografía II.1.4.3.3a-b.**

Fotografías II.1.4.3.3a-b. *En ambas imágenes (**a** y **b**).se observa material suelto el cual es removido en temporadas de lluvias.*

En la localidad de San Isidro el Astillero se tiene un punto de reconocimiento, en el que se elaboró una ficha técnica con clave **HF10** con coordenadas 14 Q 441228 mE y 2246211 mN con elevación 2582 m. La unidad litológica consiste de andesita

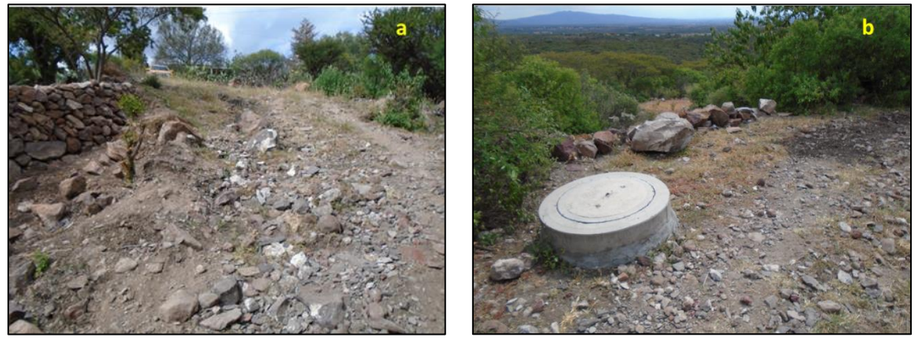
basáltica, andesita y depósitos piroclásticos de composición félsica, las pendientes en promedio varían de 25 a 35°, sin embargo, también se puede observar que hay pendientes de mayor ángulo, lo que provoca que, con la acción de la lluvia, el material suelto comience con un proceso de arrastre pendiente abajo, las calles son las que presentan mayor susceptibilidad al arrastre de material. **Fotografía II.1.4.3.4a-b.**

Fotografías II.1.4.3.4a-b. *En las imágenes* ***a*** *y* ***b*** *se observa material suelto el cual es removido en temporada de lluvias.*

En la localidad de Jonacapa se tiene un punto de inspección con ficha técnica **HF11** con coordenadas 14 Q 444258 mE y 2259236 mN con elevación 2316 m. La unidad litológica presenta un color rosa claro al fresco y café a naranja a la intemperie, presenta seudoestratificación, la matriz consiste de pómez y ceniza de grano medio con abundancia de líticos de pómez, de andesita y escoria basáltica, las pendientes en promedio varían de 25 a 35°, sin embargo, también se puede observar que hay pendientes de mayor ángulo, lo que provoca que, con la acción de la lluvia, el material suelto comience con un proceso de arrastre pendiente abajo. La afectación es mínima en las calles y caminos. **Fotografía II.1.4.3.5a-b.**

Fotografías II.1.4.3.5a-b. *En las imágenes* ***a*** *y* ***b*** *se observa material suelto el cual es removido en temporada de lluvias.*

En la localidad el Tendido se tiene un punto de verificación con ficha técnica **HF13** con coordenadas 14 Q 439545 mE y 2265260 mN con elevación 2135 m. La litología consiste en una roca máfica a intermedia de color negro a gris oscuro al fresco y café a gris claro a la intemperie, de textura afanítica, presenta una estructura masiva y en ocasiones fluidal, las pendientes en promedio varían de 25 a 35°, sin embargo, también se puede observar que hay pendientes de mayor ángulo, lo que provoca que, con la acción de la lluvia, el material suelto comience con un proceso de arrastre pendiente abajo. En temporadas de lluvias los caminos y calles se ven afectadas por material de arrastre. **Fotografía II.1.4.3.6a-b.**



Fotografías II.1.4.3.6a-b. *En las imágenes* ***a*** *y* ***b*** *se observa material suelto el cual es removido en temporada de lluvias.*

Conclusiones

De manera general se puede comentar que, de acuerdo al análisis de la información de litología, pendientes, vegetación, suelo, altimetría, lineamientos, drenaje, curvatura de la ladera, sobrecarga del terreno y precipitación, con sus respectivas ponderaciones, nos indica que hay mayor susceptibilidad a caída de bloques, después los flujos de detritos y en mucho menor proporción los deslizamientos y esto es debido principalmente a la escasa humedad que existe en el municipio. El único lugar donde se pudo detectar un deslizamiento con grado bajo, es en la localidad de Tlaxcalilla; por otro lado, los flujos o arrastres de sedimentos, se presentan en las localidades de Tlaxcalilla, Llano Largo, Zothé, San Isidro el Astillero, Jonacapa y El Tendido, siendo la suseptibilidad de grado bajo. Finalmente, las localidades que presentan caída de bloques son: Ejido Huichapan, Tlaxcalilla, La Cruz, La Escondida, Zequetejé, Zothé, Dandhó, Bondojito, San Isidro y El Apartadero.

II.1.4.4Bancos de material

Como complemento a los PRM en el municipio de Huichapan, se realizó un análisis de los diferentes bancos de material que se ubican cerca de las zonas urbanas.

El estado de Hidalgo ocupa un lugar importante en la industria de la cantera en México, sus canteras presentan cuerpos rocosos con gran variedad de colores y texturas. Los principales municipios que tienen actividad son **Huichapan**, Mineral del Monte, Tecozautla, Alfajayucan, Chapantongo, Mineral de la Reforma e Ixmiquilpan. El uso de este producto es para la industria de la construcción y su destino es el mercado nacional, así como mercados extranjeros tales como E.U, Japón, Alemania y Canadá entre otros (SGM, 2008).

Con base al análisis de los 108 bancos de material que se tienen registrados en el municipio, se determina que nueve bancos son los que se encuentran en el área considerada dentro de la zona urbana, tales como San Isidro El Astillero, Bondojito, Guadalupe, Dothí, Mamithí, Dongoteay, Tlaxcalilla, Llano Largo y Ejido Huichapan.

En ocasiones los bancos de material llegan a generar riesgos a los asentamientos humanos, principalmente cuando el banco se encuentra en estado inactivo y/o abandonado, en la mayoría de los casos los bancos son rellenados y sobre este se asientan viviendas o simplemente se construyen viviendas en la periferia del banco o en el interior de él. (**Tabla II.1.4.4.1, Figura II.1.4.4.1**).

Tabla II.1.4.4.1. Bancos de material que se ubican en las cercanías de zonas urbanas

BANCOS DE MATERIAL EN ÁREAS URBANAS			
Localidad	**Tipo**	**Producto**	**Riesgo a la infraestructura**
San Isidro El Astillero	**Intermitente**	**Tezontle**	**Si**
Bondojito	**Activo**	**Cantera**	**Si**
Guadalupe	**Intermitente**	**Pómez, arena**	**Si**
Dothí	**Activo**	**Cantera**	**No**
Mamithí	**Activo**	**Cantera**	**No**
Dongoteay	**Intermitente**	**Balastro**	**Si**
Tlaxcalilla	**Intermitente**	**Balastro**	**No**
Llano largo	**Intermitente**	**Balastro**	**No**
Ejido Huichapan	**Abandonado**	**Basalto**	**No**
Fuente: Elaboración propia SGM, 2023			

En la localidad de San isidro el Astillero, con levantamiento de ficha técnica **BMH-01**, ubicado en las coordenadas 14Q 441049 mE y 2245967 mN con elevación de 2588 m. Se ubica un banco con dimensiones de 70 m x 50 m, con una profundidad de 20 m aproximadamente, los cortes de los taludes son vertical, sin embargo, ellos presentan socavamiento, lo que hace que los taludes se encuentren inestables. Hacia la superficie se encuentran asentamientos de viviendas a una distancia aproximada de 20 m. De continuar el socavamiento por extracción del material (tezontle) o por la acción de agua y aire, la periferia del banco podría colapsar y poner en peligro a las viviendas más cercanas. (**Fotografía II.1.4.4.1**).

Fotografía II.1.4.4.1 *Localidad de San Isidro El Astillero, en el mosaico de fotografías aéreas, se observa las dimensiones del banco y la cercanía con las viviendas.*

En la localidad de Bondojito se tiene una extensa área de explotación por cantera, el cual se realizó la verificación con levantamiento de ficha técnica **BMH-02**, ubicado en las coordenadas 14Q 427123 mE, 2260559 mN con elevación de 1961 m. Banco de grandes dimensiones, 300 m X 100 m, con una profundidad aproximada de 30 m, las pendientes son verticales con un fracturamiento sistemático. La explotación de la cantera (Toba riolítica), es en ambos lados de la ribera del río El saucillo, en la actualidad el banco es activo. El asentamiento de viviendas a esta zona de explotación es en promedio 40 m. De continuar la extracción de cantera hacia las viviendas, se incrementará el peligro, manifestándose deterioro estructural en las viviendas. (**Fotografía II.1.4.4.2**).

Fotografía II.1.4.4.2 *Localidad Bondojito, en el mosaico de fotografías aéreas, se aprecia las dimensiones del banco de explotación, el cual se realiza entre el río y la zona urbana.*

En la localidad de Guadalupe se tienen varios bancos de material en donde se explota de forma intermitente pómez y arena. Levantamiento con ficha técnica **BMH-03**, ubicado en las coordenadas 14Q 416458 mE, 2243863 mN con elevación de 2239 m. El banco presenta dimensiones de 120 m x 120 m, con una profundidad aproximada de 10 m, donde los taludes son verticales y a su vez, son inestables por acción del agua y el viento. La infraestructura más cercana es la carretera pavimentada que pasa a una distancia aproximada de 50 m, hasta el momento, este tramo carretero no presenta deformación en el terreno, sin embargo, no se descarta que en un futuro se puedan manifestar grietas de tensión. (**Fotografía II.1.4.4.3**).

Fotografía II.1.4.4.3 Localidad Guadalupe, en el mosaico de fotografías aéreas, se aprecia la distribución de la infraestructura y viviendas con respecto al banco.

En la Localidad Dothi se ubica un banco de material en donde extraen bloques de cantera. Se realizó el levantamiento de información con ficha técnica **BMH-04**, con coordenadas 14Q 431321 mE, 2259829 mN con una elevación de 1967 m. El banco presenta dimensiones de 500 m X 100 m, a lo largo del río Tinajas, con una profundidad de 30 m, los taludes son verticales con fracturamiento sistemático. Las viviendas más cercanas se encuentran a 150 m. Por lo que no hay riesgo a las viviendas (**Fotografía II.1.4.4.4a**).

En la localidad de Mamithí, se encuentra un banco de material en donde explotan bloques de cantera. Levantamiento con ficha técnica **BMH-05**, con coordenadas 14Q 431671 mE, 2256446 mN con elevación de 2016 m. El banco presenta dimensiones de 200 m X 100 m y una profundidad aproximada de 50 m, el corte de los taludes es verticales con fracturamiento. La extracción es sobre la ribera del río Las Tinaja, en ambos. Las viviendas más cercanas se encuentran a 70 m de la zona de explotación, por lo que no representa algún riesgo. (**Fotografía II.1.4.4.4b**).

En la localidad de Dongoteay, se ubica un banco de material en donde explotan balastro. El levantamiento se realizó con la ficha de campo **BMH-06**, con coordenadas 14Q 428317 mE, 2250033 mN con elevación 2108 m. El banco presenta unas dimensiones de 100 m X 100 m y una profundidad de 10 m, el corte de los taludes es vertical con socavamiento, lo que hace estos tengan una pendiente negativa y por consiguiente sean inestables. Existe una carretera pavimentada que pasa a una distancia de 15 m, por consiguiente, no representa ningún riesgo. (**Fotografía II.1.4.4.4c**).

En la localidad de Tlaxcalilla, se ubica un banco de material en donde explotan balastro. El levantamiento se realizó con la ficha técnica **BMH-07**, con coordenadas 14Q 416318 mE, 2254226 mN con elevación 2186 m. El banco tiene dimensiones de 80 m X 60 m y una profundidad aproximada de 10 m. Los cortes de los taludes son verticales con cierto grado de erosión hacia la base, lo que los hace inestables. Las viviendas se encuentran a una distancia aproximada de 80 m y un camino a 20 m. El sitio no representa riesgo. (**Fotografía II.1.4.4.4d**).

En la localidad de Llano largo, se ubica un banco de material en donde extraen balastro. El levantamiento se realizó con la ficha técnica **MBH-08**, con coordenadas 14Q 420953 mE, 2244651 mN con elevación de 2222 m. El banco presenta dimensiones de 70 m X 25 m con una profundidad aproximada de 4 m. Los cortes de los taludes varían de 80° a 90°. Por lo anterior, se considera que no representa riesgo a la población. (**Fotografía II.1.4.4.4e**).

En la localidad de Ejido Huichapan, se ubica un banco material (abandonado), utilizado para la construcción. El levantamiento se realizó con la ficha técnica **BMH-09**, con coordenadas 14Q 424142 mE, 2245580 mN con elevación de 2188 m. El banco presenta dimensiones de 220 m X 200 m y una profundidad total de 10 m. Los cortes de los taludes tienen una pendiente de 70° a 80°. En el sitio se encuentran asentadas cinco viviendas a una distancia aproximada de 200 m, por lo que no representa riesgo alguno. (**Fotografía II.1.4.4.4f**).

Fotografías II.1.4.4.4a-f *En las imágenes se observan las condiciones actuales de los diferentes bancos de material en zonas urbanas del municipio de Huichapan, Hidalgo.*

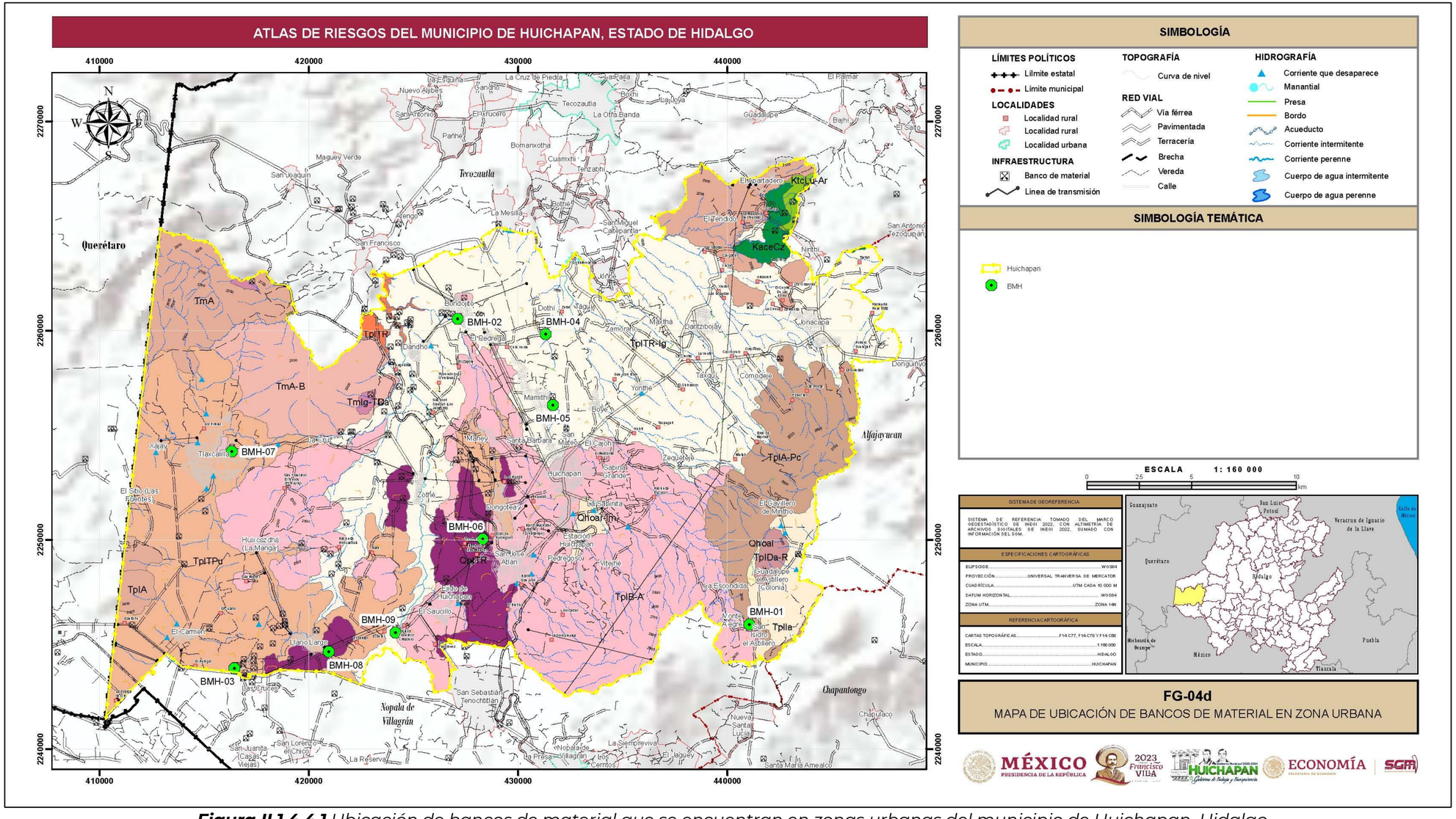


Figura II.1.4.4.1 *Ubicación de bancos de material que se encuentran en zonas urbanas del municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Conclusiones

De acuerdo al análisis e inspección de campo, se determina que la localidad de San isidro El Astillero, Bondojito, Guadalupe y Dongoteay, son susceptibles a generar daño a la infraestructura más cercana. De continuar la extracción de material pétreo hacia donde se encuentran asentadas las viviendas o infraestructura, podrían generar que el terreno se volviera inestable, provocando posibles grietas y colapso del terreno.

Evitar que, a futuro, la zona de crecimiento urbana sea hacia los bancos de material, ya que, en varias ocasiones, éstos son rellenados para posteriormente ser usados para el asentamiento de viviendas.

II.1.5 Hundimientos – Subsidencia – Agrietamientos

Agrietamientos.

El agrietamiento de la superficie del terreno es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizontales del subsuelo en un área amplia, que resultan de la subsidencia, hundimientos, socavones, colapso del subsuelo por licuefacción y oquedades (CENAPRED, 2001).

Hundimientos.

Los hundimientos son causados por el colapso de la superficie del terreno natural en zonas donde existen cavidades subterráneas, normalmente es súbito formando cráteres o huecos verticales. Las condiciones de inestabilidad de las formaciones geológicas suelen empeorar por la deforestación, intemperismo, erosión, alteración de las condiciones de drenaje y presencia de asentamientos humanos irregulares (CENAPRED, 2001).

Subsidencia.

La subsidencia es un fenómeno geológico que hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre continental o submarina. Implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa (Tomás *et. al* 2009).

De acuerdo con Tomás *et*. al (2009) la subsidencia puede clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan como las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos acumulados en reservorios subterráneos (agua, petróleo o gas), el descenso del nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos. En la **Tabla II.1.5.1** se muestra los diferentes tipos de subsidencia existentes.

Tabla II.1.5.1 *Tipos de subsidencia*

TIPO DE SUBSIDENCIA	EJEMPLOS
Disolución subterránea	***Sal, yeso, rocas carbonatadas***
Construcción de obras subterráneas	
Erosión subterránea (tubificación o piping)	
Flujo lateral	***Rocas salinas, arcillas***
Compactación	***Por carga, drenaje, vibración, extracción de fluidos, hidrocompactación***
Fuente: Elaboración propia con datos de Tomás et. al 2009.	

La diferencia entre subsidencia y hundimiento es que este último puede ser muy local, mientras que la subsidencia es regional, a gran escala y puede afectar colonias o ciudades enteras (López, 2021).

A continuación, se describe brevemente los tipos de subsidencia mencionados anteriormente (Tomás *et. al, 2009*):

Disolución subterránea. Algunos de los materiales más solubles de la corteza terrestre son el cloruro sódico (sal), el yeso y las rocas carbonáticas, éstas bajo determinadas condiciones pueden llegar a generar grandes sistemas de huecos interconectados entre sí cuya deformación y colapso generan una subsidencia (**Figura II.1.5.1**).

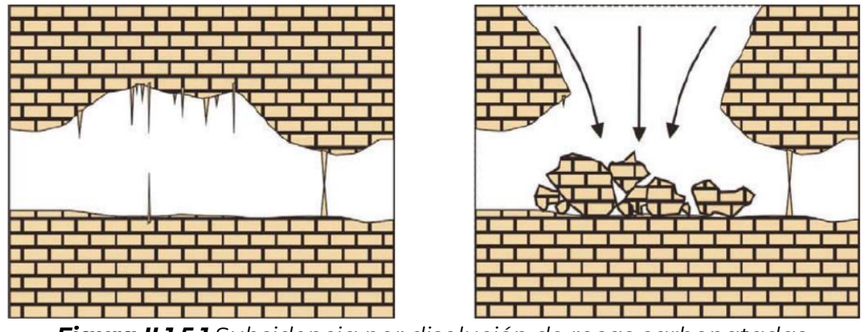


Figura II.1.5.1 *Subsidencia por disolución de rocas carbonatadas.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Construcción de obras subterráneas. Consiste en el hundimiento de la superficie del terreno con motivo de la deformación o colapso generado por la extracción de minerales o la construcción de túneles (**Figura II.1.5.2**).

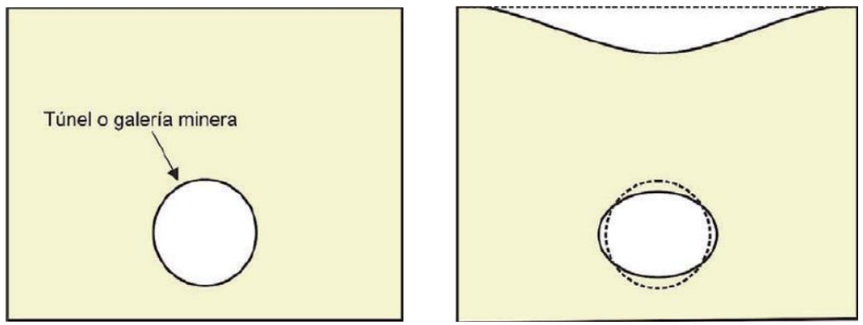


Figura II.1.5.2 *Subsidencia por construcción de obras subterráneas.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Erosión subterránea. También llamado tubificación o piping; se produce por un proceso mecánico de arrastre de partículas de suelo causado por el flujo de agua subterránea. El agua en su recorrido horizontal por el terreno, moviliza partículas de suelo generando una serie de canales que pueden desencadenar colapsos del terreno (**Figura II.1.5.3**).

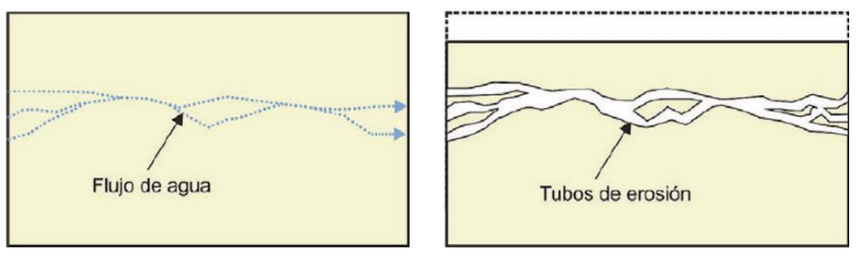


Figura II.1.5.3 *Subsidencia por erosión subterránea.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Flujo lateral. Se produce subsidencia del terreno en áreas cercanas a formaciones evaporíticas debido a la actividad diapírica implicando un flujo lateral del terreno. También se ha observado este tipo de flujo lateral en materiales arcillosos intercalados entre materiales más competentes (**Figura II.1.5.4**).

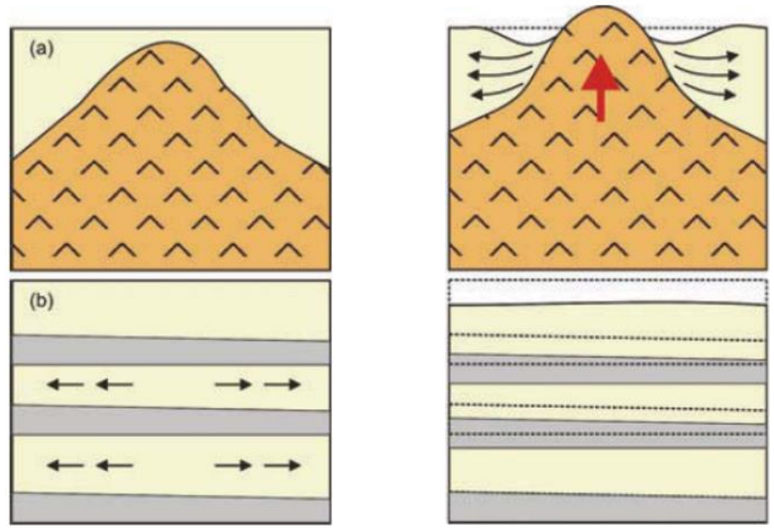


Figura II.1.5.4 *Subsidencia por flujo lateral (a) en materiales salinos y (b) arcillas plásticas*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Compactación por carga La acumulación natural sucesiva de sedimentos o determinados tipos de cimentaciones pueden ocasionar la consolidación del terreno como consecuencia del peso que ejercen los sedimentos o las construcciones. Esta subsidencia se produce por una reducción gradual de los huecos del suelo (**Figura II.1.5.5**).

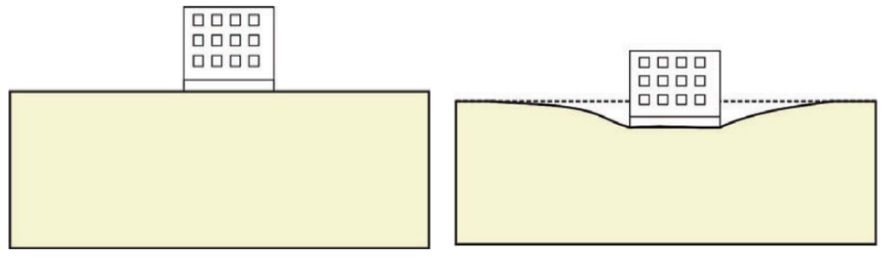


Figura II.1.5.5 *Subsidencia tipo compactación por carga.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Compactación por vibración. Las vibraciones producidas por los terremotos, explosiones u otras causas pueden causar la densificación de terrenos granulares

sueltos por reajuste de partículas al alcanzar éste una estructura más compacta (**Figura II.1.5.6**).

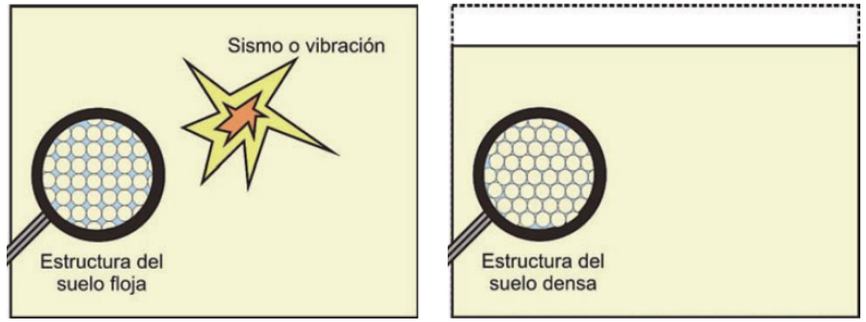


Figura II.1.5.6 *Subsidencia tipo compactación por vibración.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Compactación por extracción de fluidos. La extracción de fluidos (agua, gas o petróleo) desde el terreno puede causar importantes valores de subsidencia como consecuencia del cierre gradual de los huecos rellenos por el fluido extraído (**Figura II.1.5.7**).

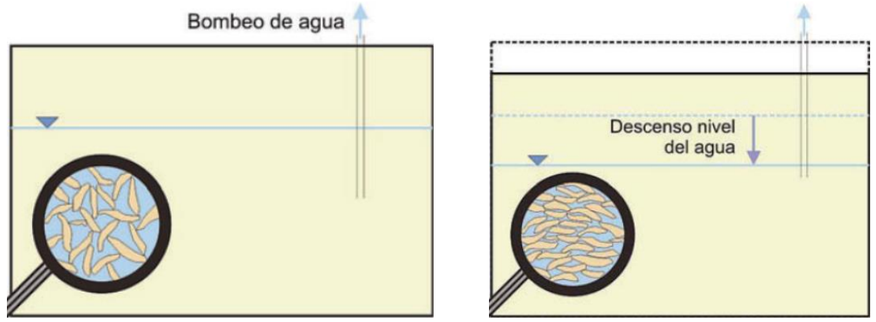


Figura II.1.5.7 *Subsidencia tipo compactación por extracción de fluidos.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

Hidrocompactación. Consiste en el asentamiento que producen determinados tipos de suelos, con un bajo contenido de humedad y situados sobre el nivel freático, al ser saturados. La presencia de agua puede causar dos tipos de efectos, la disolución de los enlaces entre partículas o la pérdida de las tensiones capilares que en ambos casos sostienen las partículas de suelo para configurar su estructura (**Figura II.1.5.8**).

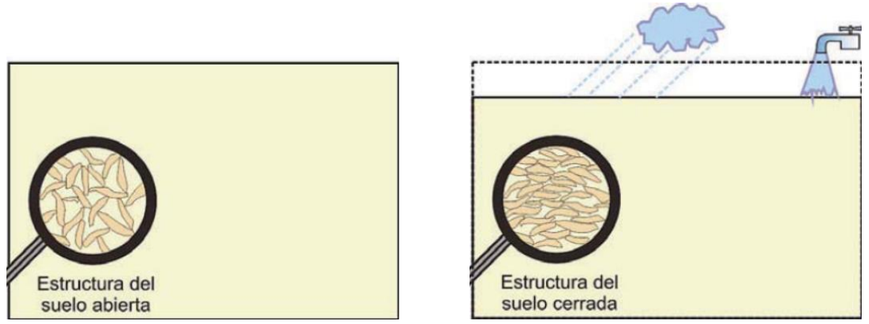


Figura II.1.5.8 *Subsidencia por hidrocompactación.*
Fuente: Recuperado de Tomás *et. al, 2009.*

El tipo de subsidencia que podría presentarse en el municipio de Huichapan es del tipo construcción de obra subterránea debido a la extracción de materiales (grava y arena), por lo que no se considera causado por un fenómeno natural, si no por condiciones antropogénicas.

Metodología general de trabajo

Para el análisis de subsidencia y hundimientos se realizó la búsqueda de antecedentes de este fenómeno que pudieran haber causado afectaciones en el municipio, para esto se buscaron notas periodísticas, reportajes o artículos en internet. Esta información fue corroborada en campo para finalmente realizar un mapa con la información recabada por autoridades y habitantes del municipio. (**Figura II.1.5.9**).

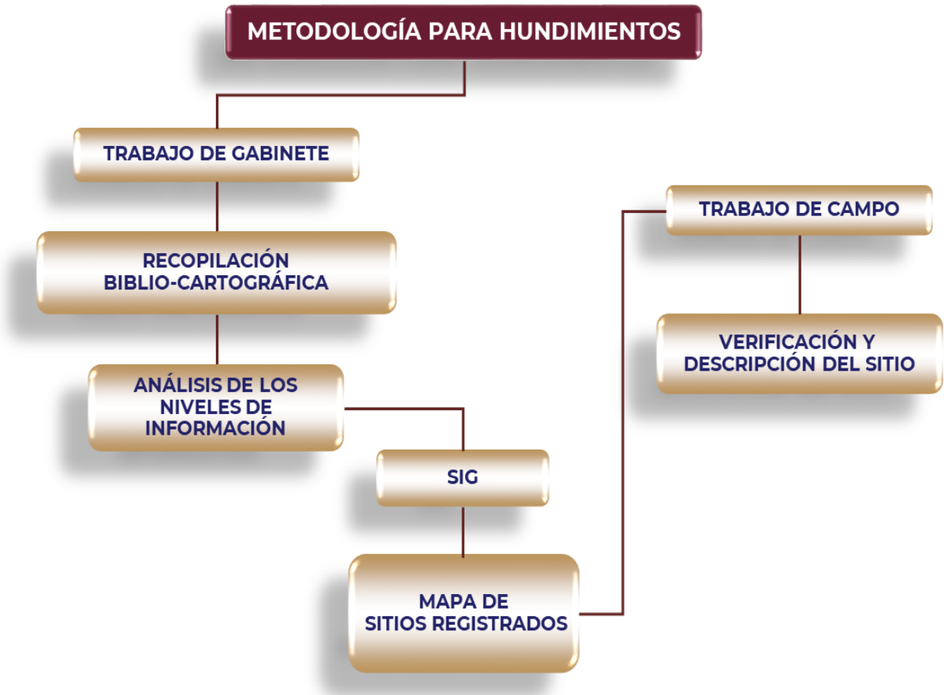


Figura II.1.5.9 *Diagrama del método de trabajo para hundimientos.*

Análisis de la información

No se logró encontrar información bibliográfica de antecedentes por lo que se acudió a Protección Civil para averiguar eventos o zonas de posible amenaza por este fenómeno, también se acudió con la Arq. Carmen Valdés de Obras Públicas, del municipio, sin embargo, no contaban con evidencia documentada de afectaciones, solo recordaban un socavón en el centro de la cabecera municipal asociado a antiguos túneles del siglo XIX durante la época de la independencia.

También se solicitó información de estos túneles en la Casa de Cultura de Huichapan con el C. Rodrigo Martínez Islas y en la Secretaría de Turismo de Huichapan con el C. Mario López Montes quien nos proporcionó más datos del fenómeno ocurrido: el 22 de enero del 2015 un camión de volteo transitaba por el centro del municipio cuando colapsó el pavimento en la superficie, elementos de la Policía Municipal revisaron el área colapsada encontrando cavidades conectadas de diferentes dimensiones (**Fotografías II.1.5.1 y II.1.5.2**); también nos informaron que estás cavidades fueron rellenadas y cerradas, sin embargo, no cuentan con evidencia ni datos adicionales sobre la presencia de estructuras similares en el lugar.

Fotografía II.1.5.1 *Elemento de la Policía Municipal en el área colapsada.*

Fotografía II.1.5.2 *Cavidades conectadas de diferentes dimensiones.*

Fuente: Mario López Montes, *fotografías tomadas en el año 2015.*

De acuerdo con la información proporcionada por personal de Turismo de Huichapan y de la Casa de Cultura, se obtuvo un listado de 12 sitios donde pobladores recuerdan un socavón (**Tabla II.1.5.2**), asociado a la existencia de túneles antiguos, se observa la localización de estos sitios en la **Figura II.1.5.10**.

Tabla II.1.5.2 *Sitiosprobables donde ocurrio un socavón.*

Clave	Nombre
1	Biblioteca
2	Iglesia de San Mateo
3	Presidencia municipal
4	Portal Unión (centro)
5	Capilla de la Virgen de Guadalupe
6	Mercado
7	Cementerio
8	Iglesia del Señor del Calvario
9	Casa del Diezmo
10	Banamex
11	Universidad del Desarrollo Profesional (UNIDEP)
12	Estación del ferrocarril

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se realizó un recorrido en campo para la verificación de los sitios señalados, sin embargo, estas zonas se encuentran en buen estado, es decir, no se observa, agrietamientos en muros o elementos estructurales que pudieran indicar algún

tipo de movimiento relacionado a hundimientos o subsidencia (**Fotografías II.1.5.3 a la II.1.5.14**).

Fotografía II.1.5.3 *Biblioteca pública municipal Manuel Jiménez.*

Fotografía II.1.5.4 *Iglesia de San Mateo*

Fotografía II.1.5.5 *Presidencia municipal.*

Fotografía II.1.5.6 *Portal Unión (sitio donde ocurrió el socavón en 2015)*

Fotografía II.1.5.7 *Capilla de la virgen de Guadalupe.*

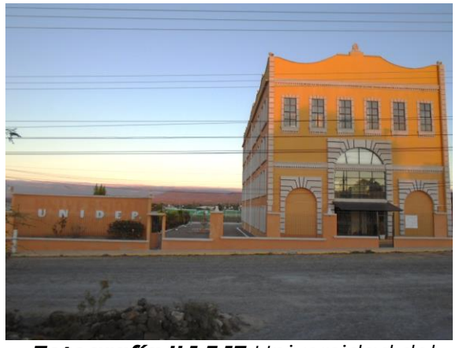
Fotografía II.1.5.8 *Mercado municipal.*

Fotografía II.1.5.9 *Panteón municipal.*

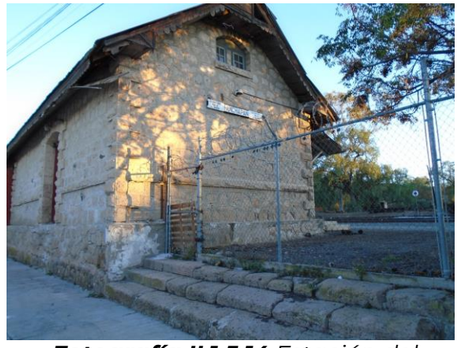
Fotografía II.1.5.10 *Iglesia del Señor del Calvario.*

Fotografía II.1.5.11 *La Casa del Diezmo.*

Fotografía II.1.5.12 *Banamex.*



Fotografía II.1.5.13 *Universidad del desarrollo profesional.*



Fotografía II.1.5.14 *Estación del ferrocarril.*

Conclusión

Al no poder corroborar la información verbal brindada por las autoridades y habitantes del municipio, aunado a la nula evidencia en campo, es difícil emitir una opinión de nivel de riesgo asociado al fenómeno de hundimientos, sin embargo, en el municipio de Huichapan es común la extracción de materiales pétreos (grava-arena) de rocas tobáceas poco consolidadas (materiales en donde está asentada la cabecera municipal) que facilitan su excavación, estos sitios de extracción cuando se realizan de manera informal, es decir, sin estudios previos, o sin supervisión continua, generan cavidades que dejan vulnerable la superficie a un posible colapso.

Se recomienda realizar un estudio de geofísica para confirmar o descartar la presencia de cavidades en la cabecera municipal su profundidad y extensión, también en caso de determinar la presencia de cavidades, el estudio de geofísica puede determinar si estas cavidades están huecas o rellenas, ya sea con sedimentos poco consolidados u otro tipo de material.

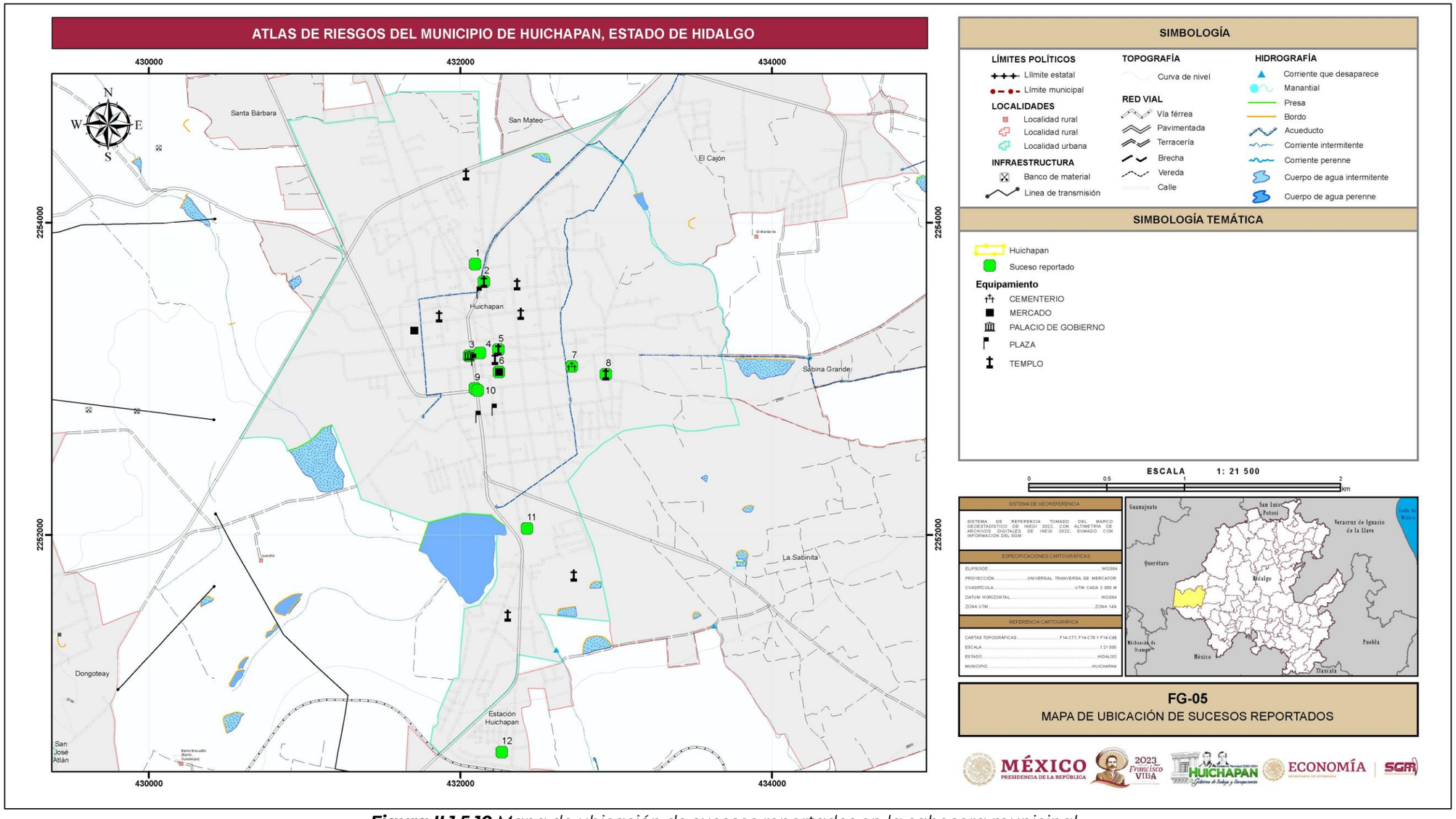


Figura II.1.5.10 *Mapa de ubicación de sucesos reportados en la cabecera municipal.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

II.1.6 Erosión

Uno de los tantos inconvenientes ambientales que causa mayor inquietud es la pérdida del suelo causado por la erosión, bajo el termino de desertificación y enfocada principalmente hacia las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del planeta, es causado por varías y complejas combinaciones de diversos factores, como los cambios climáticos, generalmente acelerado por las actividades humanas. Los ecosistemas de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas que conforman la tercera parte del total del suelo, son extremadamente vulnerables por la sobreexplotación y uso inapropiado de este elemento.

Los suelos representan un sistema vital extremadamente relevante, debido a que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de las condiciones sustentables de este recurso; adicionalmente, cumplen con otras importantes funciones para la vida humana; actúan filtrando, amortiguando y transformando compuestos adversos que contaminan el ambiente, protegiendo el flujo de la cadena alimenticia y el agua subterránea; ya que también comprende una reserva de genes, la cual es más completa en calidad y cantidad que toda la biota sobre la tierra.

Los suelos son el basamento para el establecimiento de obras de infraestructura, instalaciones industriales, sistemas de transporte, espacios para actividades de recreación, adicionalmente son utilizados como receptores de residuos y desechos de las actividades humanas, son repositorios de materiales tales como gravas, arenas, arcillas y de diversos minerales, de fuentes de agua y de materiales energéticos que el hombre aprovecha para su bienestar y desarrollo.

Antecedentes.

En México casi 70 por ciento de los suelos experimentan algún grado de erosión, expuso Víctor Villalobos Arámbula, titular de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), quien destacó que para aumentar la productividad es fundamental contar con suelos saludables. En un encuentro virtual celebrado en diciembre del 2020, en conmemoración del Día Mundial de los Suelos, que se celebra anualmente el 5 de diciembre como un medio para centrar la atención en la importancia de un suelo sano y abogar por la gestión sostenible de los recursos del suelo, en este último encuentro organizado por la SADER, UNAM, las Sociedades Mexicana de la Ciencia del Suelo y la Latinoamericana de la Ciencia del Suelo y la Unión Internacional de las Ciencias del Suelo, remarcaron la importancia del suelo y el despliegue de políticas públicas que resguarden este bien.

La representante en México de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Lina Pohl Alfaro expuso qué a escala mundial cada cinco segundos se erosiona una extensión equivalente a un campo de fútbol. Los suelos constituyen la base para el desarrollo sostenible de la agricultura, funciones esenciales de los ecosistemas y seguridad alimentaria, claves para sostener la vida. William Alardín Lee, coordinador de la Investigación Científica de la UNAM, comentó que es más económico prevenir la desgracien de suelos que recuperarlos; y es que restaurar un centímetro de suelo lleva de 100 a 400 años, por lo que el suelo no es un recurso renovable en escala humana, indicó Christina Siebe, investigadora del Instituto de Geología de la UNAM en su conferencia magistral Alianza Nacional por el Suelo: Justificación, retos e importancia para la sociedad, señaló que la importancia del suelo no esté sujeto sólo en el discurso oficial y que se deben ejercer presupuestos para políticas de protección del suelo e instancias dedicadas a esa tarea, hizo hincapié que el trabajo para cuidar y recuperar los suelos debe ser transdisciplinario y transectorial.

En México, como parte del *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*, (SEMARNAT, 2005) cuyo uno de los objetivos fue el evaluar la degradación de los suelos causada por el hombre. El resultado indicó que el 45.2% de la superficie del país presentaba degradación inducida por el hombre. El nivel de degradación predominante era de ligero a moderado, mientras que los procesos más importantes de degradación fueron la química (principalmente por la pérdida de fertilidad), la erosión hídrica y la erosión eólica, estos tres procesos fueron responsables del 87% de los suelos degradados en el país. Las principales causas de degradación son el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo (17.5% en ambos casos), la deforestación (7.4%) y la urbanización (1.5%). Todas estas causas tienen una importante relación con la afectación de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo. De acuerdo a este estudio, el principal proceso de degradación de suelo en el estado de Hidalgo es por procesos hídricos en un porcentaje 6.41% del territorio y erosión eólica presente en 5.53% de la superficie, en el resto del estado se clasifica sin degradación aparente.

Como resultado de la *Evaluación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana,* (SEMARNAT, 2005) se identificaron los riesgos de erosión hídrica y eólica que, potencialmente, podrían ocurrir en el país. A nivel nacional, la superficie con riesgos de pérdida de suelo ocasionada por el agua fue de 42% (ligera 10.9%, moderada 20.5%, alta 7.8% y muy alta 2.8%). Los riesgos de pérdida de suelo por erosión potencial eólica fueron del 89% (ligera 6.5%, moderada 30.6%, alta 33.6% y muy alta 18.2%) en el territorio nacional. De acuerdo a esta publicación, la erosión potencial hídrica en el estado de Hidalgo se presentaría en 26.29% sin erosión aparente, 13.41% ligera, 33.82% moderada, 15.86% severa y 10.63%

extrema de territorio estatal y la erosión eólica potencial se presentaría en 28.44% sin erosión aparente, 2.98% ligera, 47.69% moderada y 20.88% severa en el estado de Hidalgo.

El municipio de Huichapan presenta las siguientes características, una orografía plana y de poca pendiente, aunado a la presencia de una zona semidesértica en donde se presenta una vegetación arbustiva de matorral tipo crasicaule y condiciones hídricas bajas, suelos cuyas condiciones lito-físicas (Phaeozems y Vertisol) y por la presencia de escurrideros con pendientes ligeras, excepto en los arroyos Hondo y Pathecito provoca que el agua pluvial fluya hacia esos cauces, trasportando y depositando los suelos de algunas zonas en el fondo de las barrancas, esto se presenta en mayor parte del municipio derivado a que no existe variaciones climáticas ni de vegetación; lo anterior es sólo una muestra de las diversas razones por lo que el área se considera un ecosistema vulnerable, por lo que se debe tener precaución en la preservación del recurso suelo.

Conceptos básicos

La erosión es uno de los procesos de degradación que ha influido de manera determinante en el ambiente y en el desarrollo de la sociedad; este proceso es originado por varios factores naturales como el factor de erosividad de la lluvia, la edafología, el factor topográfico longitud-pendiente, vegetación, inclusive por factores antropogénicos. Cuando se debe sólo a causas naturales puede existir una tendencia al equilibrio entre los procesos de formación y los de desgaste del suelo, sin embargo, cuando el ser humano explota y utiliza inadecuadamente estos recursos, altera el equilibrio, provocando un aceleramiento de los procesos erosivos. La erosión forma parte de lo que se conoce como ciclo geográfico, que abarca los cambios que sufre un relieve por la acción de distintos agentes. Se trata del proceso de desgaste de la roca madre por procesos geológicos exógenos que se divide en tres etapas:

- Desprendimiento y remoción; se produce la alteración de la estructura superficial del suelo, destrucción de agregados, formación de costras y sellos, alteración de la relación infiltración/escurrimiento y pérdida de fertilidad del suelo (pérdida de materia orgánica y nutrientes). El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo aporta la energía para la existencia de este proceso.

- Transporte; en esta etapa se completa la pérdida de las partículas del suelo (materiales coloidales como materia orgánica, humus y nutrientes) iniciada en la etapa anterior, se genera el escurrimiento superficial del agua que produce distintas formas de erosión y daños a la infraestructura.

- Deposición de las partículas o sedimentación; proceso que, por una disminución de la energía del escurrimiento (disminución de la pendiente, obstáculos que reducen la velocidad) se produce el depósito de las partículas del suelo. Este depósito puede destruir cultivos, dañar la infraestructura (caminos vías férreas, etc.) así como colmatar y reducir la capacidad de represas y embalses.

Método de trabajo

Este método consiste principalmente en la recopilación de ciertos niveles de información, con la finalidad de ejecutar una ecuación establecida que brinda como resultado la cantidad de suelo en toneladas por hectárea al año, esta información se corrobora con prospecciones en campo para validar el resultado del análisis efectuado (**Figura II.1.6**).

El riesgo de erosión o erosión potencial se define como el efecto combinado de los factores causales de la erosión (lluvia, escurrimiento, suelo y topografía) la metodología e información se basó en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) y fue propuesta para calcular la erosión laminar y en canalillos (Wischmeier y Smith 1965, 1978).

$$A = R\,K\,LS\,C\,P$$

Donde:

- A = tasa de erosión anual (ton/ha.año).
- R = factor de erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha.h).
- K = factor de erodabilidad del suelo (ton.h/MJ.mm).
- LS = factor topográfico longitud-pendiente.
- C = factor de vegetación y cultivo.
- P = factor de prácticas conservación.

Para determinar la tasa de erosión se utilizó la herramienta de Algebra de Mapas de Arc Map, utilizando los siguientes Insumos: Modelo digital de elevación, la precipitación media anual, la cobertura vegetal y la edafología.

El factor R representa, para un área específica, la energía potencial de la lluvia y su escurrimiento asociado; es el factor de tipo climático que indica el potencial erosivo de las precipitaciones, el municipio se localiza en la zona 1 de la regionalización nacional de factor R (Becerra, 1997) y está dada por la ecuación "1.2078*P – 0.002276*P^2", en donde P es la precipitación media anual. Esta es una alternativa en donde no es posible calcular el EI30 (Intensidad máxima de lluvia en 30 minutos consecutivos) por falta de información detallada de la intensidad de precipitación en periodos de tiempo tan cortos a lo largo del año.

El factor *K* indica el grado de susceptibilidad o resistencia de un horizonte específico del suelo a la erosión. Para determinar este factor se empleó la información edafológica más reciente del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), las características que se obtuvieron de esta información son: tipo de suelo y textura (Montes-León 2011).

El Factor LS representa el efecto de la topografía sobre la erosión y está representada por los factores: longitud (L) y grado de pendiente (S). La longitud L se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde decrece la pendiente, al grado de que ocurre una sedimentación o bien hasta el punto donde el escurrimiento, una vez concentrado, encuentra un canal de salida bien definido. El factor de grado de pendiente *S* refleja la influencia del ángulo en la erosión (Montes-León 2011*)*.

El factor *C* se asigna con el objeto de reflejar el efecto de la vegetación y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. Se trata del factor usado con más frecuencia para comparar el efecto relativo de diferentes opciones de manejo en un plan de conservación. A medida que la cobertura vegetal sea mayor, el valor de *C* es cada vez menor, por lo que el rango para este parámetro es de cero (correspondiente a un terreno totalmente protegido) a uno (para terrenos sin ninguna protección). El coeficiente asociado con este factor será asignado de acuerdo con la información más reciente de INEGI de uso de suelo y vegetación (Montes-León 2011).

El factor P indica práctica de soporte en USLE, es la tasa relativa de pérdida de suelo con una práctica específica con respecto a la pérdida de suelo correspondiente con un laboreo combinado, volteando el suelo pendiente arriba y pendiente abajo. Se revisó la información disponible y no se detectó algún área significativa en donde se lleve a cabo algún tipo de práctica de conservación en el municipio, por lo que el factor P se consideró como uno (Montes-León 2011).

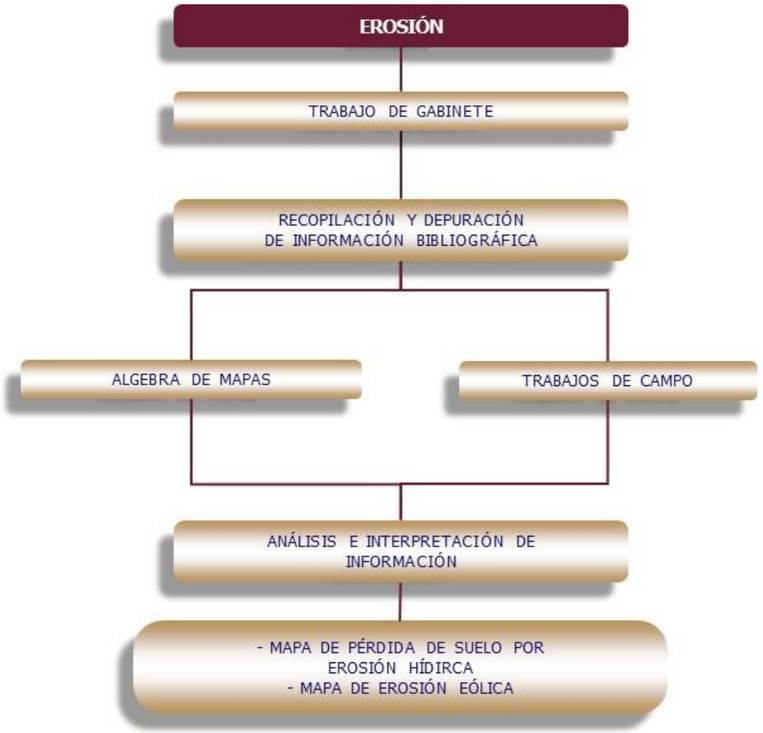


Figura II.1.6. *Método de trabajo para el nivel de información de erosión del municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*

Análisis de la información

Del procedimiento anterior se obtuvo como resultado el mapa de pérdida de suelo, en el cual se determina en toneladas de suelo por hectárea al año, como se puede observar el nivel de perdida de suelo en municipio de Huichapan a pesar de presentar una zona semidesértica es en gran medida baja, esto derivado de las pendientes suaves, baja precipitación y de las condiciones de tipos de roca, suelo y vegetación (**Figura II.1.6.1**).

Con la información descrita anteriormente se verificó en campo las áreas que presentaron un grado de pérdida mayor de suelo, en la **tabla II.1.6.1** se muestra las características de los puntos prospectados en campo.

Tabla II.1.6.1 *Listado de los sitios de erosión prospectados en el municipio de Huichapan.*

Punto	X	Y	Z	Localidad_	Erosión		Vegetación	Área (km²)	Litología	Edafología
ErH-01	417901	2260432	2146	-	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Andesita	Phaeozems
ErH-02	425801	2255949	2024	San José Dandhó (Los Jaramillo)	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems
ErH-03	425004	2257957	1996	Dandhó	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems
ErH-04	424512	2259284	1972	Dandhó	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems
ErH-05	421890	2254821	2084	La Cruz	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Vertisol
ErH-06	423159	2253917	2053	Zothé-La Cruz	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Pastizal Inducido	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems
ErH-07	426174	2254643	2037	Maney	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems
ErH-08	428324	2258199	2014	El Pedregal	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Basalto-Andesita	Phaeozems
ErH-09	419620	2251131	2220	Huixcazdhá	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Bosque de Encino	< 1	Basalto-Andesita	Vertisol
ErH-10	424842	2246466	2187	Presa Francisco I. Madero	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh2-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Basalto-Andesita	Phaeozems
ErH-11	438028	2250113	2242	La Sabinita	Erosión Hídrica Laminar moderada y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Basalto-Andesita	Phaeozems
ErH-12	444051	2267375	2050	El Apartadero	Erosión Hídrica Laminar Alta y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh2-Ec1	Matorral Crasicaule	< 1	Lutita-Arenisca	Vertisol
ErH-13	439281	2265059	2091	El Tendido	Erosión Hídrica Laminar moderada y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh2-Ec1	Matorral Crasicaule	< 1	Andesita	Vertisol
ErH-14	440368	2264144	2100	El Tendido	Erosión Hídrica Laminar moderada y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh2-Ec1	Matorral Crasicaule	< 1	Andesita	Vertisol
ErH-15	424040	2260352	1940	Dandhó	Erosión Hídrica Laminar moderada y Erosión Concentrada en Causes y Cañadas	Eh3-Ec1	Vegetación Arbustiva de Matorral Crasicaule	< 1	Toba Riolítica-Ignimbrita	Phaeozems

Erosión Eólica

En el municipio de Huichapan el viento es un factor que incide en la erosión de suelo, aunado al relieve, tipo de suelos, vegetación y clima. De acuerdo a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en el año del 2023 en la estación climatológica de Huichapan el valor promedio de las ráfagas de viento es de 11.52 km/h y con una dirección de 22° al suroeste.

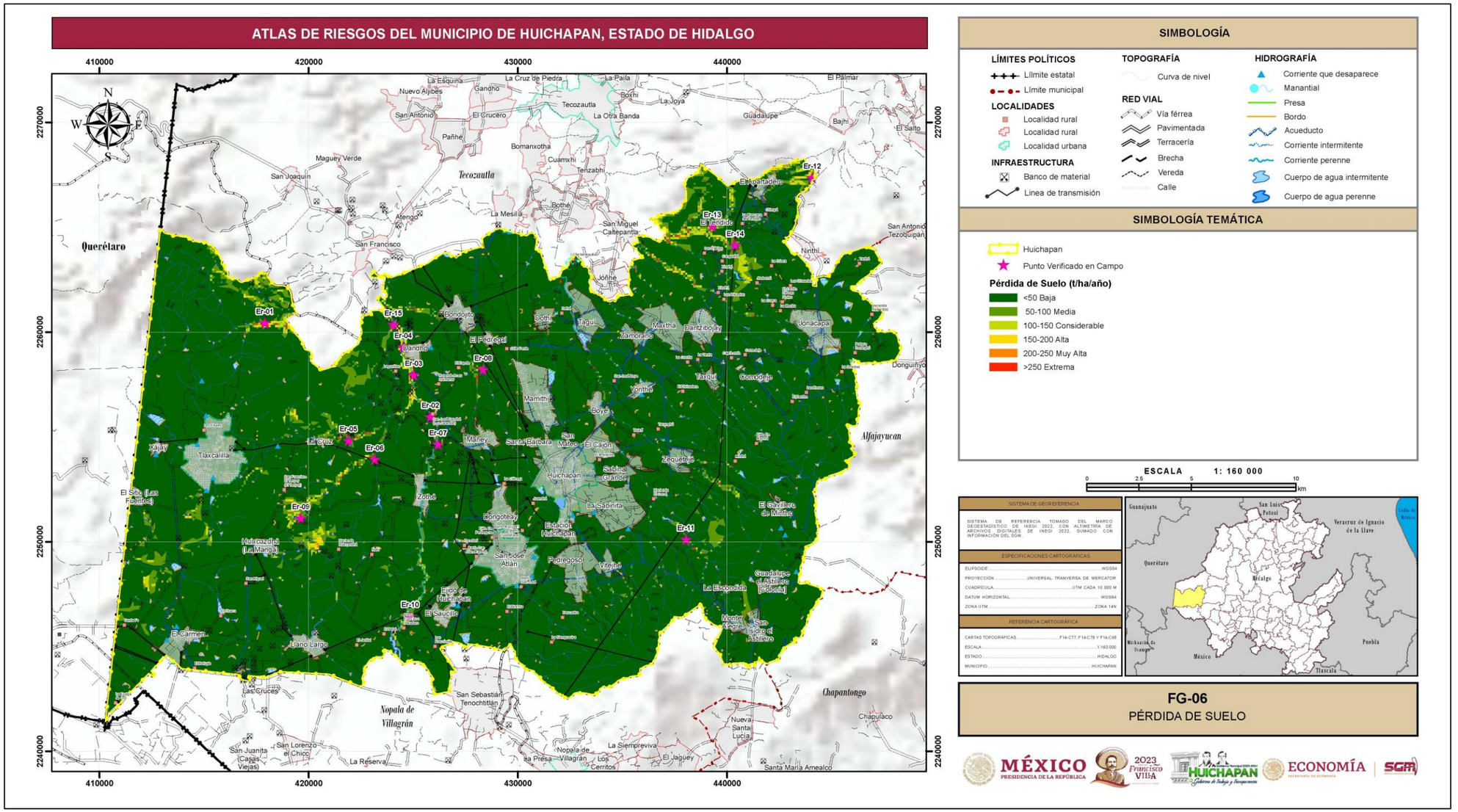
Análisis de la información

Con la información de las características físicas y climatológicas presentes en el municipio se determinó la influencia que tiene cada parámetro utilizado, se consideró la afectación que tiene el viento en la variable suelo, es decir, la afectación de acuerdo a las características intrínsecas del tipo del suelo (López, 2010) presente en el municipio, con la finalidad de ponderar y asignar valores (**tabla II.1.6.2**) para el resultado del mapa de erosión eólica (**Figura II.1.6.2**).

Tabla II.1.6.2 *Asignación de peso a las variables por erosión eólica.*

Factor	Tipo	Valor de clase (influencia)	Ponderación
Clima	BS1kw	1	10
	C(wo)	2	
	C(w1)	3	
Pendiente	0° - 14°	1	20
	15° - 25°	2	
	26° - 35°	3	
	36° - 45°	4	
	> 45	5	
Vegetación	Pastizal natural, bosque de encino	1	40
	Pastizal inducido,	2	
	Matorral cracicaule, vegetación. Secundaria arbustiva	3	
	Agricultura de temporal anual, agricultura de temporal permanente, vegetación. secundaria arbustiva de bosque. de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	4	
	Agricultura de riego semipermanente, agricultura de temporal anual, área sin vegetación	5	
Suelo	Leptosol	5	30
	Planosol	4	
	Phaeozems	1	
	Rendzina	3	
	Vertisol	2	

Fuente: Elaboración propia, 2023.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Punto Verificado en Campo

Pérdida de Suelo (t/ha/año)
- <50 Baja
- 50-100 Media
- 100-150 Considerable
- 150-200 Alta
- 200-250 Muy Alta
- >250 Extrema

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FG-06
PÉRDIDA DE SUELO

Figura II.1.6.1 *Pérdida de suelo en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

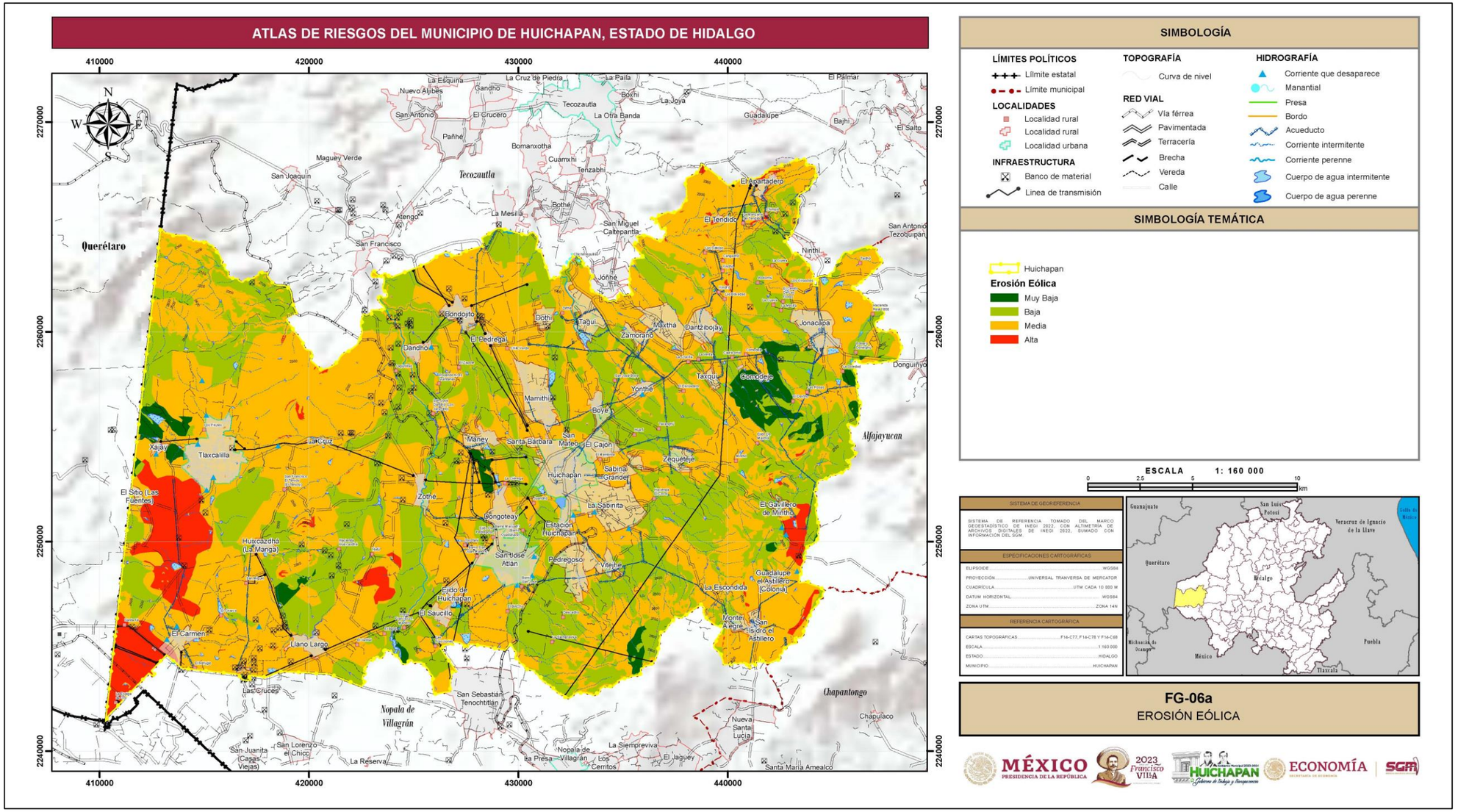


Figura II.1.6.2 *Erosión eólica en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Conclusiones

En general el municipio de Huichapan presenta una erosión hídrica de suelo baja (menos de 50 t/ha/año), resultado de las bajas pendientes y las condiciones hídricas que existen en la región a pesar de que el municipio presenta condiciones semidesérticas, en donde se presenta vegetación arbustiva de matorral crasicaule (**fotografías II.1.6.1, II.1.6.2 y II.1.6.3**) existen algunas áreas con un grado de erosión de considerable a alto (150 t/ha/año). Estas zonas se clasifican como erosión concentrada y se presenta principalmente en causes y cañadas, (**fotografías II.1.6.4 y II.1.6.5**) sin embargo, la extensión territorial es mínima, una condición observada en estas prospecciones en campo es que en varios sitios se presenta la explotación de cantera, (**fotografías II.1.6.6, II.1.6.7, II.1.6.8 y II.1.6.9**), en estos cortes de talud se pierde la sustentabilidad del suelo y que, por la acción pluvial, aunado a las pendientes de las laderas el arrastre de material se facilita. Se recomienda en caso de existir suelo fértil y cuando se realicen los trabajos de descapote, trasladar el suelo a otras áreas, con la intensión de preservar las condiciones y características de este recurso.

En lo que respecta a la erosión eólica el resultado muestra un grado en general de baja a media, esto se debe a que el municipio presenta una topografía semi-plana y condiciones vegetativas semidesérticas, por lo que el viento es un factor que incide para este fenómeno a pesar de que no existan ráfagas de vientos que afecten mayormente en la pérdida de suelo. En la porción sur-poniente se presenta una erosión eólica alta esto debido a la presencia de zonas de cultivo y la presencia de ráfagas de vientos de mayor intensidad.

Fotografía II.1.6.1 *Condiciones semidesérticas en las cercanías de la localidad de San José Dandhó (Los Jaramillo) (ErH-02) en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*

Fotografía II.1.6.2 *Condiciones semidesérticas en las cercanías de la localidad, Maney (ErH-07) en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*

Fotografía II.1.6.3 *Condiciones semidesérticas en las cercanías de la localidad El Tendido (ErH-14) en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo.*

Fotografía II.1.6.4 *Cañada del arroyo Hondo localizada en las cercanías de la localidad de Dandhó (ErH-03), en donde se depositan los materiales erosionados por la acción pluvial.*

Fotografía II.1.6.5 *Materiales arrastrados por la acción pluvial y que son transportadas al fondo de la cañada en las cercanías de la localidad El Tendido (ErH-13).*

Fotografía II.1.6.8 *Cantera localizada en las cercanías de la Presa Madero (ErH-10), se presenta la pérdida de suelo por trabajos de descapote, estos materiales son depositados en el cauce de la presa (arroyo Hondo).*

Fotografía II.1.6.9 *Cantera localizada en las cercanías de la localidad de Dandhó (ErH-15), se presenta la pérdida de suelo por trabajos de descapote, estos materiales son depositados en el fondo de la cañada de arroyo Hondo.*

Fotografía II.1.6.6 *Cantera en la localidad de Dandhó (ErH-03), se presenta la pérdida de suelo por trabajos de descapote, estos materiales son depositados al fondo de la barranca en donde se localiza el arroyo Hondo).*

Fotografía II.1.6.7 *Cantera sin operación en donde se presenta una cobertura vegetal y espesor de suelo bajo, sitio localizado entre las localidades de Zothé y La Cruz (ErH-06).*

II.2 FENÓMENOS NATURALES DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO

II.2.1 Ondas cálidas y gélidas

Este fenómeno se refiere a los cambios de temperatura que ocurren en el ambiente entre dos extremos: temperaturas muy altas (ondas cálidas) y temperaturas muy bajas (ondas gélidas). Estos cambios son causados por las variaciones que se presentan durante el transcurso de las diferentes estaciones del año. Las ondas cálidas y gélidas se refieren a las temperaturas extremas máximas y mínimas del aire que se alcanzan durante tres días, un mes o un año en comparación con las condiciones climáticas habituales de una determinada región.

Antecedentes

Dependiendo de la época del año, son diversos fenómenos hidrometeorológicos los que afectan al municipio. Por ejemplo, las ondas gélidas ocurren en los meses de diciembre a febrero, cuando las masas polares de aire frío invaden el territorio mexicano procedente del norte de Estados Unidos y Canadá, que, al combinarse con masas de aire húmedo procedente del Océano Pacífico, y frecuentemente alimentadas en altura por la corriente de chorro subtropical, pueden ocasionar heladas en los valles e incluso nevadas en las partes altas de las montañas (Longar Blanco et al., 2017). Las ondas de calor ocurren mayormente durante los meses de verano y suceden en zonas geográficas que combinan temperaturas altas y elevados niveles de humedad, aunque también se pueden producir en lugares secos (GeoEnciclopedia, 2021). En la **tabla II.2.1.1** se muestra algunos casos en los que se han registrado eventos asociados a ondas cálidas y gélidas dentro del municipio.

Tabla II.2.1.1 *Eventos asociados a ondas cálidas y gélidas en el municipio de Huichapan.*

FECHA	EVENTO	DESCRIPCIÓN
26/11/2007	*Helada*	*Declaratoria de emergencia por heladas atípicas. (Diario Oficial de la Federación (DOF, 2007)*
6/03/2013	*Helada*	*Municipios afectados por las heladas. (Agricultura Hidalgo, 2013).*
10/04/2023	*Onda cálida*	*Aguas con ola de calor. (Pérez, L., 2023)*
5/04/2023	*Onda cálida*	*Hasta 39 grados este miércoles en Hidalgo (Monroy, G. 2023)*
3/05/2023	*Onda cálida*	*Inicio de la segunda Onda de Calor en el occidente, centro y sureste de México, (SMN, 2023)*
1/04/2023	*Onda cálida*	*Hoy, y la siguiente semana, se establecerá la primera onda de calor en México, (SMN, 2023b)*
3/06/2023	*Onda cálida*	*Hoy la tercera onda de calor mantendrá temperaturas de 40 a 45 grados Celsius en 15 entidades de México (SMN, 2023c)*

Método de trabajo

Se realizó la recopilación de información biblio-cartográfica, revisión y selección de las estaciones climatológicas de la base de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), las cuales deben contar necesariamente con al menos 30 años de información continua de temperaturas máximas y mínimas. Posteriormente se llevó a cabo la depuración y análisis de información de las estaciones seleccionadas, generando con ello una base de datos que permitiera mediante un SIG, y metodologías como la distribución de Gumbel, el método de Weibull y el modelo de regresión, para la elaboración de los distintos mapas temáticos (**Figura II.2.1.1**).

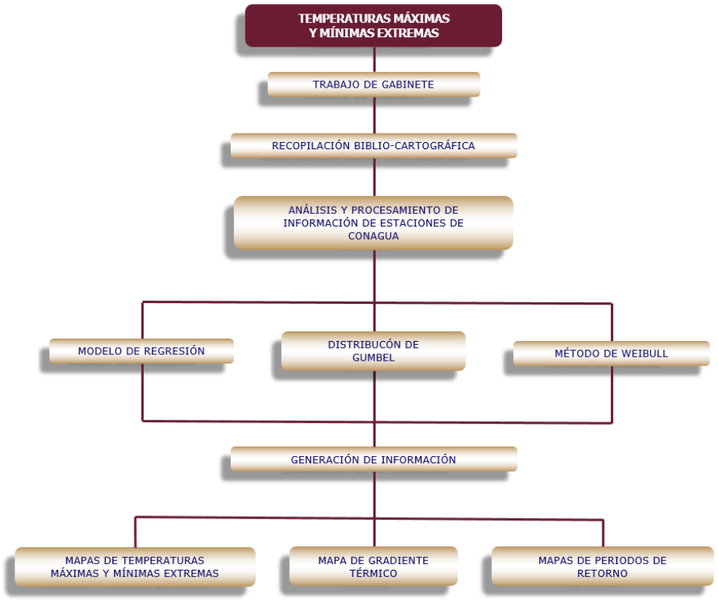


Figura II.2.1.1 *Metodología de trabajo para temperaturas extremas.*

Para la obtención de los mapas de temperaturas máximas y mínimas extremas, se analizaron datos de 12 estaciones climatológicas con 47 años de información (1970-2017) (**Tabla II.2.1.2**), reportados por el SMN, organismo encargado de concentrar, revisar, depurar y ordenar la información de la red nacional de la CONAGUA. La ubicación de las estaciones climatológicas se muestra en la **figura II.2.1.2**.

Tabla II.2.1.2 *Estaciones climatológica usadas para el análisis de las temperaturas extremas.*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	ESTADO	MUNICIPIO	X	Y	Z
13012	Huichapan	Activa	Hidalgo	Huichapan	432363	2252493	2,125
13064	Chapantongo			Chapantongo	457075	2243472	2,122
13080	Presa Endhó			Tepetitlán	462901	2228673	2,035
13081	Presa Golondrinas			Alfajayican	460967	2260284	1,876
13083	Presa Madero			Huichapan	424570	2245885	2,206
13088	Tasquillo			Tasquillo	468271	2272652	1,680
13148	Xitha			Zimapán	465851	2282274	2,040
13152	El Potrero			Tecozautla	422826	2264287	1,857
13156	Tlaxcalilla			Huichapan	415585	2253154	2,194
15189	La Concepción		Estado de México	Aculco	404403	2227978	2,351
15192	Taxhie			Polotitlán	407115	2236696	2,260
22003	Cadereyta		Querétaro	Cadereyta de Montes	415245	2289713	2,040

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

Temperaturas máximas y mínimas extremas

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2020) una onda de calor se define como el periodo mayor de tres días consecutivos con temperaturas por arriba del promedio, esto aplica tanto para las temperaturas máximas (las que se registran entre las 14:00 y 16:00 horas) como para las mínimas (entre las 05:00 y 07:00 horas). Se consultó el mapa de índice de riesgo por ondas de calor a escala nacional que se encuentra en el Atlas Nacional de Riesgos (ANR, 2023) y que fue elaborado por el CENAPRED, muestra que la mayor parte del municipio se encuentra en un índice de riesgo muy bajo por la ocurrencia de este fenómeno, sólo una pequeña porción en el centro norte del municipio presenta un grado bajo. (**Figura II.2.1.3**).

Al momento de elaboración del presente Atlas (2023) se han registrado ondas de calor extremas a nivel nacional particularmente la tercera onda cálida del año, ocurrida en el mes de junio, donde se ha observado un aumento significativo en las muertes por golpes de calor relacionadas con este fenómeno meteorológico, duplicando las cifras previas, al igual que un incremento significativo en los casos de afectaciones a la salud debido al calor (Olvera, 2023). Por tanto, es crucial tomar en consideración las medidas de prevención y cuidado frente a este fenómeno.

Una onda gélida u onda de frío se define como un fuerte enfriamiento del aire o una invasión de aire muy frío que se extiende sobre un amplio territorio. Su desarrollo es breve, de 3 a 4 días, aunque se puede prolongar a una semana. Las ondas de frío no sólo son bajas temperaturas, sino que pueden provocar agua nieve y nevadas (CENAPRED, 2016). De acuerdo con el ANR, el municipio se encuentra en riesgo bajo al oeste, por la ocurrencia de bajas temperaturas y aumenta de rango medio al noroeste (**Figura II.2.1.4**).

Del análisis de datos de las 12 estaciones climatológicas, se realizó la **tabla II.2.1.3**, donde se observan las temperaturas máximas y mínimas históricas registradas en cada estación en el periodo de 1970 a 2017.

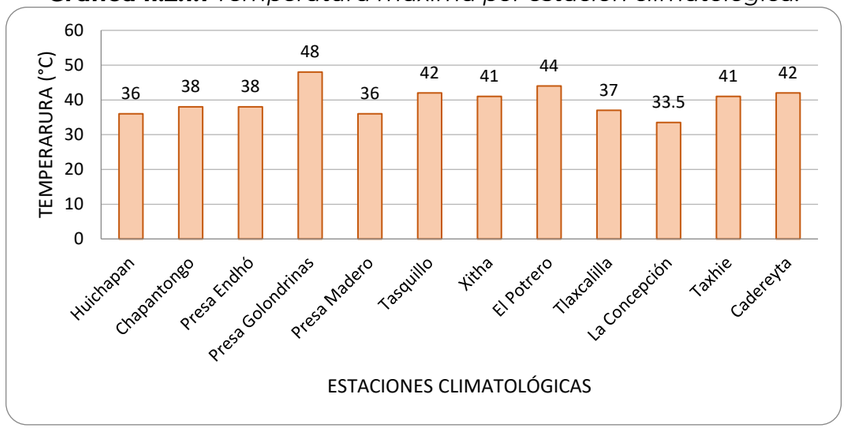
Tabla II.2.1.3 *Temperaturas máximas y mínimas históricas por estación climatológica.*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	UBICACIÓN	MUNICIPIO	TEMP MAX (°C)	TEMP MIN (°C)
13012	Huichapan	Activa	Hidalgo	Huichapan	36	-5
13064	Chapantongo			Chapantongo	38	-9
13080	Presa Endhó			Tepetitlán	38	-6
13081	Presa Golondrinas			Alfajayican	48	-9
13083	Presa Madero			Huichapan	36	-7
13088	Tasquillo			Tasquillo	42	-6
13148	Xitha			Zimapán	41	-10
13152	El Potrero			Tecozautla	44	-8
13156	Tlaxcalilla			Huichapan	37	-10
15189	La Concepción		Estado de México	Aculco	33.5	-8.5
15192	Taxhie			Polotitlán	41	-11
22003	Cadereyta		Querétaro	Cadereyta de Montes	42	-8

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

Las temperaturas máximas se encuentran entre 33.5° y 48°C. La temperatura más alta se reportó en las estaciones de Presa Golondrinas y El Potrero, esta última se encuentra a un kilómetro y medio del municipio de Huichapan al norte. En la **gráfica II.2.1.1** se observa que la temperatura en 6 de las 12 estaciones supera los 40 °C. Se realizó la interpolación de los datos obtenidos y se generó el mapa de la **figura II.2.1.5**, se observa que las temperaturas máximas extremas en el municipio se encuentran en un rango de 35.5°C a 45.5°C, siendo la porción sur la que registra los valores más altos.

Gráfica II.2.1.1 *Temperatura máxima por estación climatológica.*



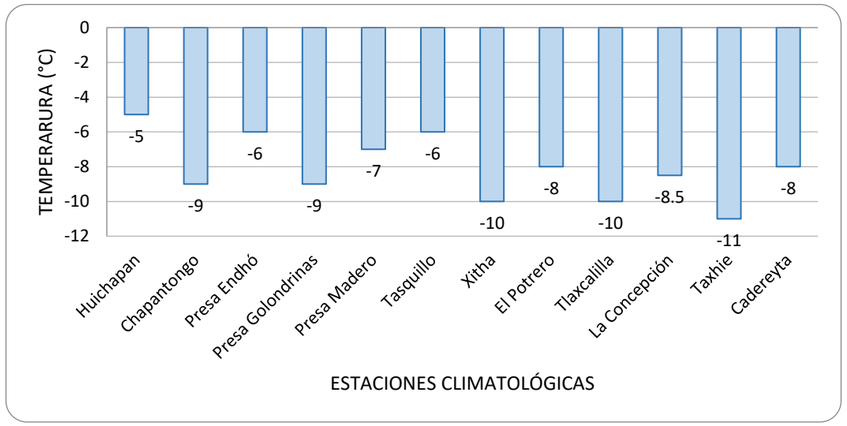
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA (2023)*

Para el caso de temperaturas mínimas las estaciones de Tlaxcalilla, Xitha y Taxhie, la primera ubicada en la zona noroeste del municipio registrando una temperatura mínima extrema de -10 °C, las dos estaciones restantes se encuentran fuera del municipio, en el caso de la estación Taxhie a seis kilómetros al suroeste del municipio, es la que registra la temperatura mínima extrema con -11 °C. (**Grafica II.2.1.2**)

En la **gráfica II.2.1.2** se observa la distribución de las temperaturas mínimas registradas en las diferentes estaciones analizadas, todas tienen valores por debajo de los cero grados centígrados, estas temperaturas pueden ocasionar daños a la salud de los habitantes, a la agricultura y la ganadería, lo que conlleva a pérdidas económicas en el municipio.

Los resultados de la interpolación de los valores arrojan que las temperaturas mínimas extremas en el municipio oscilan entre -10°C y -5°C, la parte oeste es la zona con los valores más bajos **(Figura II.2.1.6)**.

Gráfica II.2.1.2 Temperatura mínima por estación climatológica.



Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA (2023).*

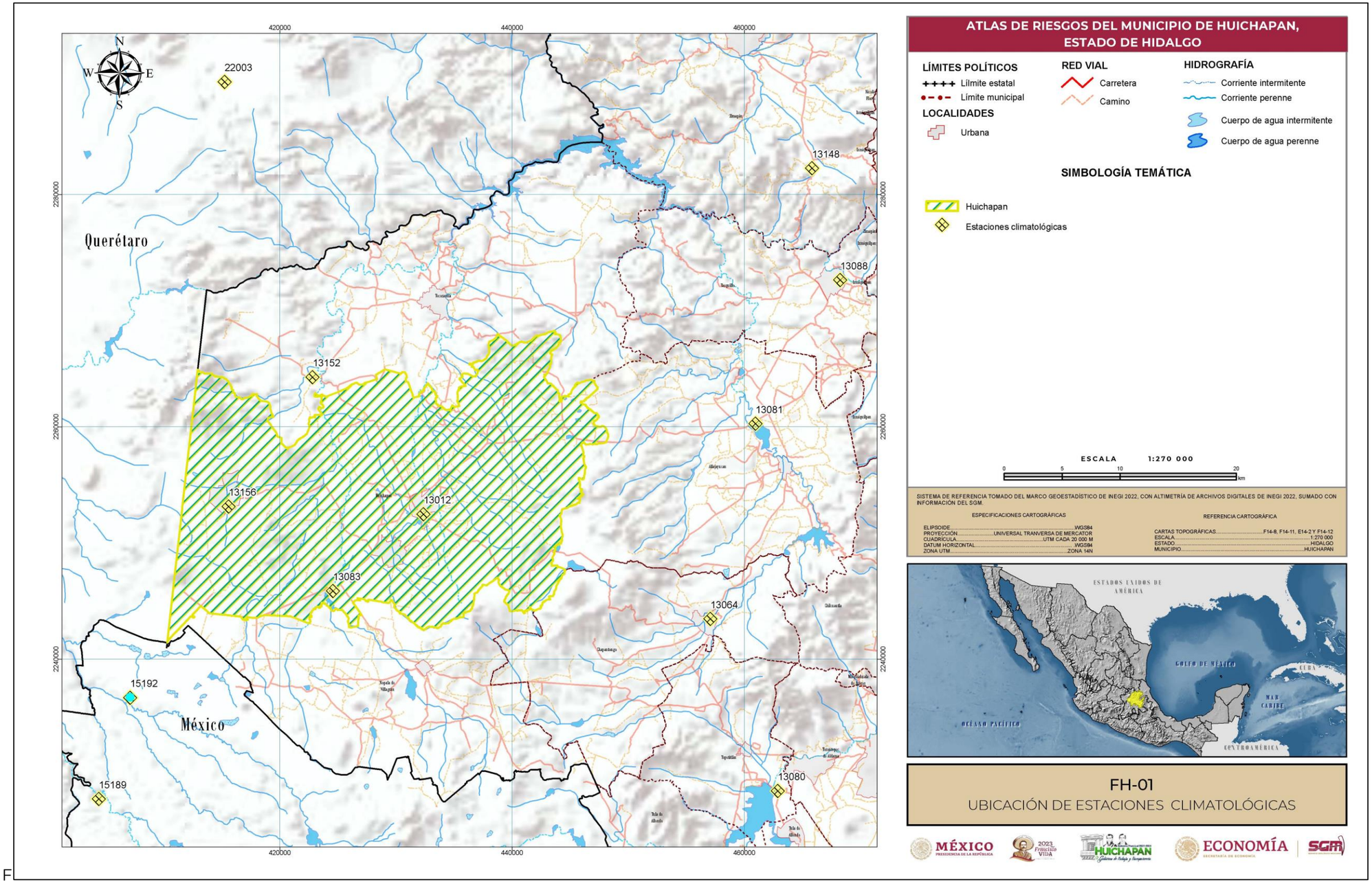


Figura II.2.1.2 Ubicación de estaciones climatológicas utilizadas para el análisis.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA (2023).*

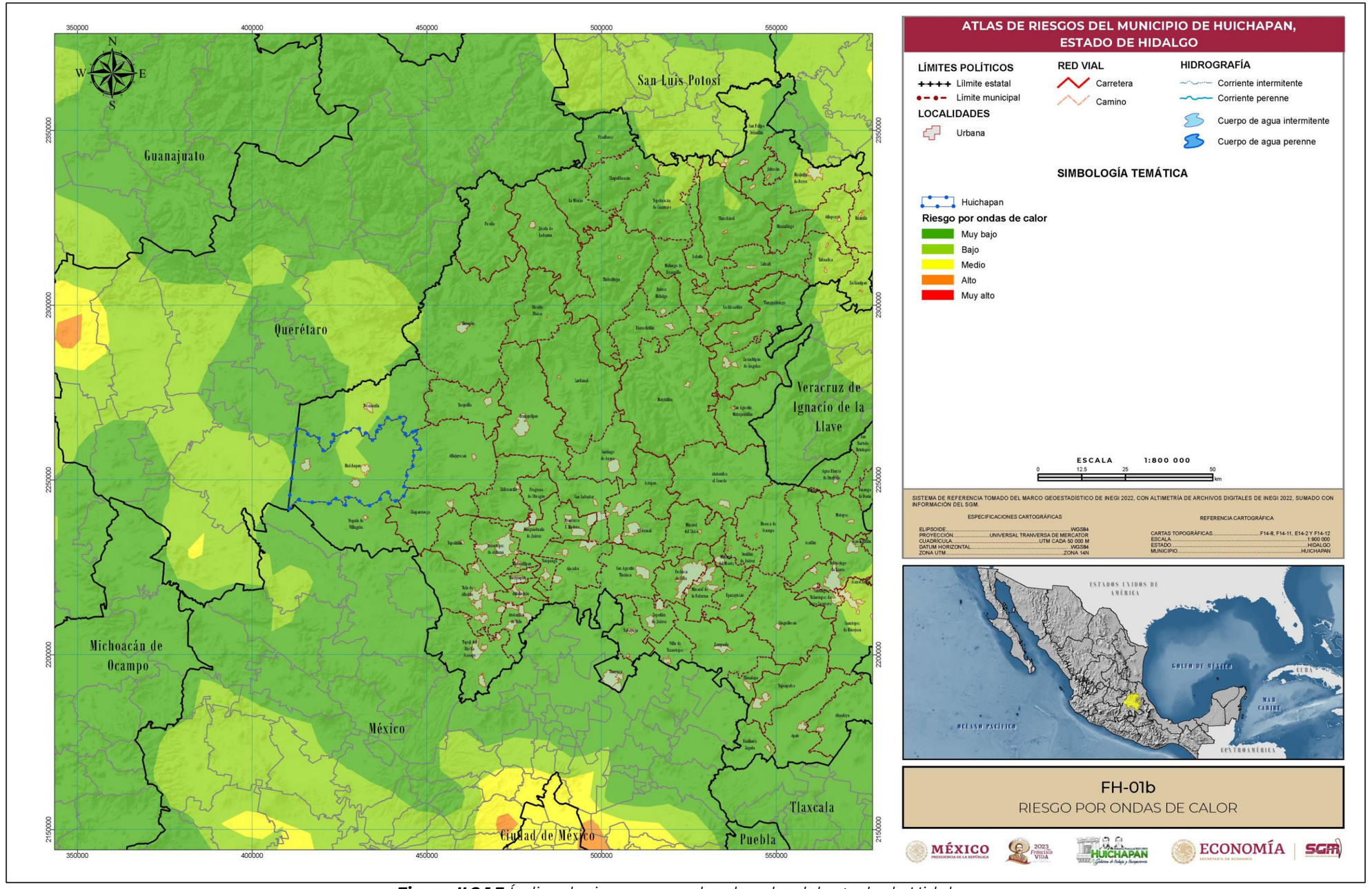


Figura II.2.1.3 *Índice de riesgo por ondas de calor del estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia con información del ANR, 2023.*

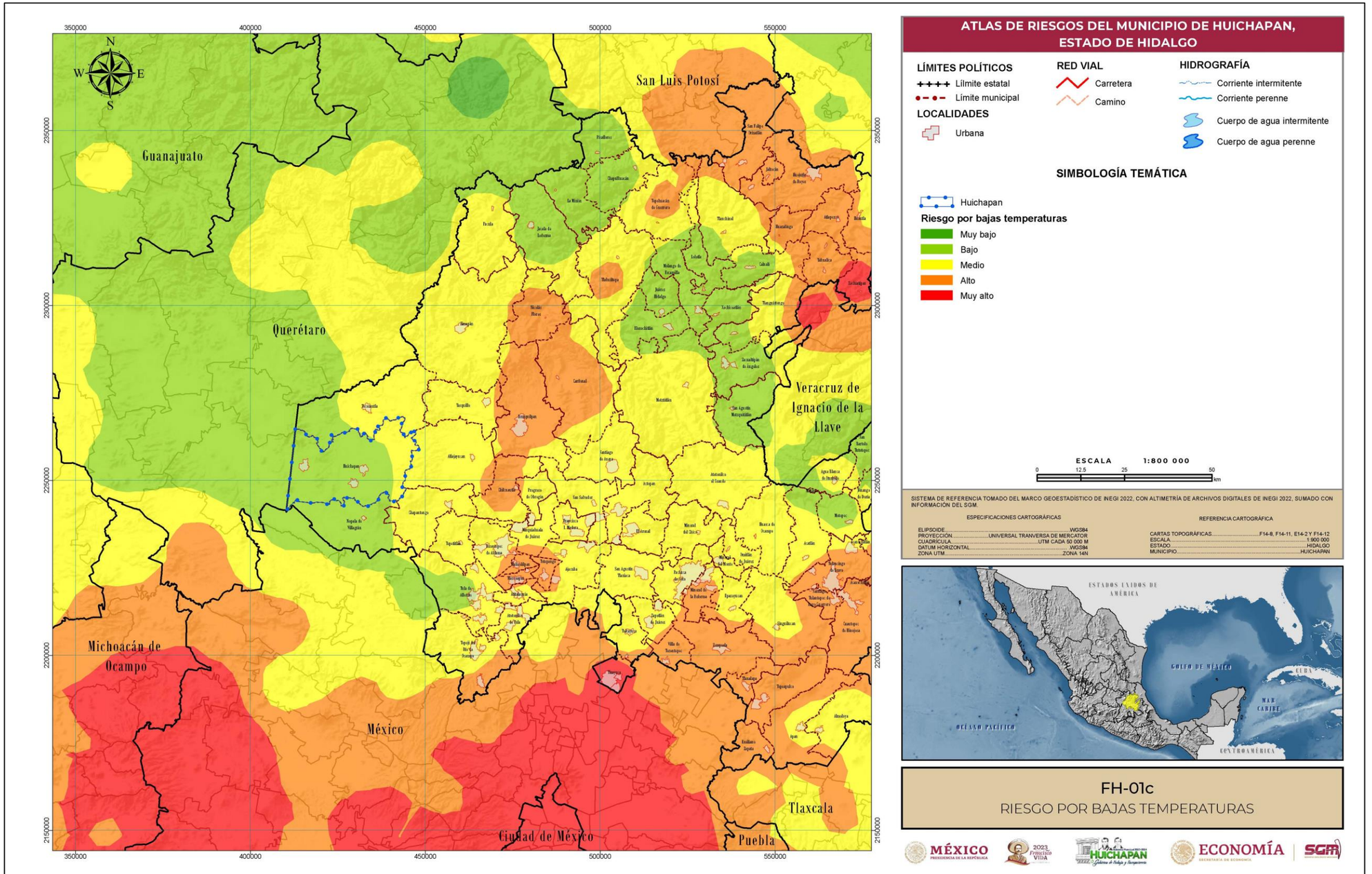
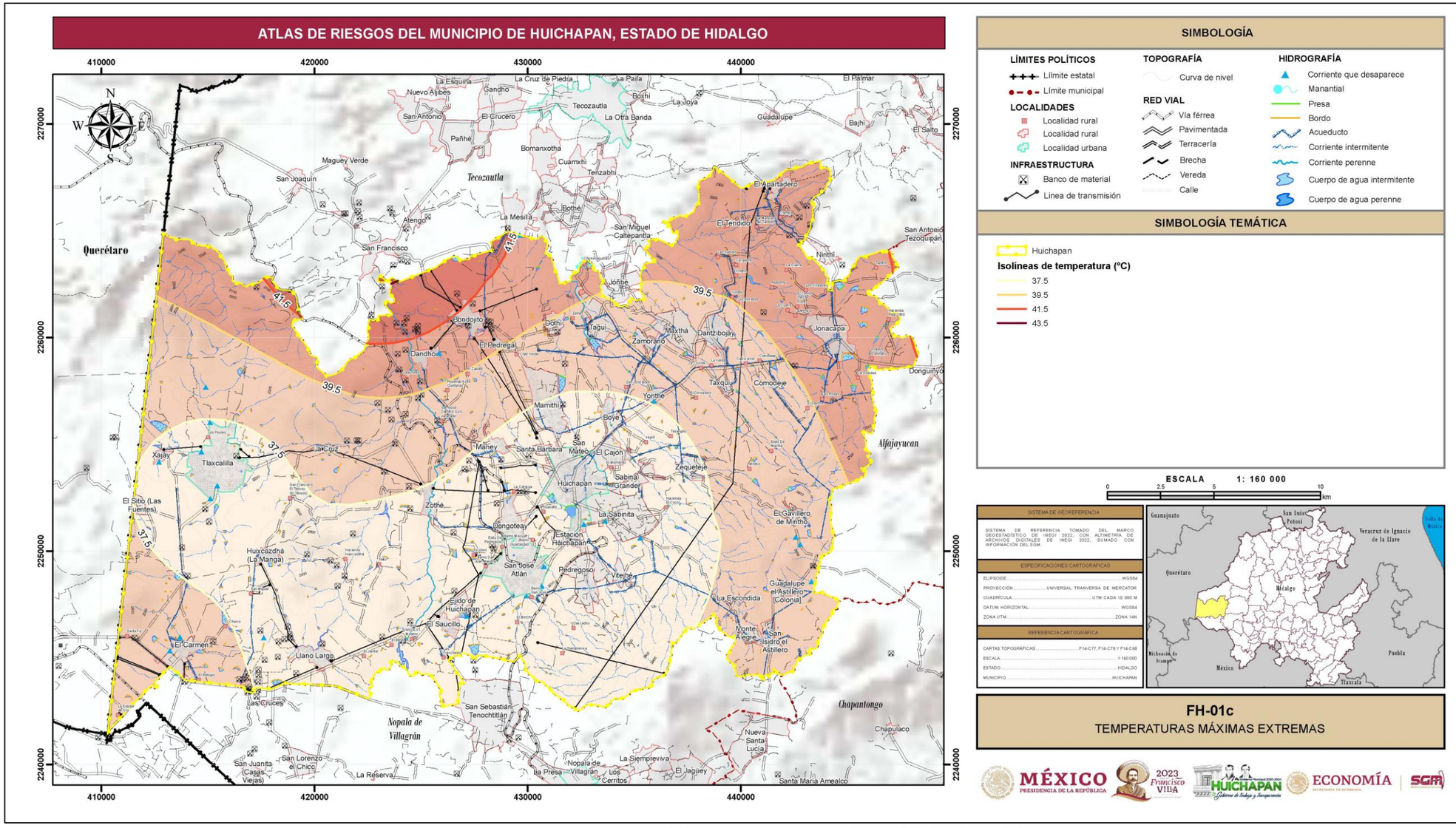


Figura II.2.1.4 Índice de riesgo por bajas temperaturas en el estado de Hidalgo.
Fuente: *Elaboración propia con información del ANR, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Isolineas de temperatura (°C)
- 37.5
- 39.5
- 41.5
- 43.5

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRICULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-01c
TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS

Figura II.2.1.5 Temperaturas máximas extremas en el municipio de Huichapan.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

Gradiente térmico vertical

Este análisis se desarrolla con base en el artículo “Near surface humidity in a megadivers Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization”, de la revista científica Agricultural and Forest Meteorology, (Fries, 2011), el cual se apoya del modelo de regresión de las temperaturas medias y la altura de cada estación climatológica.

Para el cálculo del gradiente térmico altitudinal se consideraron las 12 estaciones del análisis anterior, utilizando el mismo espacio temporal de 1970 a 2017, con el objetivo de determinar la correlación entre la altitud en cualquier parte de la zona y la temperatura presente (**Tabla II.2.1.4**).

Tabla II.2.1.4 *Estaciones climatológicas usadas para determinar el gradiente térmico altitudinal.*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	T MEDIA (°C)	ALTURA (m)	T DETERMINADA (°C)
13012	Huichapan	Activa	15.6	2125	16.27
13064	Chapantongo		14.5	2122	15.17
13080	Presa Endhó		17.4	2035	17.58
13081	Presa Golondrinas		17.0	1876	16.35
13083	Presa Madero		15.7	2206	16.76
13088	Tasquillo		18.9	1680	17.26
13148	Xitha		16.9	2040	17.11
13152	Potrero		16.6	1857	15.86
13156	Tlaxcalilla		14.2	2194	15.20
15189	La Concepción		13.9	2351	15.73
15192	Taxhie		17.1	2260	18.41
22003	Cadereyta		16.0	2040	16.18

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

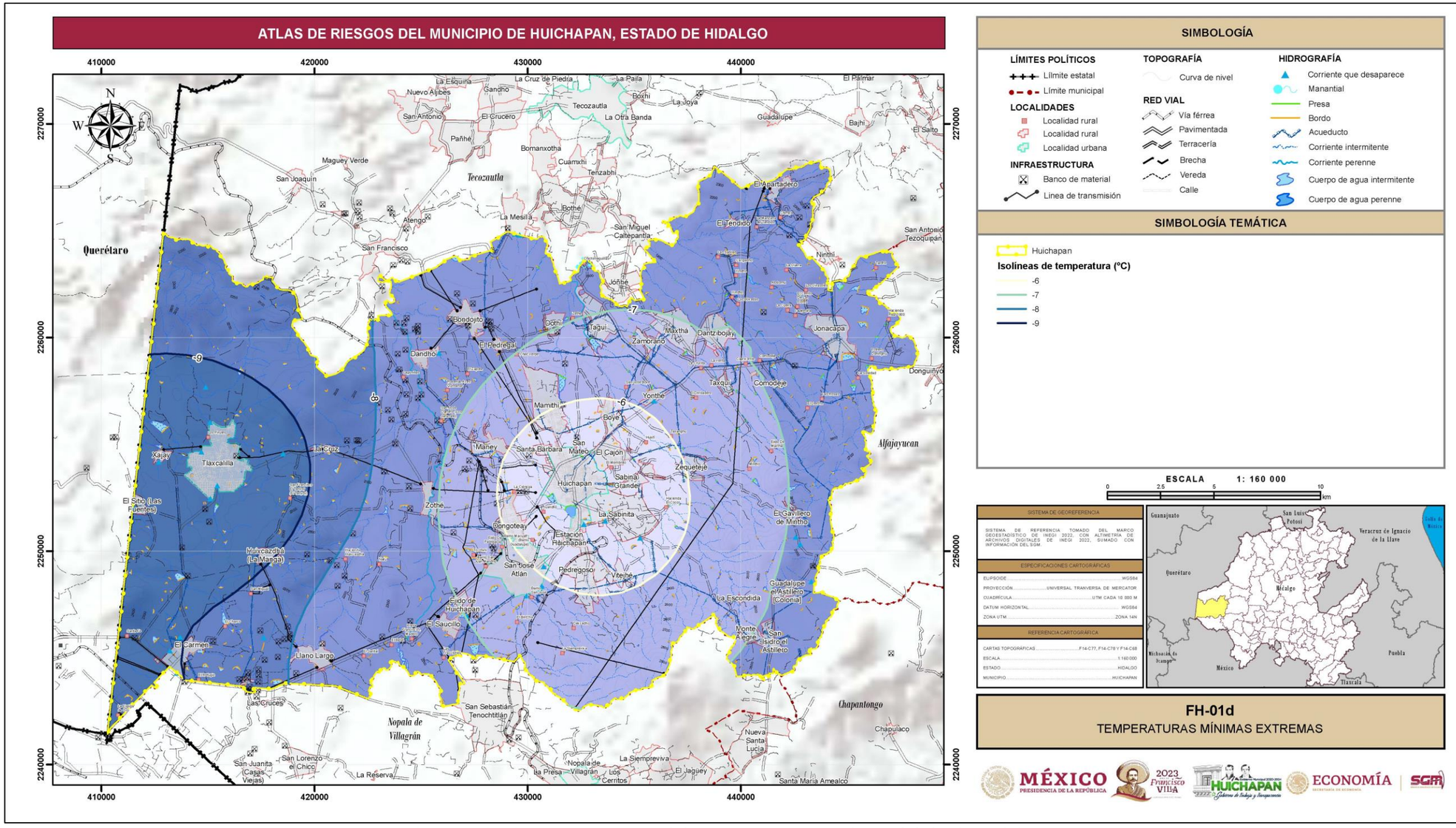
Partiendo del valor de temperatura media histórica registrada en cada estación, es posible aplicar la siguiente fórmula, con el objetivo de obtener la temperatura a una misma altura y realizar la interpolación de los valores.

$$\boldsymbol{Tdet = Tmedia + (r(Zdet - Zestación))}$$

Donde:

Tdet = Temperatura determinada para la correlación a una misma altura.
Tmedia = Temperatura media en la estación climatológica durante todo el periodo a analizar.
r = Gradiente obtenido del cálculo de la recta de regresión entre las temperaturas medias y la altura de la estación.
Zdet = Altura a la que se calcula la Tdet (2000 m).
Zestación = Altura a la que se localiza la estación climatológica.

La temperatura que resulta de aplicar la ecuación anterior es el parámetro que permite el cálculo del gradiente térmico altitudinal para el municipio. El mapa resultante de la interpolación de los valores obtenidos se muestra en la **Figura II.2.1.7**. La zona presenta valores del gradiente térmico entre 11° y 17°C redondeando. Se puede confirmar la relación de temperatura con las zonas de menor altitud (oriente del municipio), en donde se presentan temperaturas elevadas, mientras que, en la zona occidente del municipio, en donde la elevación es mayor se presentan temperaturas menores.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Isolineas de temperatura (°C)
- -6
- -7
- -8
- -9

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

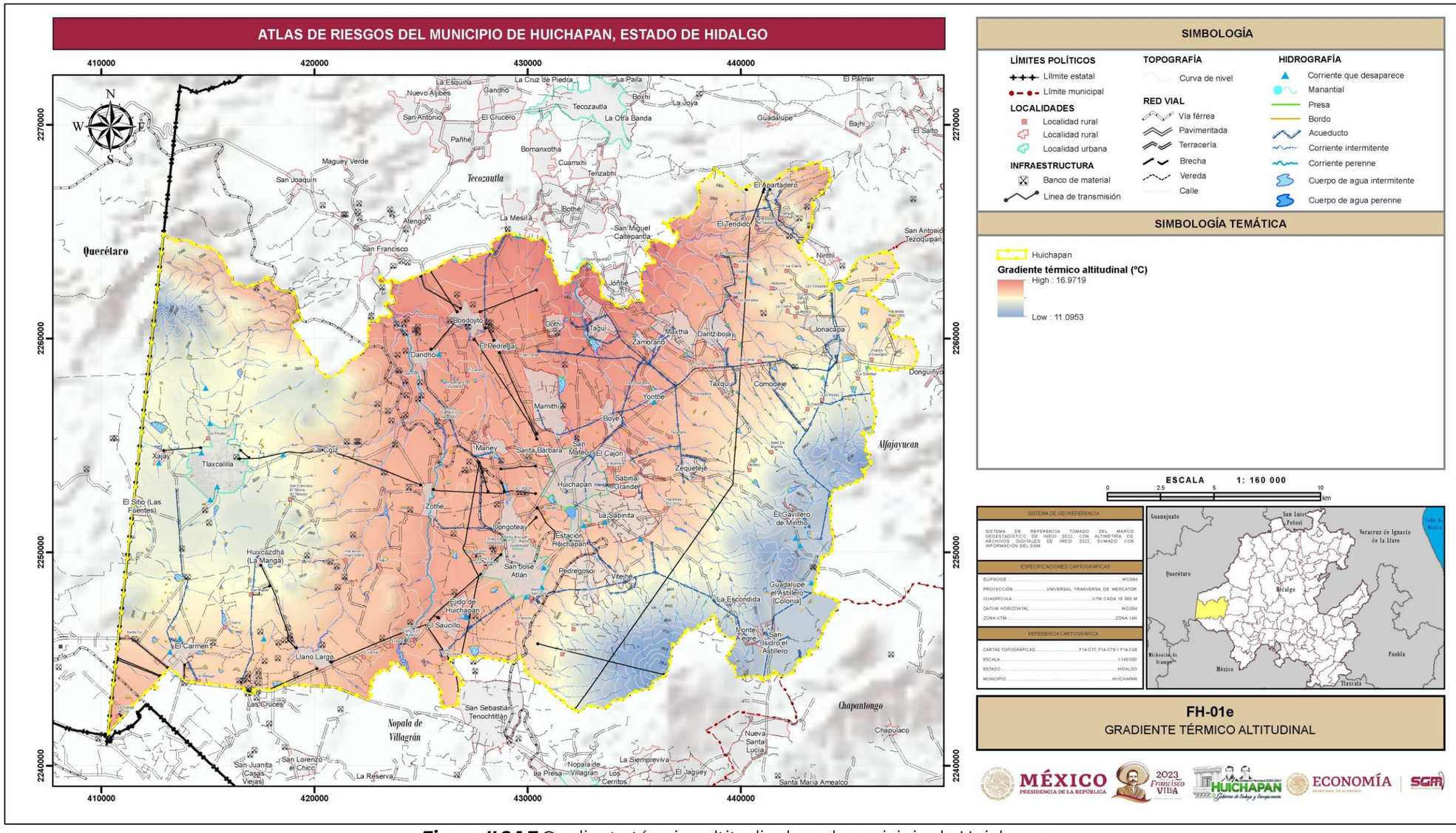
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-01d
TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTREMAS

Figura II.2.1.6 Temperaturas mínimas extremas en el municipio de Huichapan.
Fuente: *Elaboración propia con información de la* CONAGUA, 2023.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Gradiente térmico altitudinal (°C)

High : 16.9719

Low : 11.0953

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160,000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-01e
GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL

Figura II.2.1.7 Gradiente térmico altitudinal en el municipio de Huichapan.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

Periodos de retorno de temperaturas máximas

El cálculo de los periodos de retorno para 5, 10, 25 y 50 años, se realizó mediante la distribución de Gumbel, esta función ha sido utilizada en diversos trabajos para calcular valores extremos, principalmente de variables climatológicas ya que se ha comprobado que se ajusta bien para diferentes periodos de tiempo. En el presente análisis se ha empleado para el cálculo de los valores máximos extremos de temperatura para cada uno de los periodos de retorno antes mencionados. La fórmula utilizada en la distribución de Gumbel se describe a continuación:

$$x = u - \frac{\ln(-lnf(x))}{d}$$

Donde:
X: Valores máximos
u y d: Parámetros establecidos de acuerdo con el tamaño de la población
F(x): Función de los periodos de retorno

$$F(x) = 1 - 1/T$$

T: Periodo de retorno
Para el cálculo de los parámetros u y d se aplican las siguientes fórmulas:

$$u = \sim x - (0.450047)(S)$$

$$d = \frac{1}{(0.779696)(S)}$$

Donde:
~x: Media Aritmética
S: Desviación estándar típica

Los valores 0.450047 y 0.779696 son válidos para un número de cincuenta datos, pero muchos autores los señalan como admisibles para cualquier tamaño de población, en virtud de la escasa relevancia que poseen.

La **tabla II.2.1.5** contiene las temperaturas máximas extremas de los periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años para el municipio y se representan en las **figuras II.2.1.8** a **II.2.1.11**, se puede notar cómo incrementa la temperatura conforme aumenta el periodo de retorno.

Tabla II.2.1.5 *Periodos de retorno de las temperaturas máximas extremas obtenidos mediante la distribución de Gumbel.*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	TR5	TR10	TR25	TR50
13012	Huichapan	Activa	33.9	35	36.4	37.5
13064	Chapantongo		32.08	33	35.16	36.44
13080	Presa Endhó		35.7	37	38.6	39.8
13081	Presa Golondrinas		38	40	42.6	44.5
13083	Presa Madero		33.5	34	35.2	35.8
13088	Tasquillo		36.2	38	39.3	40.6
13148	Xitha		36.6	38	40.2	41.6
13152	El Potrero		36.8	38	40.4	41.8
13156	Tlaxcalilla		32.5	32	35.2	36.3
15189	La Concepción		32.3	35	38.4	40.9
15192	Taxhie		35.3	35	39.3	40.9
22003	Cadereyta		34.21	36	37.66	39.1

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

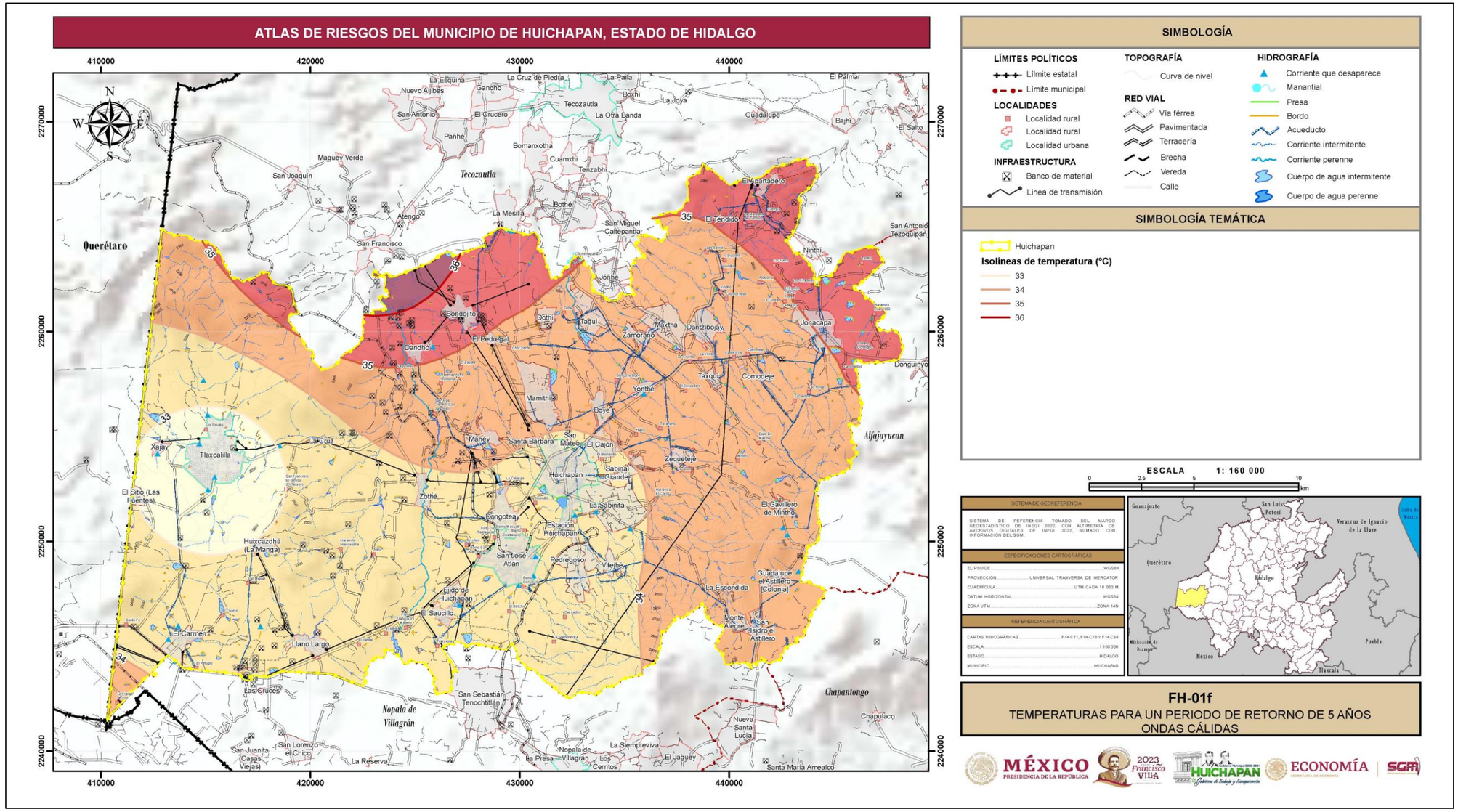


Figura II.2.1.8 Temperatura máxima para un periodo de retorno de 5 años

Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

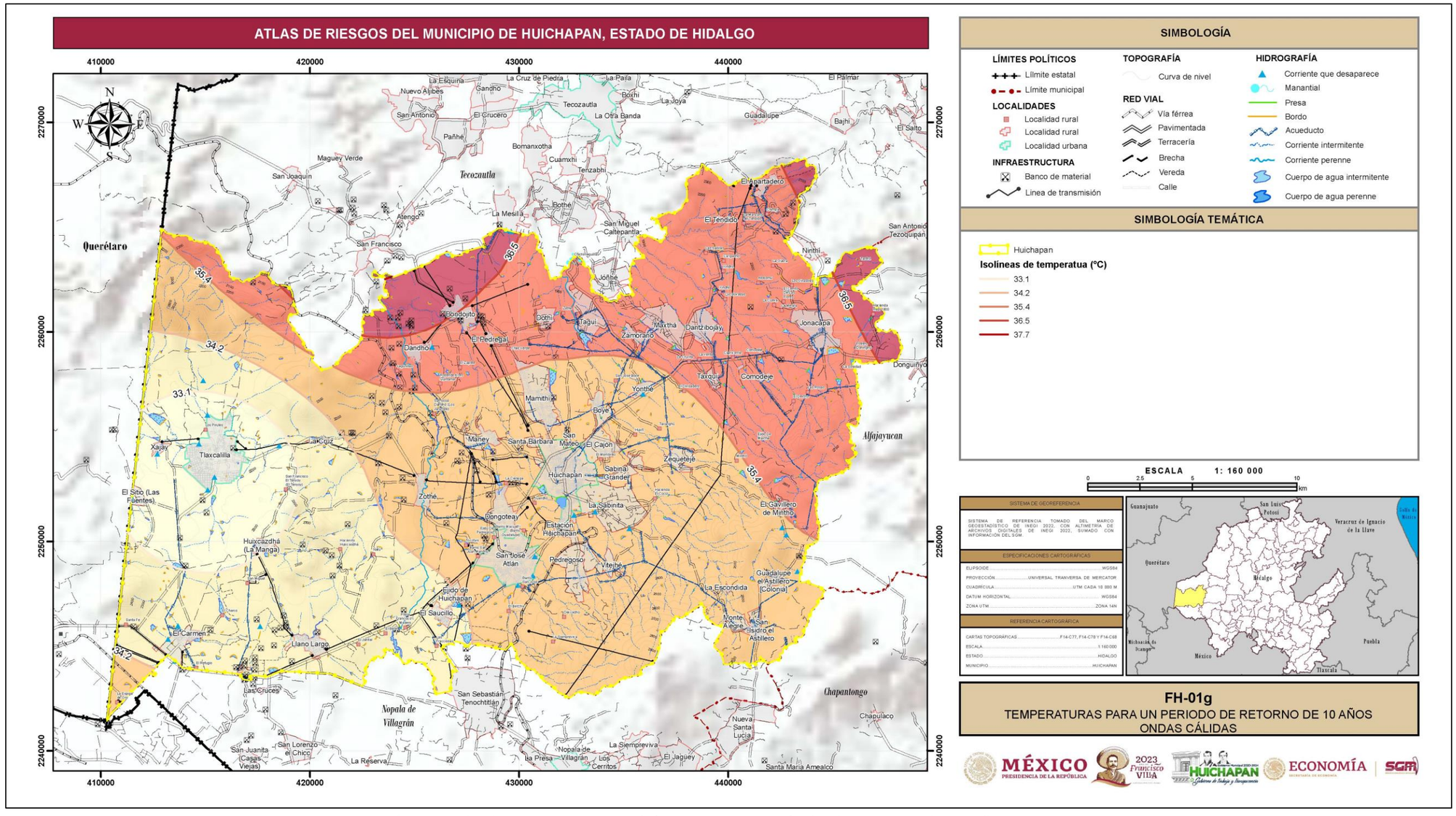


Figura II.2.1.9 Temperatura máxima para un periodo de retorno de 10 años.

Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

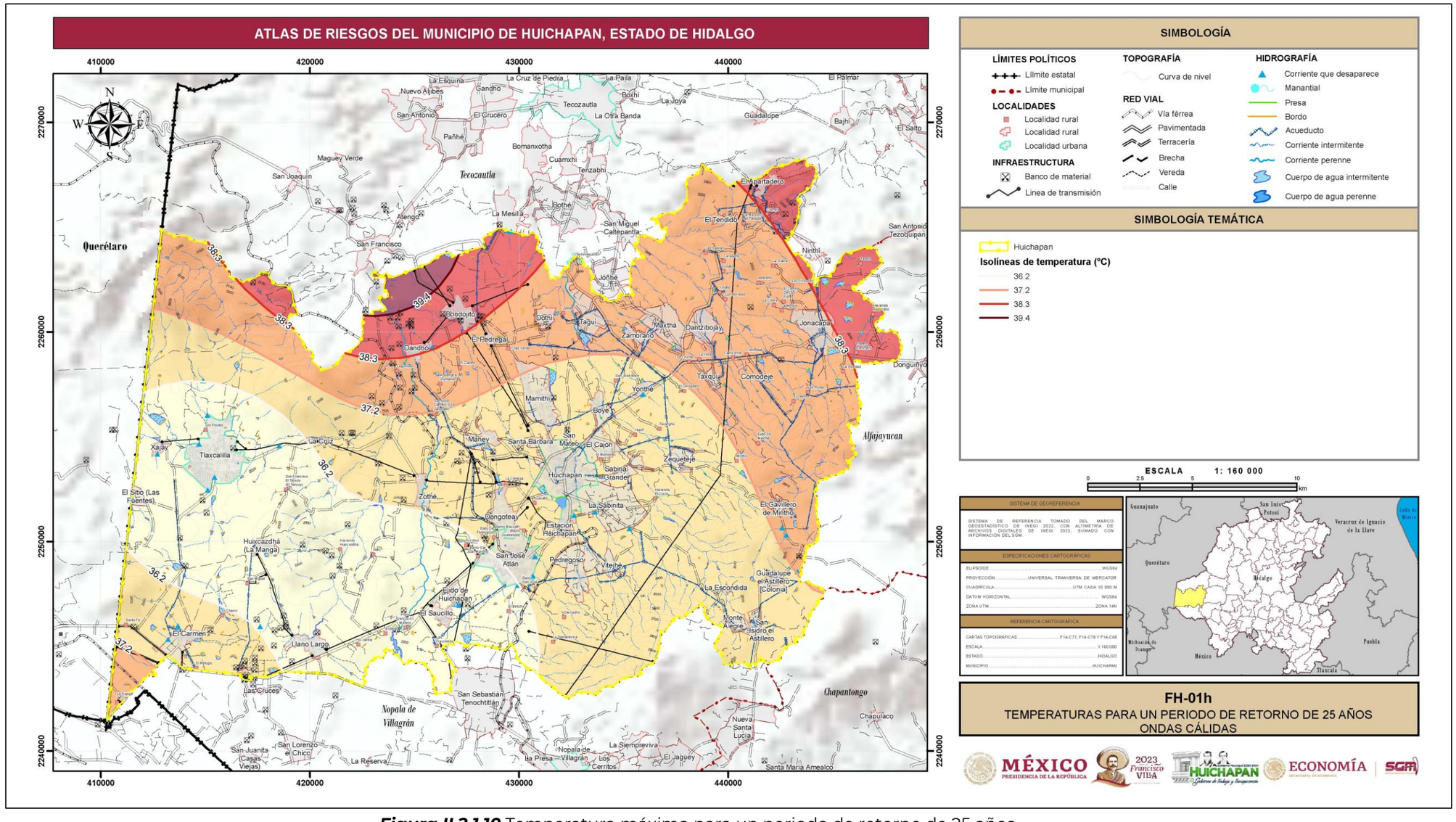


Figura II.2.1.10 Temperatura máxima para un periodo de retorno de 25 años.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

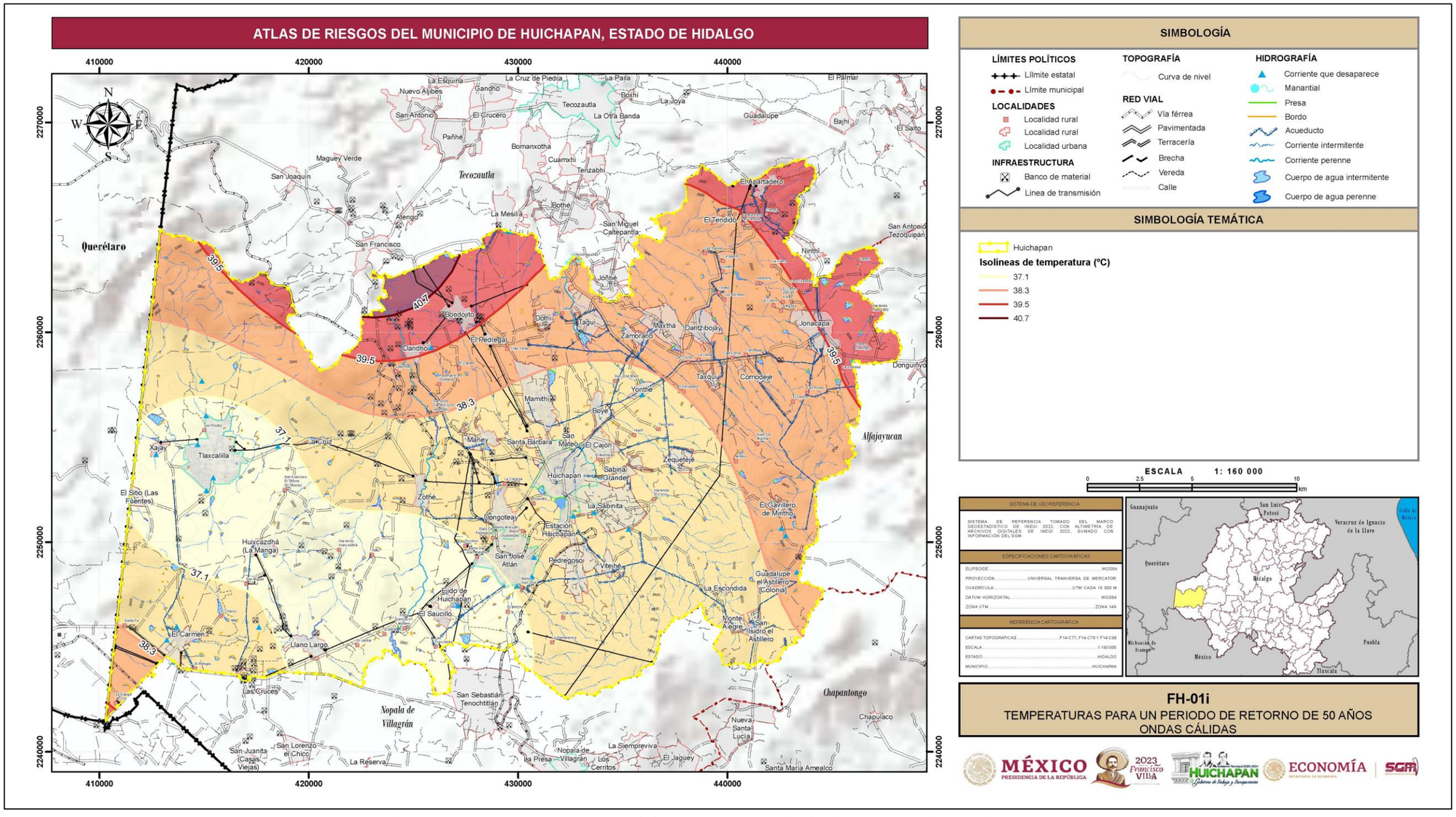


Figura II.2.1.11 Temperatura máxima para un periodo de retorno de 50 años.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

Periodos de retorno de temperaturas mínimas

Este cálculo se realizó mediante el método de Weibull, se obtuvieron los periodos de retorno para 5 y 10 años, este es un método que depende de la cantidad de información disponible, por lo que el análisis se limitó a calcular los periodos de retorno antes mencionados. La fórmula utilizada en el método de Weibull es la siguiente:

$$T = \frac{n+1}{m}$$

Se define el periodo de retorno (T) como el valor inverso a la probabilidad de excedencia de un determinado evento.

$$P = \frac{1}{T}\, x\, 100$$

Donde:
n= Número total de datos de una serie
m= Número de orden de la serie arreglada en forma creciente
P= Probabilidad de excedencia del fenómeno.

Para realizar los cálculos, se ordena la serie de datos del más extremo al menos extremo, donde el evento más extremo tiene un valor de *m=1*, el siguiente 2 y así sucesivamente. Posteriormente se calcula el periodo de retorno y la probabilidad de excedencia.

La **tabla II.2.1.6** contiene los datos de las temperaturas mínimas para los periodos de retorno de 5 y 10 años, el resultado de interpolar los valores se muestra en las **figuras II.2.1.12** y **II.2.1.13**. Se observa un incremento en las temperaturas mínimas a medida que aumenta el periodo de retorno.

Tabla II.2.1.6 *Periodos de retorno de las temperaturas mínimas obtenidos mediante el método de Weibull.*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	TR5	TR10
13012	Huichapan	Activa	0	-1
13064	Chapantongo		-5	-6
13080	Presa Endhó		-4	-5
13081	Presa Golondrinas		-5	-7
13083	Presa Madero		-5.5	-6
13088	Tasquillo		0	-2
13148	Xitha		-1.9	-3.1
13152	El Potrero		-5	-6
13156	Tlaxcalilla		-6	-7
15189	La Concepción		-7.5	-8
15192	Taxhie		-5	-7.2
22003	Cadereyta		-4	-6

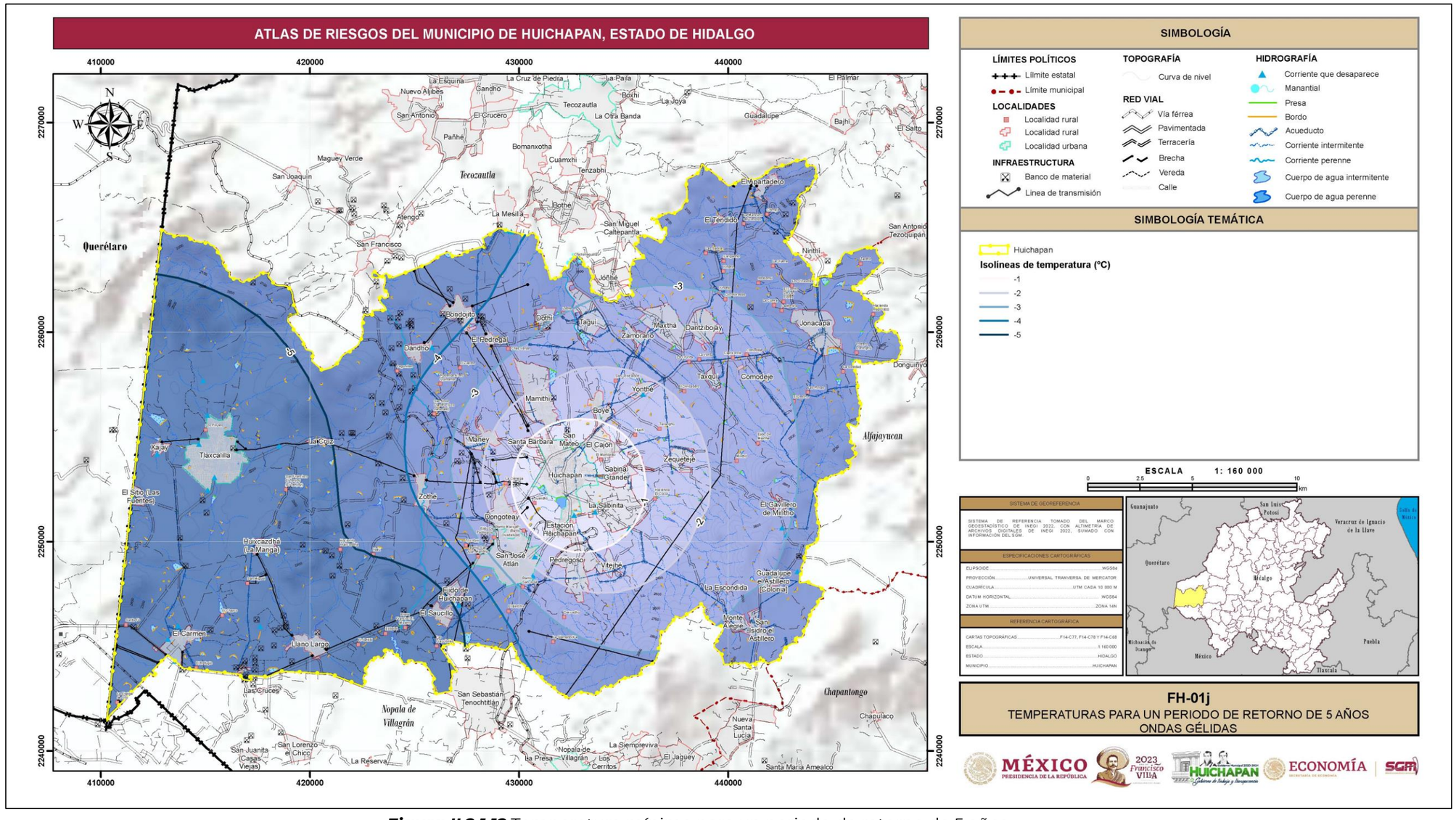
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

Conclusiones

Las temperaturas menores dentro de la zona se localizan en la porción oeste del municipio, donde se concentran las elevaciones con una altitud de 2200 a 2600 m s.n.m., donde la temperatura media anual es de 11.69 a 16.92° C, de acuerdo con el gradiente térmico de elevaciones. En lo que respecta a los periodos de retorno, se estima que la zona con más probabilidad de ondas gélidas se encontrará en la zona suroeste.

La temperatura media con valores altos, se ubica en el centro desde el sur incrementando hacia el norte del municipio, donde la altitud se encuentra entre los 1800 y 2000 m s.n.m., presentando una temperatura media anual de 16°C. De acuerdo al análisis de los periodos de retorno de las ondas cálidas, se estima que en los próximos años las zonas más susceptibles a este fenómeno se encuentran en el norte, noreste y noroeste del municipio

Los datos son consistentes mediante la aplicación de esta metodología, ya que las temperaturas menores corresponden con zonas de mayor altitud y las zonas de menor altitud con temperaturas mayores.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Isolíneas de temperatura (°C)
-1
-2
-3
-4
-5

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-01j
TEMPERATURAS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS
ONDAS GÉLIDAS

Figura II.2.1.12 Temperatura mínima para un periodo de retorno de 5 años.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

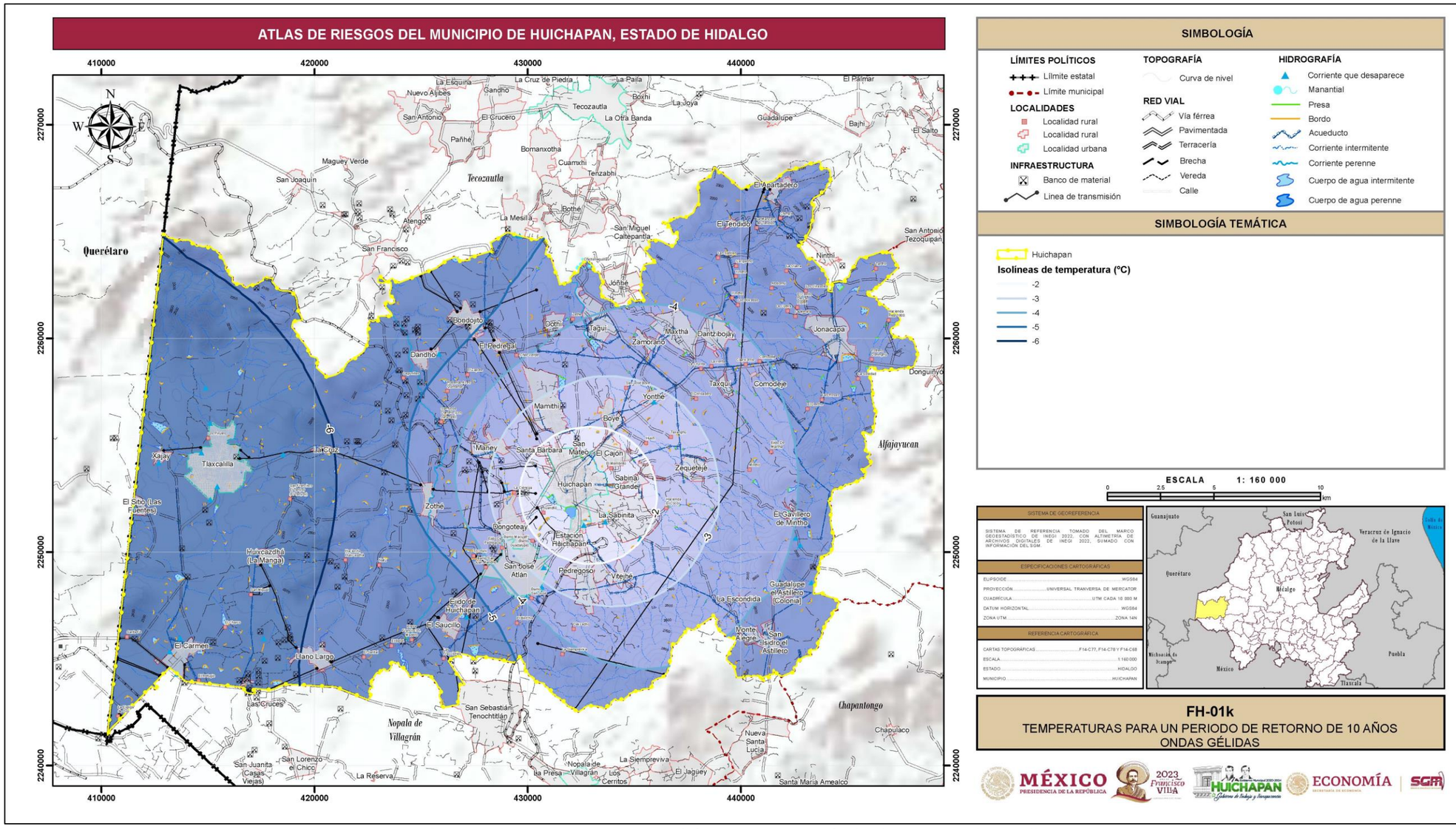


Figura II.2.1.13 Temperatura mínima para un periodo de retorno de 10 años.
Fuente: *Elaboración propia con información de la CONAGUA, 2023.*

II.2.2 Sequía

De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2005), la sequía se considera como una condición del clima que ocurre o puede ocurrir en todas las zonas climáticas, pero variando sus características significativamente de una región a otra. No existe una definición de sequía que sea aceptada universalmente, la definición depende del enfoque científico (meteorología, hidrología, geografía, etc.) o de la actividad económica afectada (agricultura, ganadería, industria, etc.) Debido a que la sequía es un fenómeno hidrometeorológico complicado de describir y que tiene diferentes facetas, es necesario adoptar algún punto de referencia que permita acotar el estudio de este fenómeno. Para tal efecto, y considerando que la falta de lluvia es el factor determinante para la ocurrencia de las sequías, se puede aceptar el siguiente concepto: La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación, en un lapso, es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia se extiende durante un periodo que es lo suficientemente grande y prolongada como para causar un grave desequilibrio hidrológico y ecológico, afectando las actividades humanas (CENAPRED, 2002).

En el caso de que disminuya la presencia de lluvias, la sequía tiende a agudizarse, cambiando de una sequía incipiente, a una moderada, severa, crítica y hasta catastrófica. Los factores climáticos como las altas temperaturas, los vientos fuertes y una baja humedad relativa están frecuentemente asociados con la sequía. Aun cuando el clima es el principal elemento de la sequía, otros factores como los cambios en el uso del suelo (la deforestación, agricultura, zonas urbanas), la quema de combustibles fósiles, las manchas solares y otras anomalías, afectan las características hidrológicas de cualquier cuenca. Debido a que las regiones están interconectadas por sistemas hidrológicos, el impacto de la sequía puede extenderse más allá de las fronteras del área con deficiente precipitación.

Las principales causas de las sequías están relacionadas con cambios en las presiones atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera (variaciones de los vientos a escala planetaria), así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos, e incrementos en las concentraciones de bióxido de carbono en la atmosfera, que a su vez ocasionan variaciones espacio-tiempo de las precipitaciones (PC Veracruz, 2020).

No se debe confundir la sequía con aridez, la primera es una anomalía temporal de la lluvia mientras que la segunda se restringe a regiones con baja precipitación y como rasgo permanente del clima (Romero, 2015). La sequía es un agente perjudicial caracterizado por falta de agua en el suelo y consecuente deshidratación en las plantas ya que estas pierden el vital líquido debido a la evapotranspiración, en algunos lugares, el sobrepastoreo y la deforestación pueden participar en el problema.

Conceptos básicos

Algunos organismos o instituciones tienen su propia definición para este fenómeno. La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992), en su Vocabulario Meteorológico Internacional, define a la sequía como: “Un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico”. Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas, en su documento de la Convención de Lucha Contra la Desertificación (ONU, 1992) define la sequía como: “fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras”.

De acuerdo a Crespo (2008), en las definiciones se observan algunos aspectos comunes y otros diferentes; un denominador común en ellas es la “escasez de precipitación”, con respecto a un comportamiento “normal” de la misma, considerando “comportamiento normal” a valores promedio de una serie de tiempo histórica. Las diferencias en el concepto de sequía estriban en la forma e intensidad de cómo impacta y sus efectos en diferentes ambientes naturales, lo que ha llevado a desarrollar otras definiciones más de sequía, algunas de ellas enfatizan la identificación de los límites de inicio y fin del fenómeno, su severidad y frecuencia; otras se enfocan más a la búsqueda y claridad del concepto sequía, a continuación, se escriben las más comunes.

- Meteorológica: está referida al grado de desviación de la precipitación en comparación a un comportamiento “normal”, de una serie de tiempo preestablecida. La magnitud de la desviación y del tiempo no son fijos y dependen de la forma como regionalmente evalúan el fenómeno. La sequía meteorológica es la primera indicadora del fenómeno de sequía.

- Agrícola: está muy relacionada con la sequía meteorológica y su impacto en los cultivos, considera el proceso en términos de balance de humedad, es decir

evalúa la evapotranspiración real, potencial, el déficit de agua en el suelo que a su vez depende de características físicas del mismo, los niveles de reserva de agua y considera la especificidad del cultivo en cuanto a sus requerimientos de humedad, en función de la etapa de crecimiento y la biología de la vegetación, este tipo de sequía puede presentarse posterior a la presencia de una sequía de tipo meteorológica (Crespo, óp. Cit)

- Hidrológica: Está referida a los efectos de periodos de precipitación relativamente cortos, es decir a los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo, su impacto se refleja en la recarga de acuíferos, lagos, presas y su impacto es de largo plazo, es decir, en tanto la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola de varios años, la producción hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo (Crespo, óp. cit).

- Socioeconómica: Se plantea en términos de suministro de agua y demanda por grupos humanos, por lo tanto, está muy relacionada con los efectos de corto y largo plazo de los otros tipos de sequía. La sequía ocurre cuando la demanda de agua de un grupo social, en un lugar determinado excede el suministro, es decir: es una combinación entre disminución de la precipitación y el crecimiento de las necesidades de la población o de las actividades productivas, de la eficiencia en el uso del agua y de la tecnología (Crespo, óp. cit).

Como se mencionó anteriormente el análisis de los efectos de la sequía se lleva a cabo a partir de diferentes puntos de vista: agrícola, hidrológica, meteorológica, biológica, ambiental, urbana o social. Cada enfoque proporciona una definición y una característica distinta.

En este nivel de información, la sequía se analizará desde el punto de vista meteorológico, que se define como función del déficit de precipitación, expresado en porcentaje con respecto a la pluviosidad media mensual o estacional de largo periodo y su duración en la región.

Antecedentes

México, por su localización geográfica, es sumamente vulnerable a la acción desastrosa de las sequías. Se tiene conocimiento que, desde las primeras civilizaciones prehispánicas, se padecía en sus diferentes manifestaciones (Castorena et al., 1980).

Aproximadamente el 40% de la República Mexicana sufre algún grado de sequía, siendo los estados del norte los más afectados, aunque desde fechas pasadas se ha intensificado en la zona central del país y afecta labores importantes en la conformación de la canasta básica alimentaria.

Recientemente, en un comunicado emitido por la CONAGUA (2019), señaló que durante el año de 2019 y los meses de enero y febrero de 2020, de los 84 municipios del estado de Hidalgo, 72 presentaron una condición de sequía, principalmente en las regiones norte, sur y poniente del estado.

Metodología

Para el desarrollo de este nivel de información se utilizó la metodología para determinar la Sequía Meteorológica de la Dra. María Engracia Hernández Cerda (2007), investigadora del Instituto de Geografía de la UNAM; adicionalmente se determinó la intensidad de la “sequía relativa o intraestival” definido por Pedro A. Mosiño y Enriqueta García (1968), tambien un análisis de los registros de sequía obtenidos del Monitor de Sequía México (MSM, 2023) y por ultimo un análisis complementario del Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI por sus siglas en inglés) propuesto por Vicente-Serrano (2010) (**Figura II.2.2.1**).

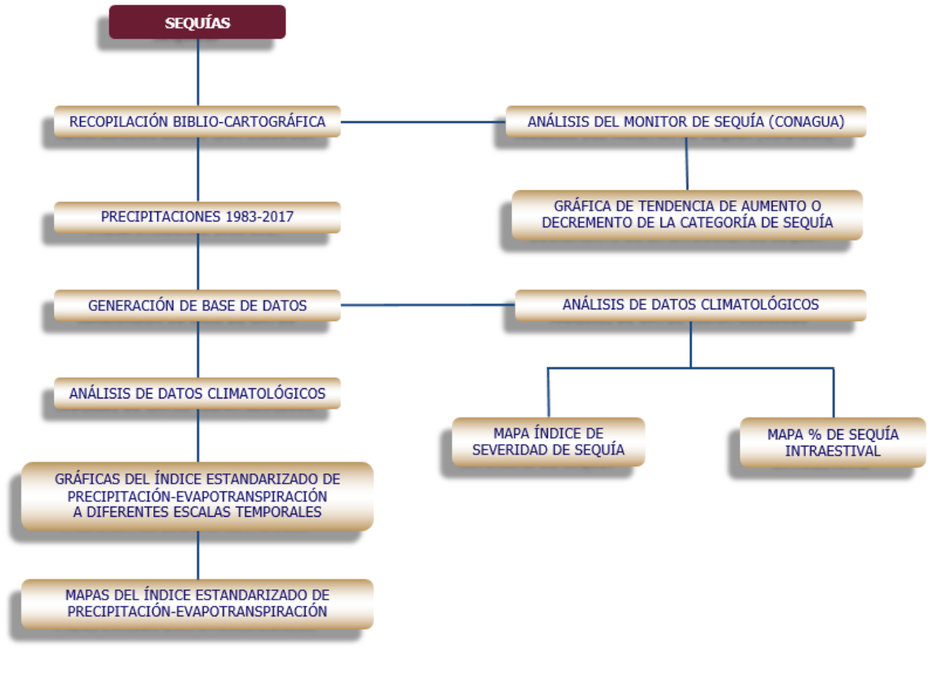


Figura II.2.2.1 *Metodología de trabajo para obtener el grado de susceptibilidad por sequía.*

Para el desarrollo del análisis se utilizaron datos de precipitación mensual registrada y su correspondiente media mensual de 6 estaciones climatológicas que abarcan todo el municipio de Huichapan, así como porciones de municipios circundantes (**Tabla II.2.2.1 y Figura II.2.2.2**), estas fueron tomadas de la base de datos del SMN y la CONAGUA (2023), en el periodo que comprende de 1983 al 2017.

Tabla II.2.2.1 *Estaciones climatológicas usadas para el análisis de sequía*

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTATUS	UBICACIÓN	MUNICIPIO	X	Y	Z
22003	Cadereyta	Activa	Querétaro	Cadereyta de Montes	415245.101	2289712.59	2,040
13064	Chapantongo		Hidalgo	Chapantongo	457075.425	2243471.7	2,122
13012	Huichapan			Huichapan	432363.801	2252493.12	2,125
13083	Presa Madero			Huichapan	424569.958	2245885.19	2,206
13088	Tasquillo			Tasquillo	468270.625	2272652.47	1,680
15192	Taxhie		Estado de México	Polotitlán	407115.406	2236695.72	2,260

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.

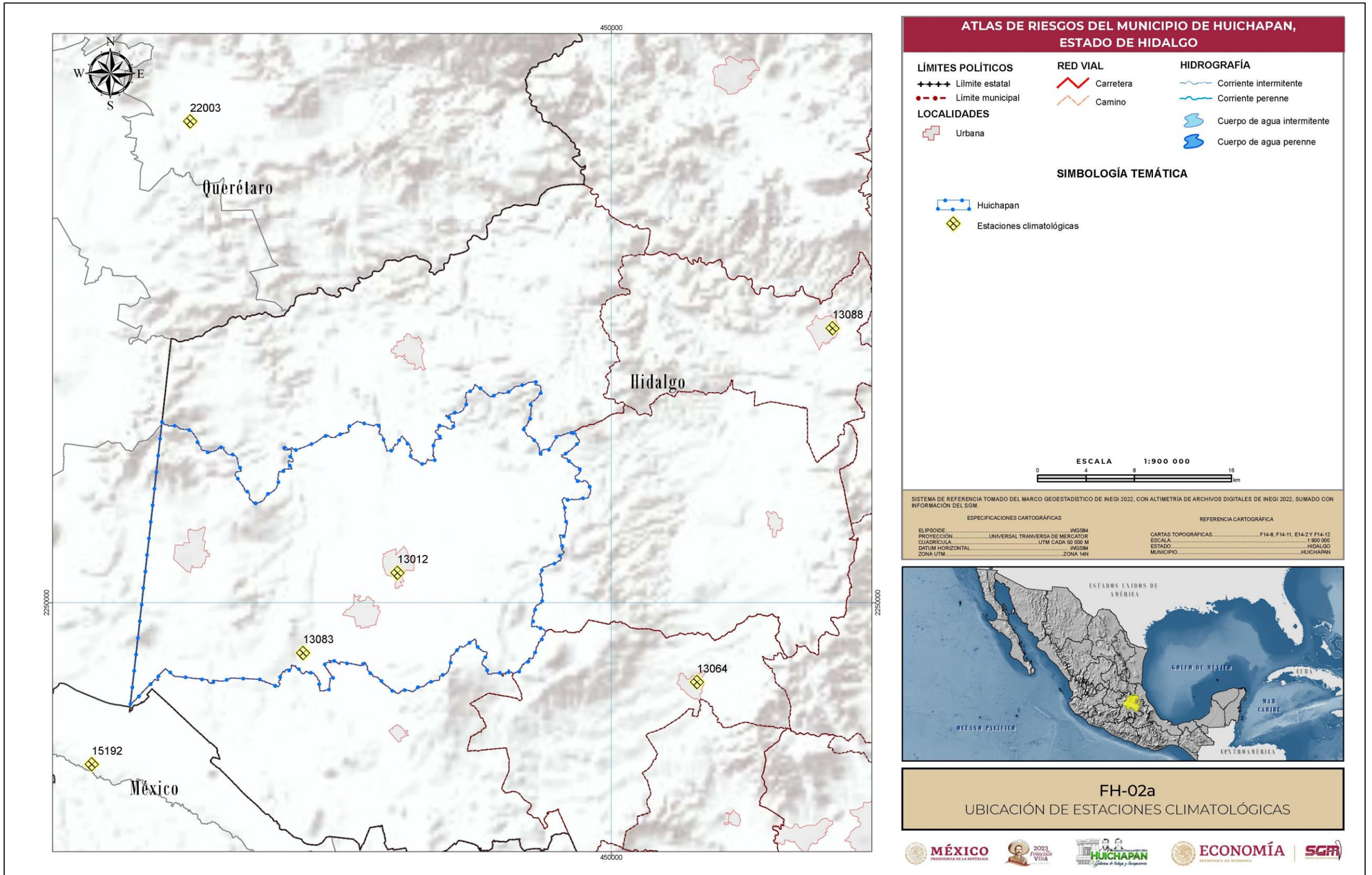


Figura II.2.2.2 *Ubicación de estaciones climatológicas utilizadas para el análisis de sequía para el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA.*

El período de años de observación de las estaciones es variable, por lo que se consideró el lapso de 1983-2017 para obtener un total de 34 años de registro de precipitación.

El cálculo del índice de severidad para cada año en el periodo estudiado se muestra en el siguiente ejemplo (**Tabla II.2.2.2**).

Índice de severidad (I.S.):

En la **tabla II.2.2.2**, "Y" representa la precipitación mensual registrada en el año que se esté analizando, en este ejemplo es 1983, mientras que "X" se refiere a la precipitación media mensual en todo el periodo de análisis (1983-2017).

Posteriormente se calcula el índice para ese año con la siguiente fórmula:

$$I.S = \frac{\sum \mathbf{Y} - \sum \mathbf{X}}{\sum \mathbf{X}}$$

Donde:

- **∑Y** = valor de la suma de datos del renglón "Y" menores a los valores del renglón "X".
- **∑X**= valor de la suma de datos del renglón "Y" mayores a los valores del renglón "X".

Tabla II.2.2.2 Ejemplo del cálculo de índice de severidad de la sequía en la estación 13012 Huichapan en el año 1983 sumatoria X y Y**.**

1983	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Y	0	0	3	0	0	0	0	64	0	0	12	0
X	34.5	12.0	0.0	0.0	81.0	164.0	146.0	0.0	164.4	48.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.

∑Y= 79 **∑X=** 649.9

$$I.S = \frac{79 - 649.9}{649.9}$$

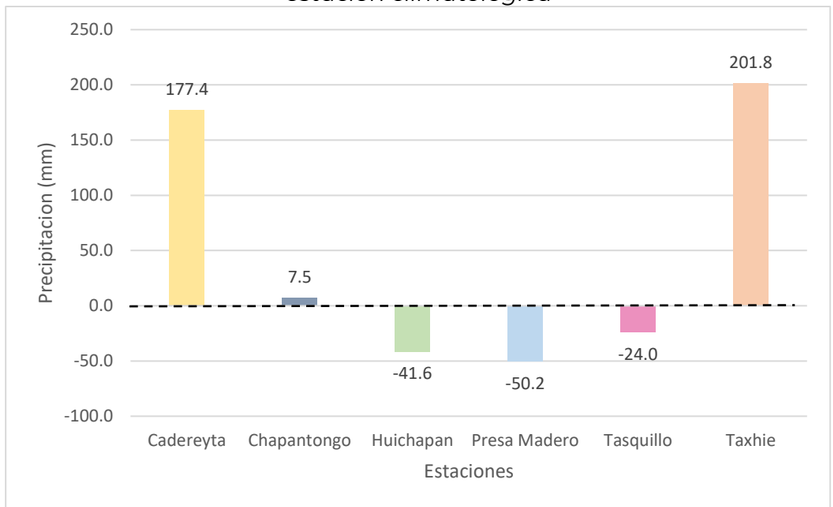
I.S. = -0.88

Por último, se obtiene el promedio de los índices de severidad del periodo analizado, tomando solamente valores absolutos. El proceso anterior se repitió para cada uno de los años y estaciones seleccionadas. Los valores promedios obtenidos del índice de severidad (valores absolutos) para cada una de las estaciones se utilizaron para la generación de los mapas, aplicando el método estadístico de interpolación denominado Ponderación de Distancia Inversa (IDW).

Análisis de la información

En la **Gráfica II.2.2.1** se determina la tendencia de aumento o decremento de precipitación en los 34 años cada una de las estaciones utilizadas para el análisis respecto a su normal, la cual está representada por la línea punteada.

Gráfica II.2.2.1 *Tendencia de aumento o decremento de la precipitación por estación climatológica*



Fuente: Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.

Se observa que en las estaciones Cadereyta, Taxhie y Chapantongo, se presenta un aumento en la cantidad de precipitación respecto a la normal, sin embargo, el incremento de la última estación, no es significativo, ya que el incremento está por debajo de los 7.5 mm por día.

De acuerdo con la gráfica las estaciones que presentan una tendencia de precipitación por debajo de la normal son las de Huichapan, Presa Madero y Tasquillo, siendo primeras dos las más evidentes, con -41.6 y -50.2 mm menos, lo que significa una disminución por día de 0.11 mm y 0.14 mm respectivamente.

En la **Tabla II.2.2.3** se presenta los promedios obtenidos del cálculo del índice de severidad de sequía para cada estación climatológica.

Tabla II.2.2.1 *Resultado del índice de severidad de sequía de las estaciones climatológicas.*

CLAVE	NOMBRE	I.S.
22003	Cadereyta	0.19
13064	Chapantongo	-0.41
13012	Huichapan	-0.45
13083	Presa Madero	0.76
13088	Tasquillo	-0.25
15192	Taxhie	-0.14
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 1983-2017.		

Posteriormente se interpolaron los valores y se categorizó el grado de la sequía en el municipio de Huichapan usando la clasificación de Sancho y Cervera (1980) (**Tabla II.2.2.4**).

En la **Figura II.2.2.3** se muestra que el índice de severidad de sequía en el municipio cuenta con valores en el rango de -0.5 0 a 0.1, lo cual significa que presenta un grado de sequía que se clasifica como ausente. Se pude observar que los valores más bajos se encuentran en la porción centro y sur de la zona, mientras que los más elevados están en los extremos poniente y oriente, en el límite del territorio

Tabla II.2.2.2 *Clasificación del grado de índice de severidad de la sequía*

GRADO DE I.S.	VALOR
Extremadamente severo	>0.80
Muy severo	0.60-0.80
Severo	0.50-0.60
Muy fuerte	0.40-0.50
Fuerte	0.35-0.40
Leve	0.20-0.35
Ausente	<0.20
Fuente: Elaboración propia con datos de Sancho y Cervera et al. 1980.	

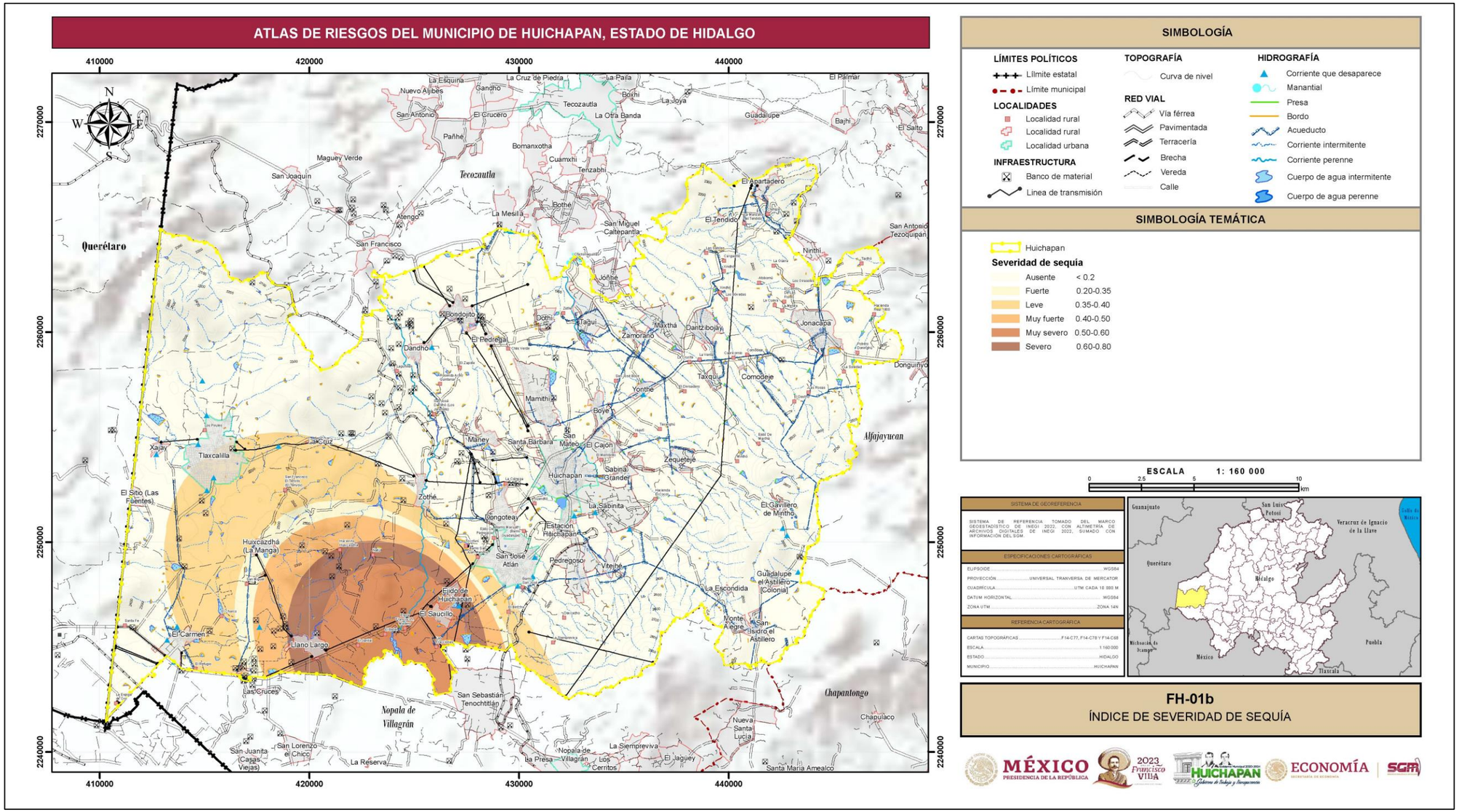


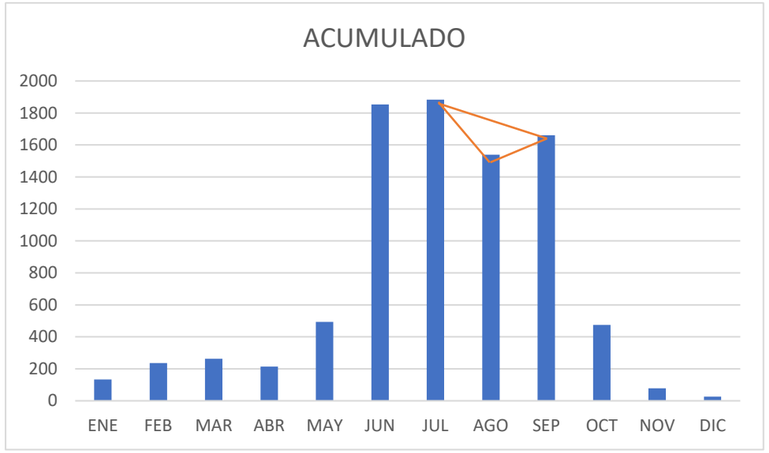
Figura II.2.2.3 *Índice de severidad de la sequía en el municipio de Huichapan*
Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983.*

Siguiendo con el análisis se determinó la canícula o mejor conocida en la meteorología como sequía relativa o intraestival, definido por Pedro A. Mosiño y Enriqueta García (1966). Este fenómeno consiste en una disminución de precipitación durante lo que se conoce como temporada de lluvias.

Para determinar la sequía intraestival, se utilizaron las estaciones de la tabla climatológicas seleccionadas para el análisis de Índice de severidad de sequía. Con esta información se realizaron las gráficas de precipitación mensual de cada estación, que sirvieron para calcular la intensidad, en porcentaje, de la sequía intraestival en el municipio de Huichapan.

En la **Gráfica II.2.2.2** se muestran los datos de la estación 22003– Cadereyta y posteriormente el ejemplo del cálculo de la intensidad de la sequía intraestival.

Gráfica II.2.2.2 *Precipitación media mensual en la estación 22003 – Cadereyta.*



Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

La intensidad de la sequía intraestival se obtiene mediante la fórmula:

$$\textbf{\textit{Sequía intraestival}}\ (\%) = \frac{\textbf{\textit{Área del polígono tomada de la gráfia de precipitación media mensual}}}{\textbf{\textit{Precipitación total de mayo a octubre}}} * \textbf{\textit{100}}$$

Para obtener el área del polígono se utiliza la fórmula:

$$\textbf{\textit{Área del polígono}} = \frac{1}{2}Y1 - Y2 + \frac{1}{2}Y3$$

Donde, para el caso de la estación – Cadereyta.

Y1= Precipitación media del mes de julio
Y2= Precipitación media del mes de agosto
Y3= Precipitación media del mes de septiembre

Para definir los meses que se usarán como *Y1, Y2*, y *Y3*, se toma como referencia el polígono formado por los puntos extremos de las alturas de la precipitación media mensual, indicado por los dos máximos de precipitación y la recta que une los puntos extremos de estos (E. García y P. Mosiño, 1966).

De esta manera, sustituyendo los valores con los datos de la estación 22003– Cadereyta, obtenemos:

$$\textbf{\textit{Área del polígono}} = \frac{1}{2}1883.2\ mm - 1539.1\ mm + \frac{1}{2}1661\ mm$$

$$\textbf{\textit{Área del polígono}} = 941.6\ \text{mm} - 1539.1\ mm + 830.3\ \text{mm}$$

$$\textbf{\textit{Área del polígono}} = 232.8\ mm$$

Posteriormente tenemos que:

$$\textbf{\textit{Sequía intraestival}}\ (\%) = \frac{232.8}{478.8\ mm} * 100$$

$$\textbf{\textit{Sequía intraestival}}\ (\%) = 48.62(\%)$$

Este proceso se repitió para cada una de las estaciones utilizadas en el análisis y se obtuvieron los valores de intensidad que se muestran en la **tabla II.2.2.5**.

Tabla II.2.2.5 *Valores obtenidos para la intensidad de la sequía intraestival en cada estación climatológica.*

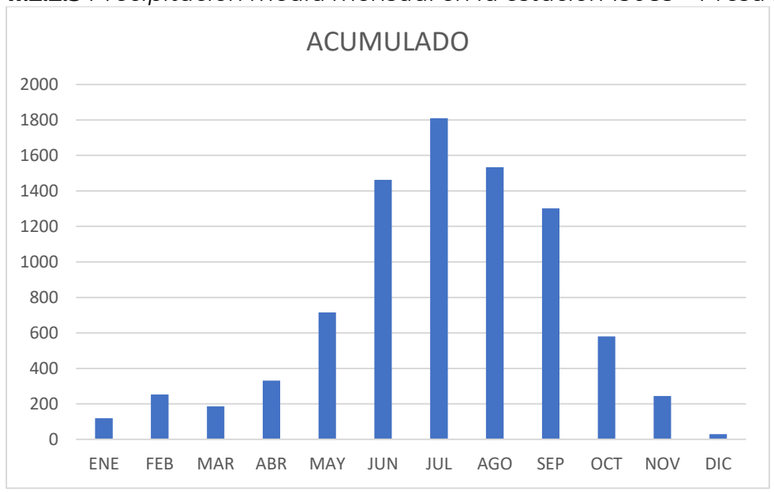
CLAVE	NOMBRE	INTENSIDAD
22003	Cadereyta	48.63%
13064	Chapantongo	76.05%
13012	Huichapan	0
13083	Presa Madero	5.26%
13088	Tasquillo	64.88%
Fuente: Elaboración propia con datos de SMN y la CONAGUA, 1983-2017		

De acuerdo al resultado, en el municipio de Huichapan la intensidad de la sequía intraestival presenta valores en el rango de 0.a 20% en la porción central y poniente clasificándose como débil y en la porción oriente se presenta rangos de 21 a 40% clasificándose con una intensidad baja y en una zona reducida al suroeste del 41 al 49.5% clasificándose como media (**Figura II.2.2.4**), según la clasificación de intensidad intraestival (**Tabla II.2.2.6**), este resultado se obtuvo excluyendo a las estaciones de Huichapan y Presa Madero debido a que estas no presentan canícula como se puede observar en las **gráficas II.2.2.3** y **II.2.2.4.**

Tabla II.2.2.6 *Clasificación de intensidad de sequía intraestival*

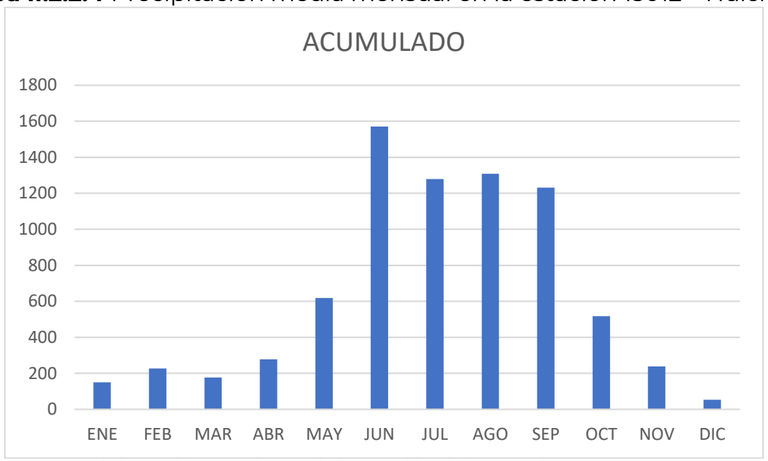
INTENSIDAD DE SEQUÍA INTRAESTIVAL	PORCENTAJE
Leve	0 a 20
Baja	21 a 40
Media	41 a 60
Severa	61 a 80
Muy severa	81 a 100
Fuente: Recuperado de Sánchez-Santillán, 2018, modificado por SGM, 2023.	

Gráfica II.2.2.3 *Precipitación media mensual en la estación 13083 – Presa Madero*



Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

Gráfica II.2.2.4 Precipitación media mensual en la estación 13012 – Huichapan.



Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

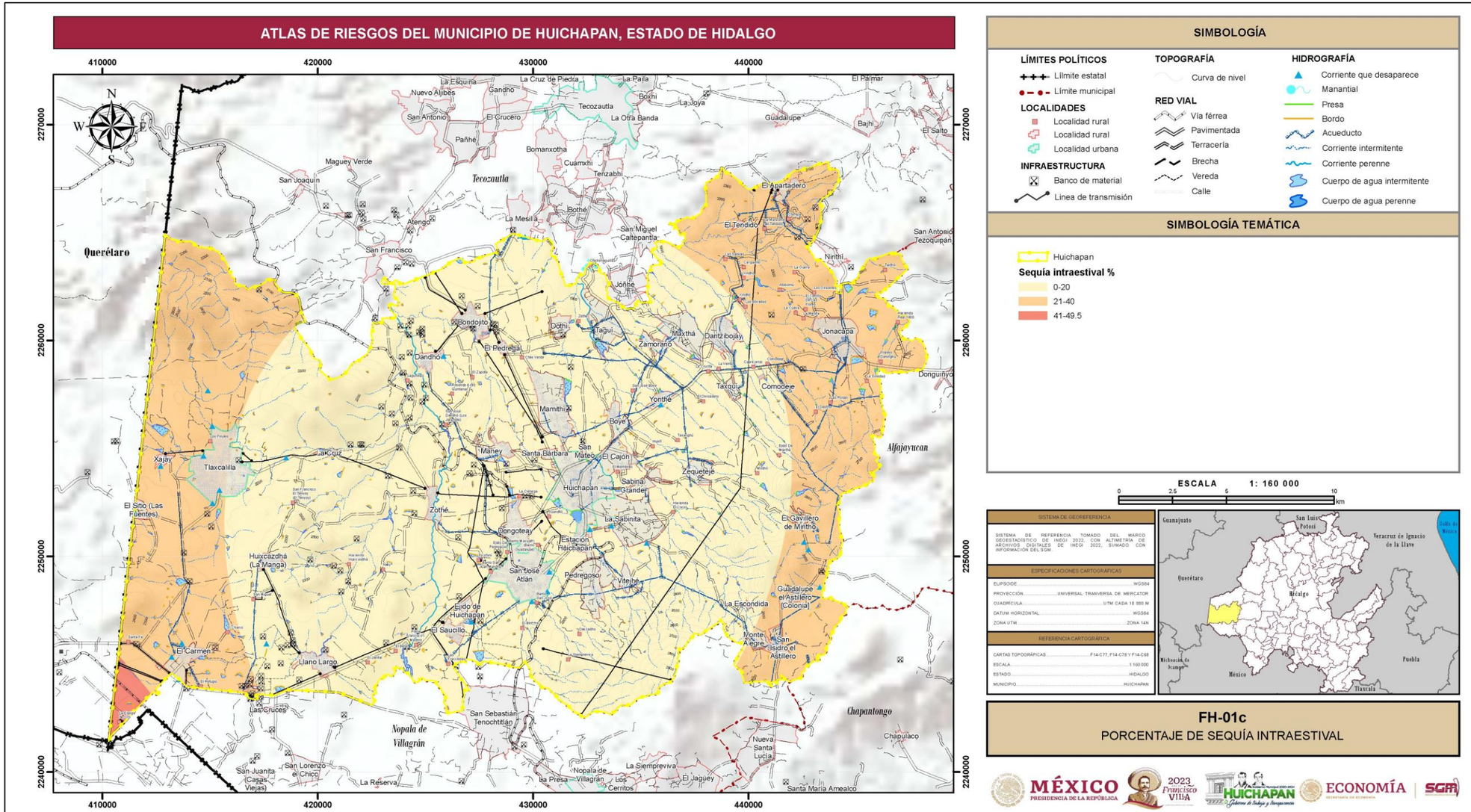


Figura II.2.2.4 *Porcentaje de intensidad de la sequía intraestival en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

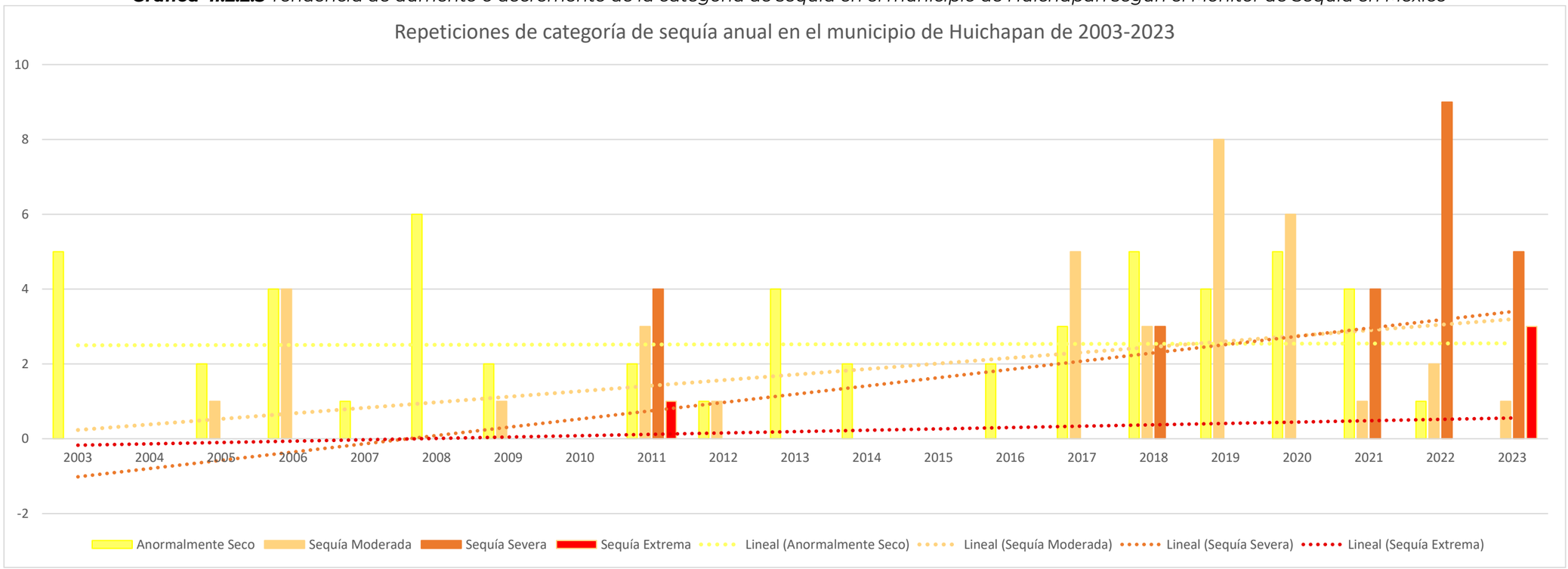
De acuerdo al Monitor de sequía en México (MSM) que forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte, categoriza la intensidad de este fenómeno a nivel nacional desde 2003.

La metodología que ocupa el MSM se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía como el Índice Estandarizado de Precipitación, (SPI) Anomalía de Lluvia en Porciento de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media (ATM), el Porcentaje de Disponibilidad de Agua (PDA) en las presas del país y la aportación de expertos locales. Al realizar un consenso y análisis de los indicadores anteriores, se clasifican por intensidades que varían de anormalmente seco, sequía moderada, sequía severa, sequía extrema, hasta sequía excepcional (MSM, 2023).

Se analizó la información de la sequía correspondiente al municipio en un periodo de 2003 a 30 de septiembre 2023, comparando la repetición de las categorías de sequía (Anormalmente seco, sequía moderada, sequía severa, sequía extrema) anual, la sequía excepcionalmente severa se exceptuó del análisis ya que no se ha presentado un registro de esta categoría (**Gráfica II.2.2.5**).

La categoría de sequía más baja, Anormalmente seca, ha mantenido una tendencia constante a lo largo del período analizado, sin embargo, se ha observado una disminución en 2022 y 2023, debido a un aumento en la ocurrencia de sequías de categorías superiores, como la tendencia de las categorías de sequía moderada y severa han aumentado en su frecuencia en los últimos siete años, y la sequía extrema ha sido más frecuente en el presente año. (**Gráfica II.2.2.5**).

Gráfica II.2.2.5 *Tendencia de aumento o decremento de la categoría de sequía en el municipio de Huichapan según el Monitor de Sequía en México*



Fuente: *Elaboración propia con información de MSM, 2003-2022.*

Se llevó a cabo un análisis adicional complementario para evaluar la sequía mediante el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI), propuesto por Vicente-Serrano en 2010 en la revista Journal of Climate. Este índice es altamente reconocido y respaldado por la Organización Meteorológica Mundial. A diferencia del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) previamente empleado por el monitor de sequía, el SPEI tiene una ventaja significativa al considerar el impacto de la evapotranspiración en la gravedad de la sequía. Esto lo distingue de otros índices de sequía ampliamente utilizados y lo hace particularmente efectivo en la evaluación de las condiciones de sequía.

El objetivo de este análisis complementario es conocer la evolución de las condiciones de sequía en el municipio.

La metodología empleada se fundamenta en el manual del propio autor, Vicente-Serrano en 2009. Donde se seleccionan las estaciones climatológicas previamente utilizadas en análisis anteriores de severidad de sequía y sequía intraestival. Específicamente, se obtienen los registros mensuales de precipitación y temperaturas medias para, posteriormente, ingresar estos datos al programa spei.exe a fin de generar el valor del SPEI correspondiente para cada estación. Posteriormente, se crearon las gráficas del SPEI para visualizar la evolución de las sequías en cada una de las estaciones.

Los índices de sequía SPI y SPEI se pueden generar en distintas escalas temporales como a 1, 3, 6, 12, 24 hasta 48 meses, sin embargo, para los fines del presente atlas se realizaron solo 2 series temporales a 3 y 12 meses. La clasificación y categoría del SPEI se pueden observar en la **tabla II.2.2.7** que al ser el SPEI una variante del SPI ocupan la misma clasificación.

Tabla II.2.2.7 *Categorías y clasificación del SPEI (Mckee, Doesken y Kleist, 1993)*

Valor del índice	Categoría
> 2.00	Extremadamente húmedo
1.5 a1.99	Muy o severamente húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal
-1.49 a -1.00	Moderadamente seco
-1.99 a -1.49	Muy o severamente seco
<-2.00	Extremadamente seco
Fuente: Castillo-Castillo, et al. 2017	

Un período de sequía se define como aquel en el que, en cualquier escala de tiempo, el SPEI mantiene un valor continuamente menor a -0.99, este período de sequía finaliza cuando el valor del SPEI se vuelve positivo, a modo de ejemplo, se realizó un cercamiento a la **gráfica II.2.2.8,** donde se marcaron 3 eventos de sequía (**Figura II.2.2.5**).

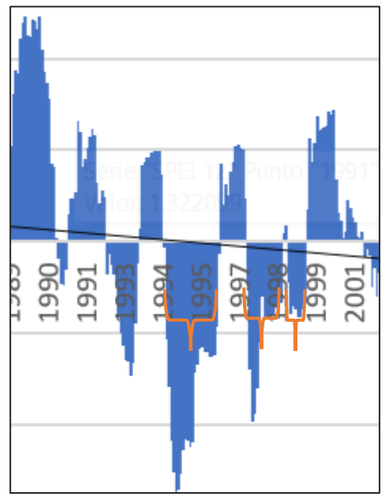
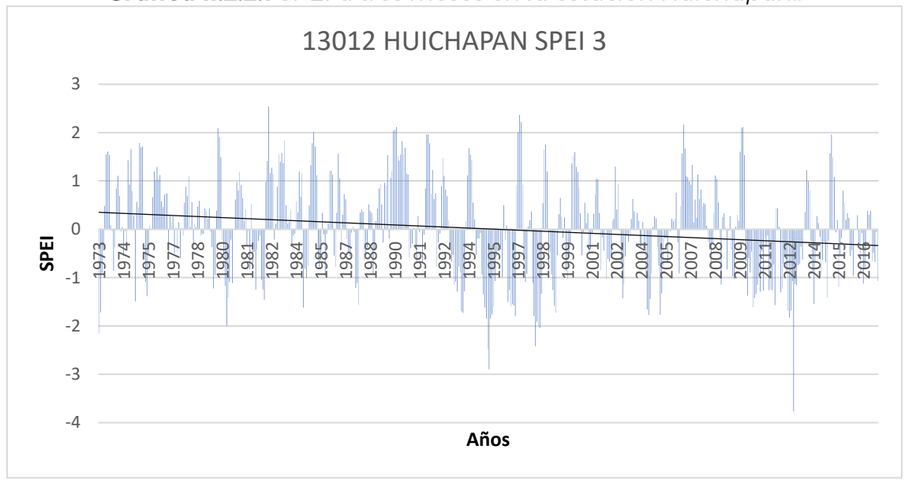


Figura II.2.2.5 *Duración de eventos de sequía*

El SPEI a tres meses los gráficos reflejan los periodos de humedad y sequía a corto plazo, mientras que el SPEI refleja las sequías más severas a largo plazo suavizando.

Gráfica II.2.2.1 *SPEI a tres meses en la estación Huichapan..*

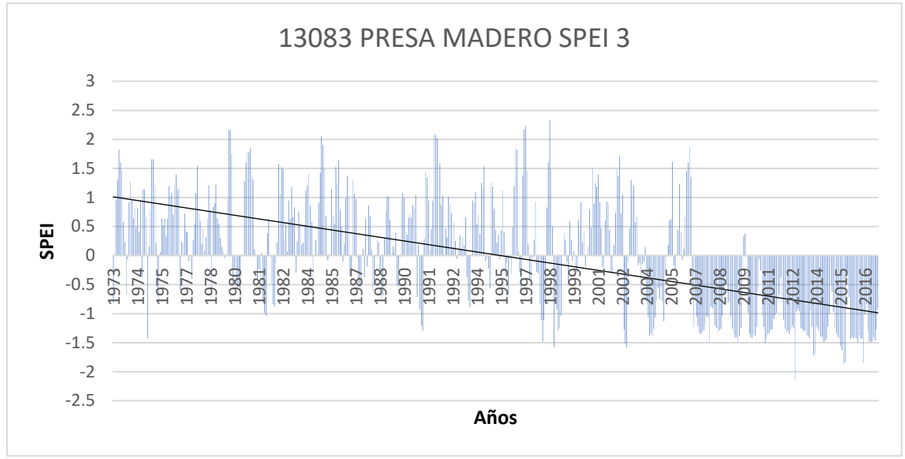


Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017*

En la **gráfica II.2.2.6** se observa que en la estación de Huichapan históricamente las sequías de categoría moderadamente seca son las que han tenido el mayor impacto en el municipio. Estas sequías suelen tener una duración promedio de aproximadamente 2.8 meses, y se han producido un total de 89 eventos de este tipo en un período de 34 años.

De estos 89 eventos, 53 han sido clasificados como sequías moderadamente secas, 28 como severamente secas y 8 como extremadamente secas de estos eventos en diciembre de 2012 se registró la sequía más extrema en el periodo analizado, con un índice de sequía de 3.77.

Gráfica II.2.2.2 *SPEI a tres meses en la estación Presa Madero.*

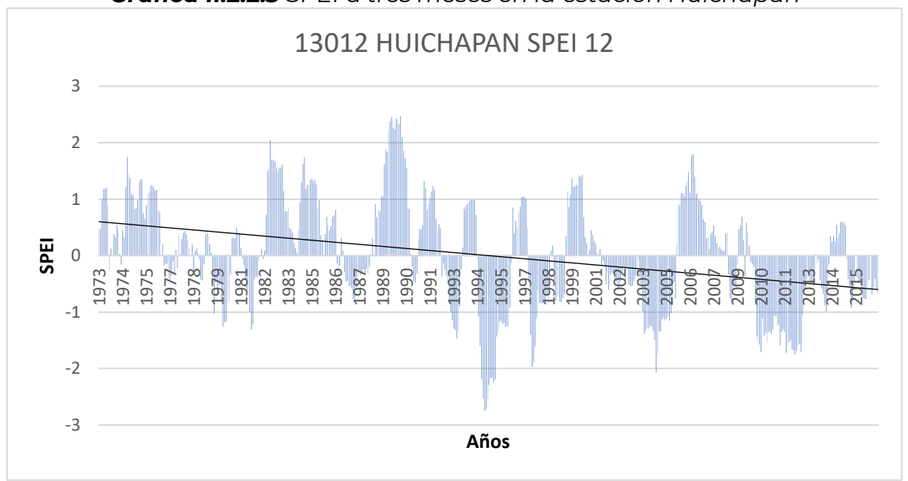


Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017*

En la **gráfica II.2.2.7**, se aprecia una tendencia marcada hacia un aumento considerable de las sequías moderadas y estas tienen una larga duración a partir del año 2007, antes de ese año la región solía experimentar períodos frecuentes de humedad moderada y muy húmeda.

En el período analizado de 1973 a 2017, se han registrado un total de 119 eventos de sequía, con una duración promedio de 5,4 meses. De estos eventos, 103 se clasifican como sequías moderadamente secas, 15 como severamente secas y uno como extremadamente seco, este último evento ocurrió en diciembre de 2012 y se considera el más extremo en el registro histórico de la estación.

Gráfica II.2.2.3 *SPEI a tres meses en la estación Huichapan*

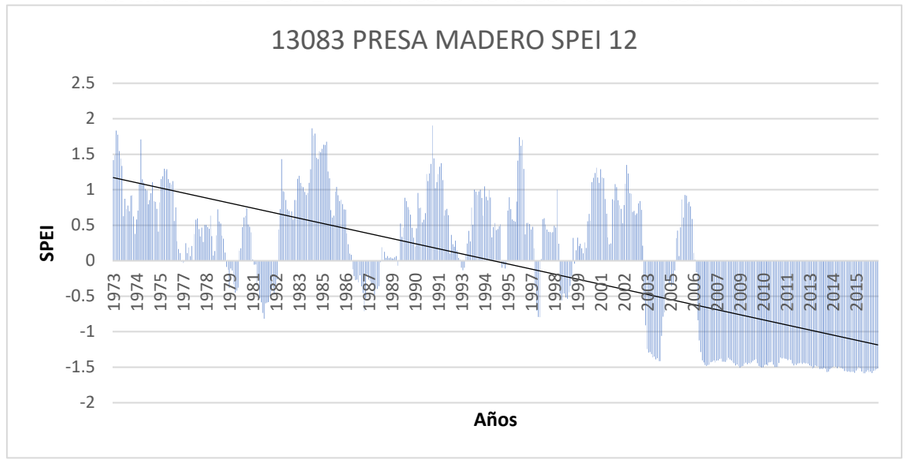


Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017*

El SPEI a 12 meses es usado para la detección de sequías de larga duración en un período determinado. Por ejemplo, la estación Huichapan en la **gráfica II.2.2.8**, se nota que las frecuencias de sequía son mucho más continuas en comparación con el SPEI de 3 meses. Esto se debe a que el SPEI a 12 meses resalta las sequías de mayor persistencia en el tiempo.

En la estación Huichapan, la línea de tendencia ha experimentado un aumento en los últimos años, indicando un incremento en las condiciones de sequía en esa zona. Se han registrado un total de 91 episodios de sequía, de los cuales 59 han sido clasificados como moderadamente secos, 21 como severamente secos y 11 como extremadamente secos en la estación Huichapan.

Gráfica II.2.2.4 *SPEI a 12 meses de la estación Presa Madero.*



Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017*

En la **gráfica II.2.2.9**, se observa que el SPEI a 12 meses presenta una frecuencia de 135 eventos con una duración promedio de 67.5 meses, este resultado se debe a un evento continuo de sequía que es evidente en la gráfica pues desde 2006, la estación ha experimentado condiciones de sequía moderada, y a partir de 2015, ha evolucionado a una clasificación de severamente seco.

De los 135 eventos registrados, 85 se han clasificado como moderadamente secos, mientras que 50 pertenecen a la categoría de severamente secos. Esta persistencia en las condiciones de sequía a lo largo de los años ilustra la gravedad de la situación y sus impactos en la región.

A partir de los datos anteriores se calculó el promedio del índice en cada estación para generar los mapas del SPEI a tres y 12 meses del municipio. Estos mapas proporcionan una representación espacial de las condiciones de sequía en diferentes escalas temporales y son importantes para el monitoreo y la gestión de la sequía en la región.

Como se puede apreciar en las **figuras II.2.2.6** y **II.2.2.7**, el promedio del SPEI a tres y 12 meses se encuentra en la categoría de moderadamente seco. No obstante, se realizó una clasificación al rango de esta categoría con el propósito de identificar las zonas donde esta sequía moderada podría tener un mayor impacto. Esto permite enfocarse en áreas específicas que presenten mayor afectación por la sequía, a pesar del promedio general en la categoría de moderada.

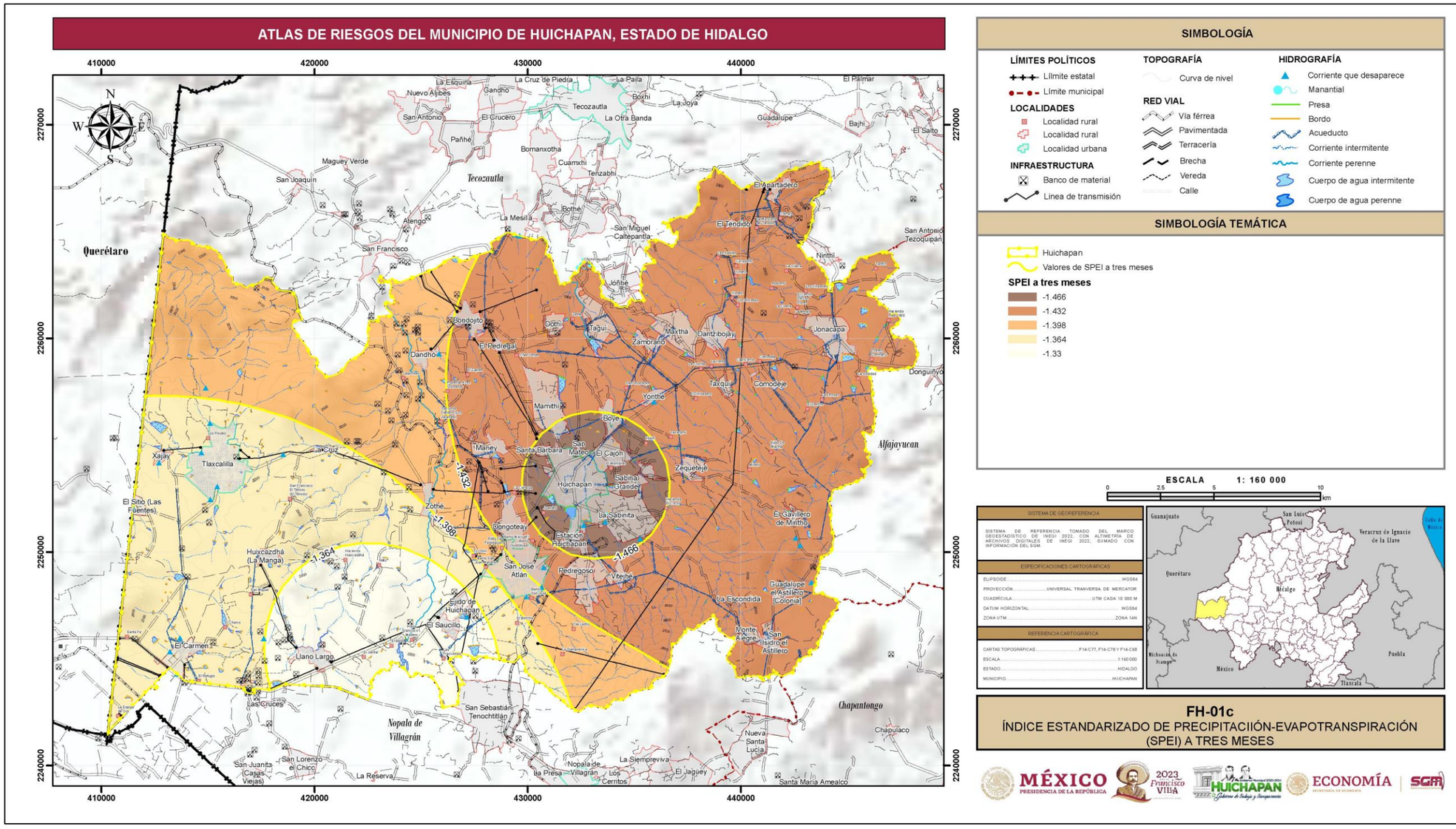


Figura II.2.2.6 *Índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración a tres meses en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

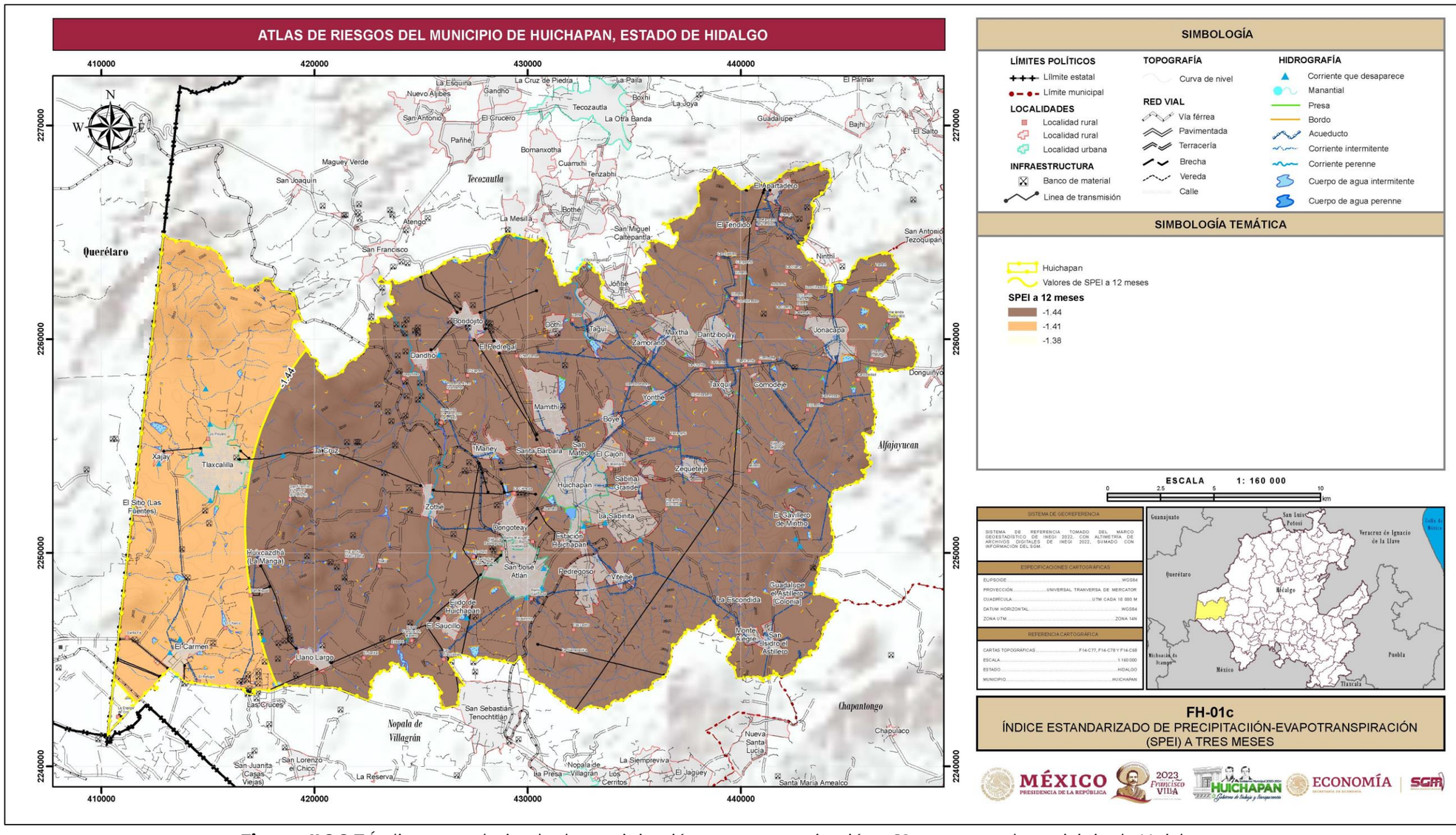


Figura II.2.2.7 *Índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración a 12 meses en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con información del SMN y la CONAGUA, 1983-2017.*

Conclusiones

Los diversos análisis de sequía efectuados indican un aumento del fenómeno para el municipio de Huichapan. Se observa una tendencia creciente hacia la sequía en las categorías moderada y severa debido a la disminución de la precipitación registrada en las estaciones climatológicas de la zona.

El índice de severidad de sequía indica un nivel significativo de sequía severa, particularmente en la zona Presa Madero.

Al analizar los índices estandarizados de sequía, como el SPEI y SPI (monitor de sequía), se confirma la tendencia al incremento de la sequía en la zona en los últimos 15 años, aunque predominan las condiciones de sequía moderada en ambos índices la categoría **severa** se presenta con mayor frecuecia, especialmente en la estación Presa Madero.

Estos resultados advierten la urgencia de implementar un monitoreo continuo y estrategias adaptativas para hacer frente a la sequía en la región.

La sequía intraestival, dentro de Huichapan presenta niveles que oscilan entre bajos y medios, especialmente en la región central. Este fenómeno se atribuye a la falta de un aumento sustancial en la precipitación en los meses de canícula según lo registrado por las estaciones de Huichapan y Presa Madero, resultando de los niveles constantes de humedad durante los meses de canícula en esta área.

II.2.3 Heladas

El fenómeno de la helada puede provocar daños a la salud, manifestándose en enfermedades respiratorias, quemaduras en la piel e hipotermia. Además, el frío también puede provocar congelamiento de algunas partes del cuerpo, tal como, pies y manos, disminución en la presión arterial, lo que incrementa el riesgo de infartos y enfermedades cardiovasculares. Las personas con mayor riesgo de sufrir algún padecimiento crónico son los adultos mayores y los infantes, ya que su organismo no es capaz de regular adecuadamente la temperatura corporal También puede afectar la agricultura y ganadería lo que conlleva a graves pérdidas económicas en las zonas rurales y urbanas. En la República Mexicana, las heladas ocurren principalmente durante los meses de noviembre a marzo, siendo diciembre y enero los de mayor impacto. La distribución de las heladas se manifiesta en dos grandes regiones, la primera está sobre las Sierras Tarahumara, de Durango y Tepehuanes, que comprende a los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas; la segunda se localiza en la parte centro del país que incluye los estados de Michoacán, Estado de México, Ciudad de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo (CENAPRED, 2021).

Para el presente Atlas de Riesgo este tipo de fenómeno se manejará como temperaturas mínimas siguiendo la metodología propuesta por el CENAPRED, ya que esta metodología contempla de manera general todos aquellos problemas productos de fenómenos por bajas temperaturas, tal es el caso de heladas y nevadas, estos se producirán siempre y cuando las condiciones de humedad y temperatura menor a los 0°C sean los aptos para cada uno de ellos.

Conceptos básicos

Las heladas generalmente se presentan en invierno (aunque también hay en primavera y otoño), y es un descenso repentino de la temperatura ambiente hasta el punto de congelación del agua (0°C), de tal forma que el agua de la superficie y a ras del suelo se congela debido a la sublimación del vapor de agua y se deposita en el mismo en forma de hielo. La helada se produce siempre en la madrugada o a la salida del sol, con cielo despejado y con una humedad relativa mayor al 45%, no hay nubosidad y el viento normalmente está en calma (Fernández, 2019).

Los cambios de la atmósfera que modifican a las condiciones del tiempo se les identifican como fenómenos meteorológicos; cuando abarcan extensas zonas del planeta se les nombra macrometeorológicos. Ejemplos de estos son el balance regional de la radiación y la circulación de los vientos, estos factores condicionan la época de ocurrencia y la extensión de las regiones donde se desarrollan las heladas

Los principales elementos del tiempo que influyen en la formación de las heladas son (CENAPRED, 2021):

Viento. - Cuando hay corrientes de aire, se mezcla el aire frío que se encuentra cercano al suelo, con el más caliente que está en niveles superiores, lo que hace más difícil el desarrollo de una helada. Por tanto, una de las condiciones que favorece la ocurrencia de heladas es la ausencia de viento.

Nubosidad. - Cuando el cielo está cubierto por nubes, éstas disminuyen la pérdida de calor del suelo por radiación hacia la atmósfera y devuelven parte de este calor de la Tierra (**Figura II.2.3.1**). Para que ello ocurra, la temperatura del aire en movimiento debe ser mayor a la del punto de rocío (la temperatura a la cual el aire no admite más humedad). Cuando sigue descendiendo la temperatura puede alcanzar los 0°C y el vapor de agua que contiene produce una capa delgada de hielo en la superficie de la Tierra, que se conoce como escarcha blanca. Si en la noche, el cielo está despejado, la pérdida de calor desde la superficie de la Tierra es continua. Así disminuye el calor de la tierra (**Figura II.2.3.2**) y con ello se favorece la ocurrencia de las heladas.

Figura II.2.3.1 *Las nubes reintegran calor a la tierra y disminuye la ocurrencia de heladas.*

Figura II.2.3.2 *Cuando el cielo está despejado aumenta la radiación de calor del suelo hacia el espacio y favorece la ocurrencia de heladas.*

Fuente*: Recuperado del CENAPRED, 2021.*

Humedad atmosférica. - Cuando la temperatura disminuye a los 0°C o menos, y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire se condensa; si la humedad es abundante, ésta produce una nevada y cuando tiene poco contenido de humedad, se forma la helada. Por ello una gran humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas.

Radiación solar. - Una cantidad de radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y otra es devuelta desde su superficie a la atmósfera (radiación reflejada). Durante el día, el suelo retiene el calor y durante la noche lo pierde; estos procesos dependen de la nubosidad y del viento que existan sobre ciertas regiones del planeta (**Figura II.2.3.3**).

Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas; por ello existe menor acumulación de calor en el suelo y ésta habrá de regresar a la atmósfera en mayor tiempo.

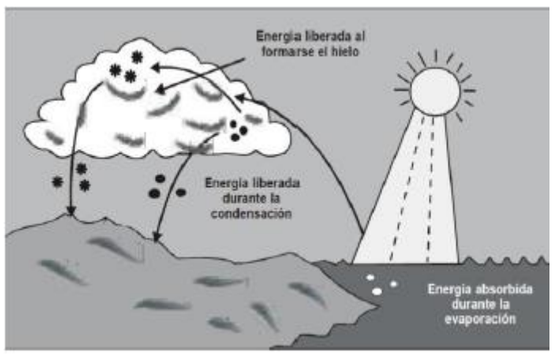


Figura II.2.3.3 *Elementos que integran la radiación Solar.*
Fuente*: Recuperado del CENAPRED, 2021*

Clasificación.

De acuerdo a su origen climatológico, las heladas se clasifican en los siguientes tipos:

- Heladas por Advección.- Se origina a partir de grandes masas de aire frío continental que llegan a partes más bajas como cañadas o valles. Esta se caracteriza por estar acompañadas por vientos moderados a fuertes y durante éstas no existe inversión térmica (CENAPRED, 2021).

- Heladas por Radiación. - Estas se presentan por la pérdida de calor del suelo durante la noche. Los lugares más propensos a la formación de heladas por radiación son los valles, cuencas y hondonadas próximas a las montañas, debido a la acumulación del aire frío que desciende durante la noche (CENAPRED, 2021).

- Heladas por Evaporación. - Se presenta cuando el agua, retenida en el follaje de las plantas se evapora con mucha rapidez, lo que origina que la temperatura de ésta descienda notablemente. La evaporación rápida de la escarcha o del rocío a la salida del sol puede ocasionar este tipo de helada (Pereyra et al., 2009).

- Heladas Mixtas. - Se genera cuando se presentan simultáneamente los fenómenos de advección y radiación, es decir, no hay inversión térmica y el suelo pierde calor por irradiación (Fernández, 2019).

Método de Trabajo.

El presente estudio se basa en las metodologías de Mapas de Índices de Riesgo a escala municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos (CENAPRED, 2012), en la cual se menciona como se obtiene los mapas de peligro y de riesgo por bajas temperaturas. Esta metodología ofrece un indicio para conocer los lugares más susceptibles a este fenómeno, a partir de la metodología del índice de peligro por bajas temperaturas (IPBT) (Jiménez et al., 2009), el cual se forma primordialmente con las características físicas del meteoro.

El IPBT utiliza los parámetros de días con heladas y temperaturas mínimas extremas, los cuales se obtienen a escala municipal. Esta metodología proporciona las herramientas necesarias para determinar el método de trabajo que se realizará en el presente Atlas, mismo que se describen en la **Figura II.2.3.4** para determinar el grado de peligro para las temperaturas bajas:

En la etapa de gabinete se determinó primeramente la metodología a seguir, esto en función a la información recopilada de los registros históricos de las estaciones meteorológicas proporcionados por diferentes dependencias como Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Dentro de la información, se analizaron los datos de las estaciones climatológicas normales proporcionadas por la CONAGUA. Las cuales cuentan con mayor cantidad de estaciones y distribuidas en el estado de Hidalgo, además de contar con información de más de 30 años de registro histórico, parámetro que recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para desarrollar este tipo de trabajos.

Figura II.2.3.4 *Método de trabajo temperaturas extremas.*
Fuente: *Modificado de SGM 2016.*

La variable que se analizará y se tomará en cuenta para el presente trabajo es la de temperaturas mínimas. Para la CONAGUA una helada se genera a partir de una temperatura igual o menor a los 3°C, por lo cual, toda la temperatura mínima a este valor encontrada en cada estación, se tomará en cuenta para determinar el índice de peligro por bajas temperaturas (IPBT), para posteriormente reclasificarlo y obtener el mapa de peligro por bajas temperaturas (PBT).

Análisis de Información e interpretación de datos.

De manera inicial se cuantificó el número de temperaturas mínimas registradas por mes de cada estación a lo largo de un periodo de 31 años (1986 al 2016), dicha temperatura deberá ser igual o menor a los 3° centígrados. Una vez obtenida esta información se realizó la sumatoria de las heladas registradas y se dividieron entre el total de los años del periodo analizado, para determinar el promedio de heladas de cada estación. (**Tabla II.2.3.1 y Figura II.2.3.5**)

Tabla II.2.3.1 *Registro de heladas en las 7 estaciones climatológicas que circundan el municipio de Huichapan*

Estación	Nombre	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Días con Heladas	Promedio Días con Heladas
13012	Huichapan	589	329	162	21	4	0	2	2	24	115	302	522	2072	67
13064	Chapantongo	286	180	114	14	6	2	0	0	1	53	121	244	1021	33
13083	Presa Madero	537	273	158	14	3	0	0	0	8	106	236	427	1762	57
13148	Xitha	252	149	77	5	2	1	17	2	8	59	109	197	878	28
13156	Tlaxcalilla	550	419	343	130	55	26	8	23	28	283	350	584	2799	90
15192	Taxhie	407	167	106	9	27	1	1	3	14	99	201	443	1478	48
22003	Cadereyta	313	161	89	37	23	9	13	25	13	52	98	178	1011	33
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.															

Con el dato obtenido del promedio de días con heladas, se reclasifican según los rangos establecidos por el CENAPRED (2012) señalados en la **Tabla II.2.3.2**

Tabla II.2.3.2 *Categorización de intervalos de acuerdo a la presencia de días con heladas.*

NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS	VALOR	IHEL	CATEGORÍA
> 120	3	0.5	Alta
61 - 120	2	0.375	Media
1 - 60	1	0.25	Baja
Cero	0	0.125	Muy Baja o Nula
Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2012.			

Para el caso de las temperaturas mínimas extremas, se partió de la información analizada y obteniendo el dato de la temperatura mínima máxima registrada en los datos históricos de cada una de las estaciones (**Tabla II.2.3.3**). Determinando que hacia la parte poniente del municipio se han registrado las temperaturas mínimas máximas, siendo la estación Tlaxcalilla, donde se llegó a registrar una temperatura de -10° grados centígrados (**Figura II.2.3.6**).

Tabla II.2.3.3 *Registro de temperaturas mínimas de las estaciones climatológicas que circundan el municipio de Huichapan.*

Estación	Nombre	Tmin Máxima	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tmin Promedio
13012	Huichapan	-5	-5	0	0	1	2	5	0.7	3	1	0	-4	-4	-0.03
13064	Chapantongo	-8	-8	-3	-7	0	0	3	5	5	0	-4	-6	-6	-1.75
13083	Presa Madero	-6	-6	-4	-3.5	1.5	1	5	6	5	1	-3	-5	-6	-0.67
13148	Xitha	-10	-6	-4	-2	2	2	2	1	1	1	0	-10	0	-1.08
13156	Tlaxcalilla	-10	-7	-8	-7	-5	-3	1	2	2	-2	-6	-10	-7	-4.17
15192	Taxhie	-11	-9.1	-6.2	-6	2	0	0	1	1	0	-3	-2.5	-11	-2.82
22003	Cadereyta	-8	-8	-7	-2	1	1	1	2	1	-1.3	-0.2	-1	-4	-1.46

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

Los valores obtenidos se reclasificarán según los rangos establecidos por el CENAPRED (2012) señalados en la **Tabla II.2.3.4**.

Tabla II.2.3.4 *Rangos y valores reclasificados para determinar el índice de temperatura mínima extrema.*

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA °C	VALOR	ÍNDICE	CATEGORÍA
> 12	1	0.1	Muy Bajo
6 a 12			
0 a 6	2	0.2	Bajo
0 a -6	3	0.3	Medio
-6 a -12			
-12 a -18	4	0.4	Alto
-18 a -24			
< -24	5	0.5	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2012.

Finalmente, para calcular el índice de peligro por bajas temperaturas, se procedió a estimar sólo la evaluación del fenómeno natural, con base en toda la información compilada, quedando de la siguiente manera:

$$\mathbf{IPBT} = \mathbf{I_{tmext}}(\mathbf{0.5}) + \mathbf{I_{hel}}(\mathbf{0.5})$$

Dónde:

IPBT es el índice de peligro por bajas temperaturas
$\mathbf{I_{hel}}$ es el índice de días con heladas
$\mathbf{I_{tmext}}$ corresponde al índice de temperaturas mínimas extremas

Los valores obtenidos se reclasifican de acuerdo a los intervalos señalados en la **Tabla II.2.3.5** la cual establece cinco categorías, las cuales servirán para determinar las áreas de posible afectación dentro del municipio de Huichapan.

Tabla II.2.3.5 *Reclasificación de intervalos para el índice de peligros por bajas temperaturas.*

ÍNDICES DEL FRÍO	VALOR	INTERVALOS
Muy bajo	1	0.10 - 0.30
Bajo	2	0.31 - 0.53
Medio	3	0.54 - 0.70
Alto	4	0.71 - 0.80
Muy alto	5	0.81 - 1.00

Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2012.

Para determinar la distribución de los valores obtenidos en la tabla anterior, se procede a elaborar la **Figura II.2.3.7**, el cual representa el Índice de Peligro por Bajas Temperaturas.

Comparando la información obtenida del análisis de las estaciones climatológicas con la generada por el CENAPRED en el Atlas Nacional de Riesgos (ANR, 2023) a nivel estatal (**Figura II.2.3.8**), se observa gran similitud entre ambos, resultando un índice de peligro por bajas temperaturas de muy bajo a bajo para el municipio de Huichapan, sin embargo, esto no exime a que la región se presenten bajas temperaturas.

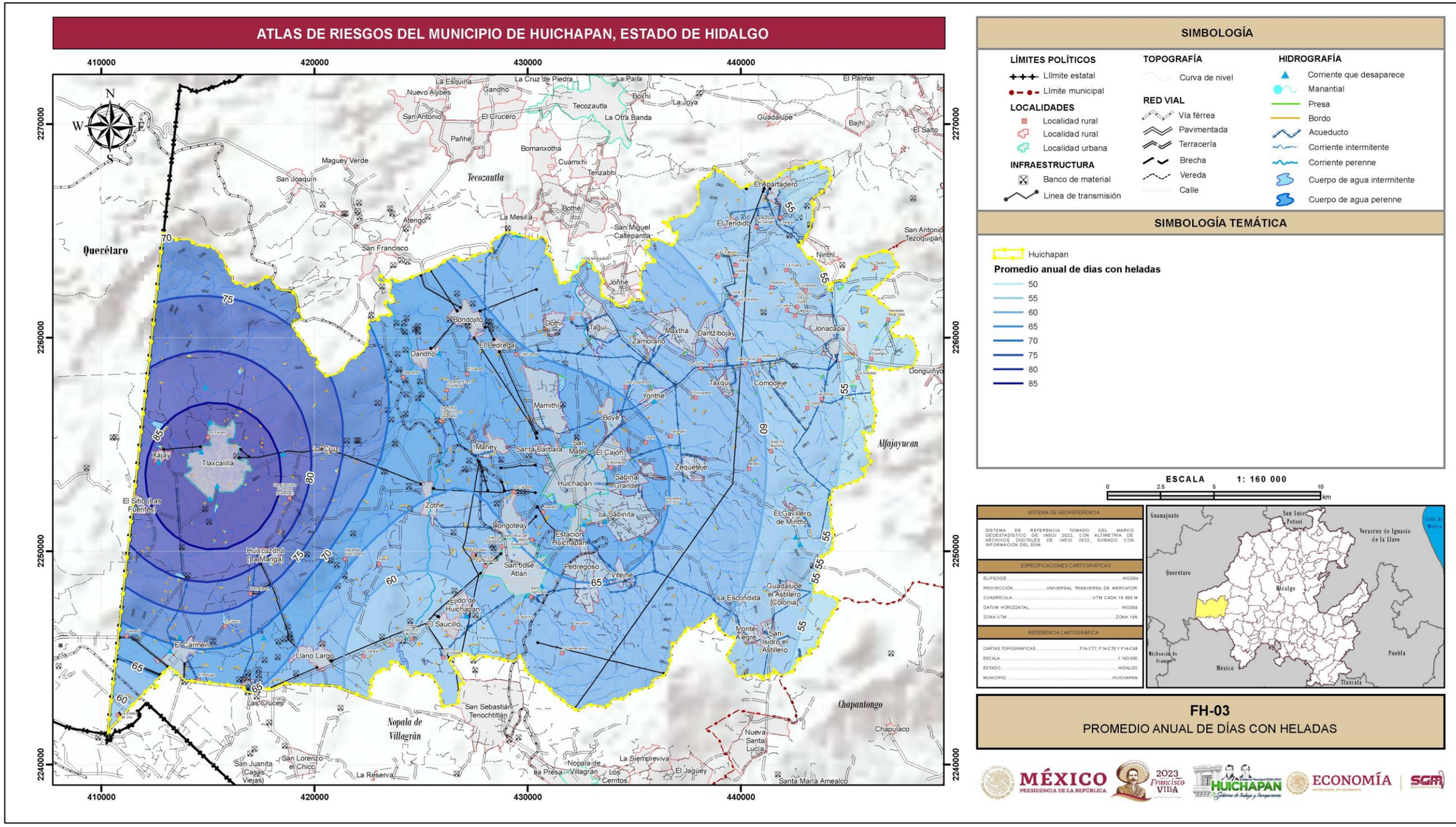


Figura II.2.3.5 *Promedio anual de días con heladas en el municipio de Huichapan*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

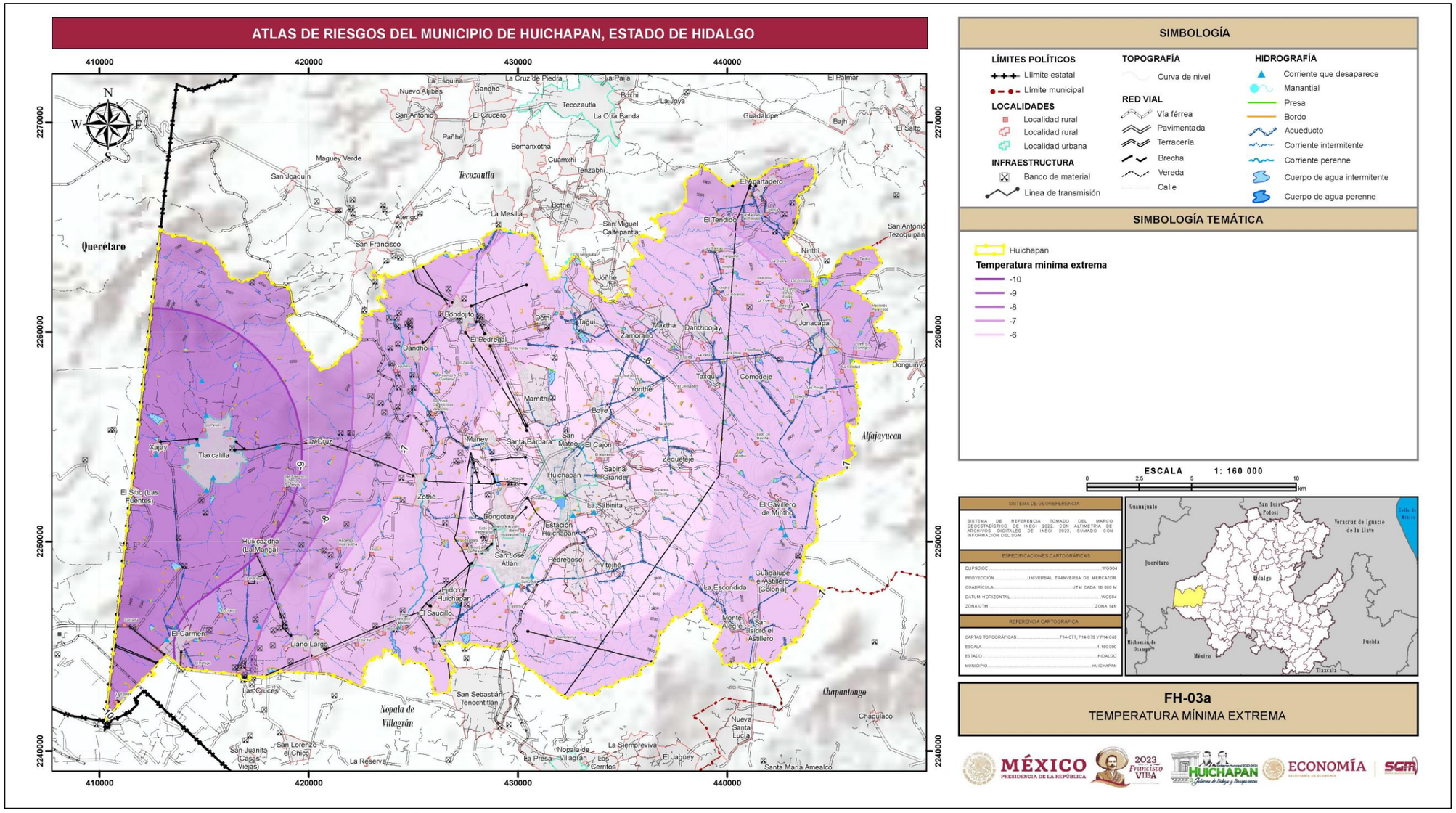
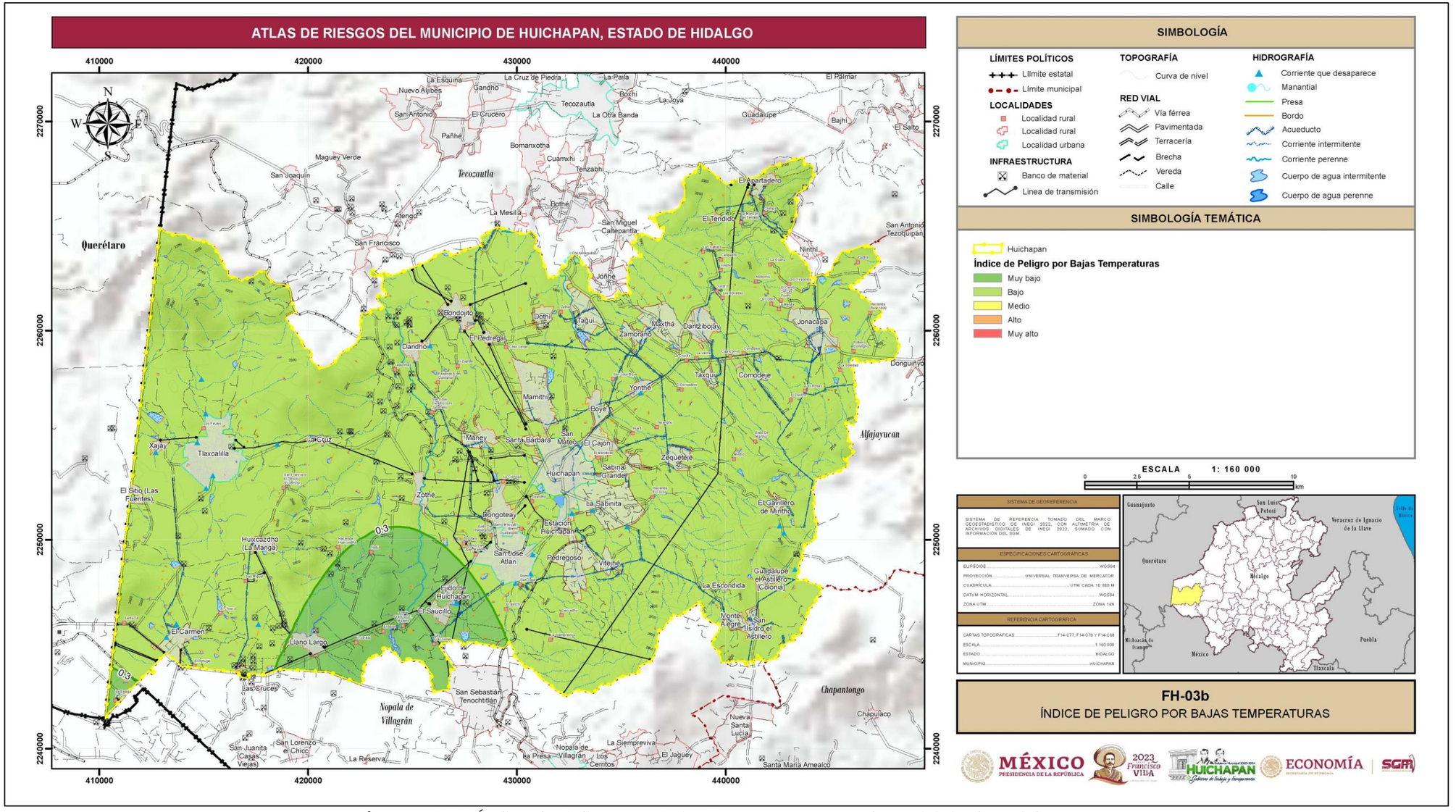


Figura II.2.3.6 *Temperatura mínima extrema en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



FH-03b
ÍNDICE DE PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS

Figura II.2.3.7 *Índice de Peligro por Bajas Temperaturas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

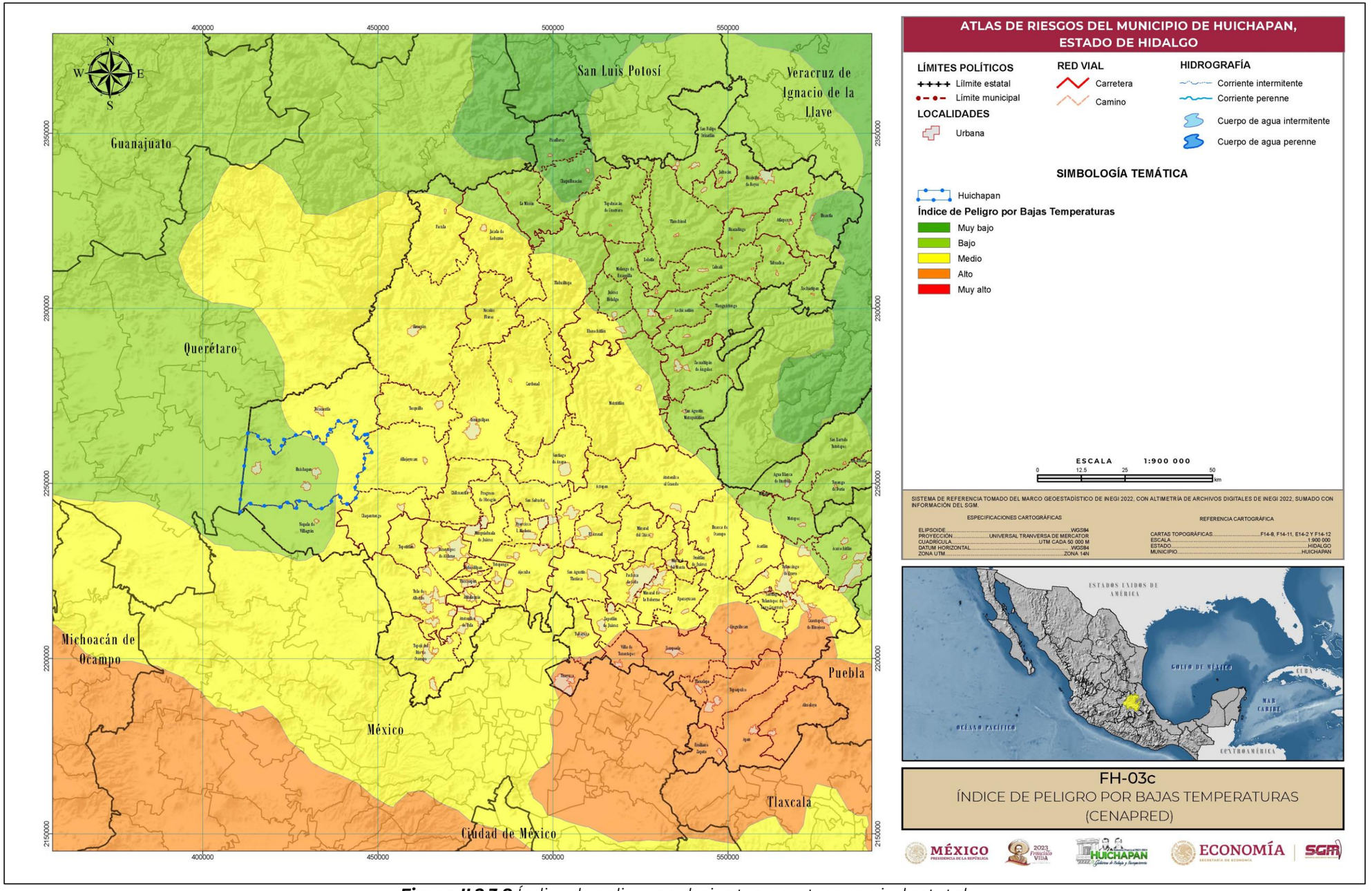


Figura II.2.3.8 *Índice de peligro por bajas temperaturas a nivel estatal.*
Fuente: *Elaboración propia con información del ANR, 2023.*

Periodos de Retorno

El cálculo de los periodos de retorno para 5, 10, 15 y 20 años se realizó mediante la distribución de Gumbel, esta función ha sido utilizada para calcular valores extremos de días promedio anuales con registro de heladas (I_{hel}). En la **Tabla II.2.3.6** se encuentran los valores máximos calculados de días con heladas para cada una de las estaciones climatológicas.

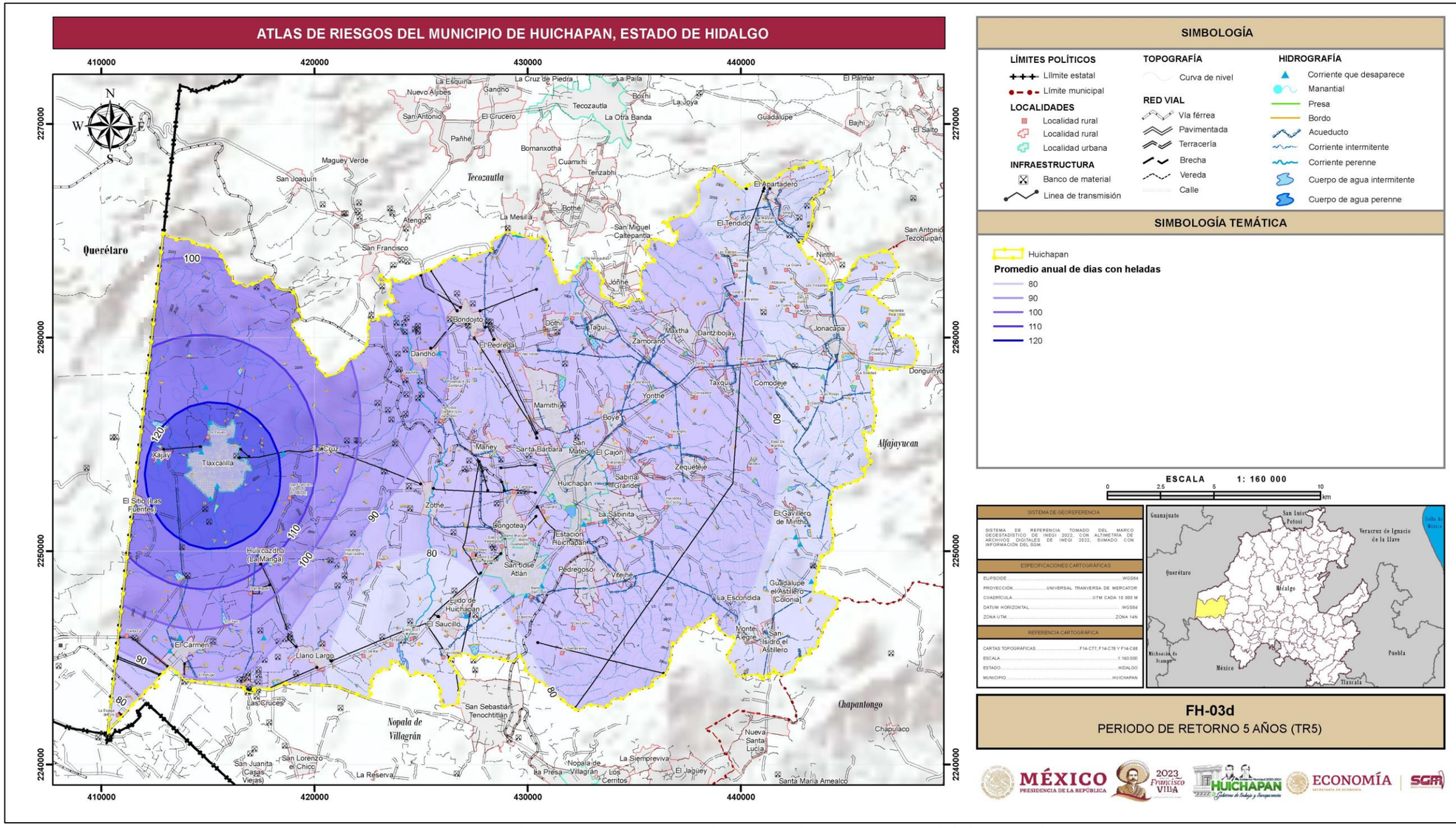
Tabla II.2.3.6 *Periodos de retorno para el fenómeno de heladas.*

Estación	Nombre	Prom DH	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 15 años	Tr 20 años
13012	Huichapan	67	89	108	118	125
13064	Chapantongo	33	50	64	72	77
13083	Presa Madero	57	72	84	90	95
13148	Xitha	28	44	57	64	69
13156	Tlaxcalilla	90	128	158	175	187
15192	Taxhie	48	62	74	80	85
22003	Cadereyta	33	50	64	72	77
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.						

En las **Figuras II.2.3.9 a la II.2.3.12** se presenta la distribución de los valores máximos calculados del Índice de heladas (promedio anual de días con heladas) para un periodo de retorno de 5, 10, 15 y 20 años. Para estos escenarios se prevé un aumento en los días con heladas ya que de acuerdo a la Distribución de Gumbel se esperan entre 80 a 120 días (TR5) y de 100 a 180 días (TR20), sin embargo, de acuerdo a la **Tabla II.2.3.2** donde se categorizan los días con heladas la mayoría de los escenarios se tiene una categoría de media a alta.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en el análisis, se tiene que el municipio se encuentra en un peligro de muy bajo a bajo por heladas, es decir, este fenómeno se considera un evento frecuente ya que, en el transcurso de 31 años, Huichapan registró 2072 eventos de este tipo, en promedio se registran 67 días con temperaturas menores a 3°C por año principalmente durante los meses de noviembre a marzo. En la estación Tlaxcalilla se registró una temperatura mínima máxima de -10°C, a una altura de 2 194 m s.n.m. y en la estación Huichapan se registró una temperatura mínima máxima de -5°C, a una altura de 2,125 m s.n.m. por lo que la temperatura puede variar de acuerdo al gradiente altitudinal alcanzando temperaturas menores al promedio registrado.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Promedio anual de días con heladas
- 80
- 90
- 100
- 110
- 120

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-03d
PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS (TR5)

Figura II.2.3.9 *Periodo de retorno de 5 años por heladas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

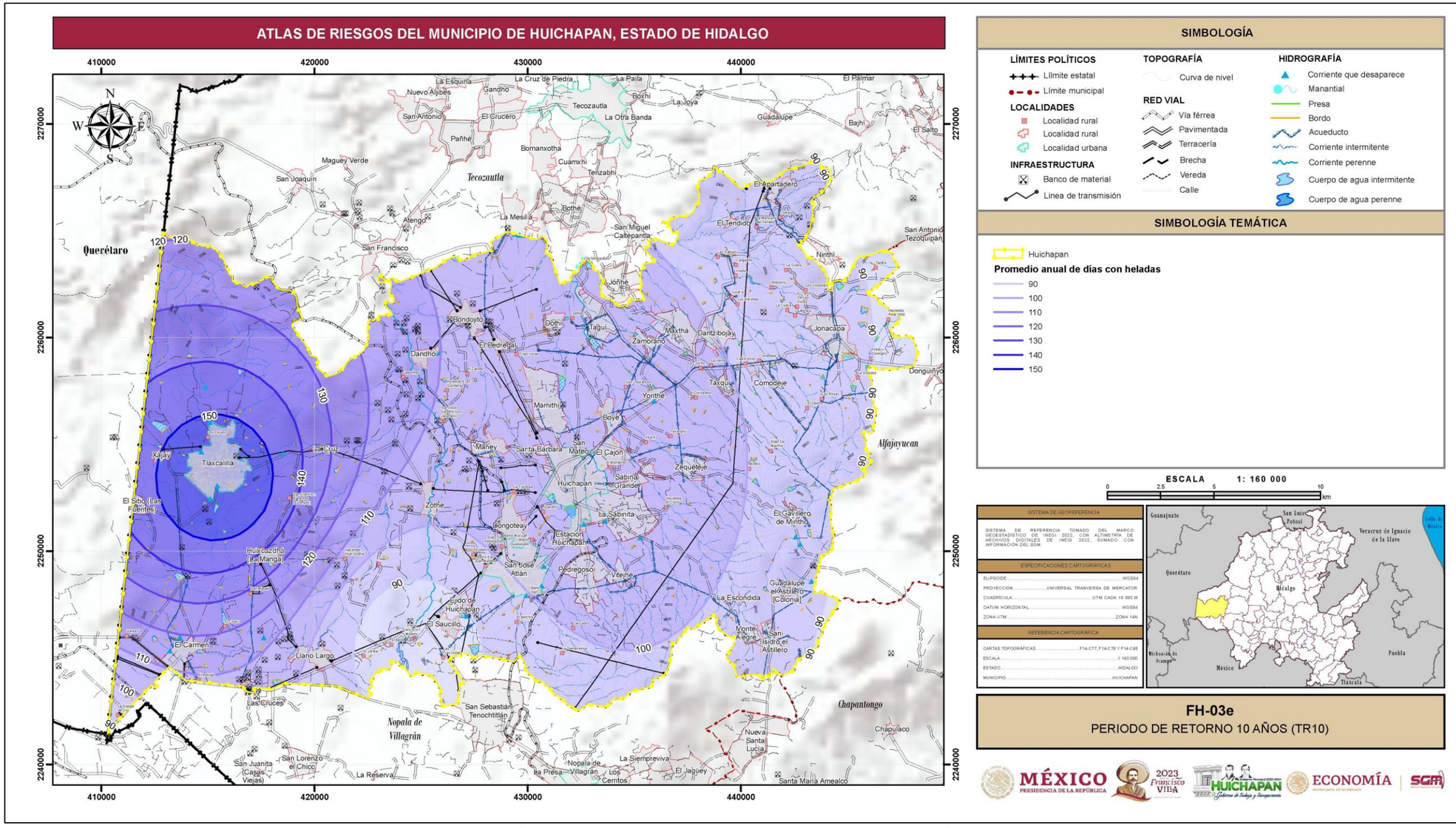


Figura II.2.3.10 *Periodo de retorno de 10 años por heladas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

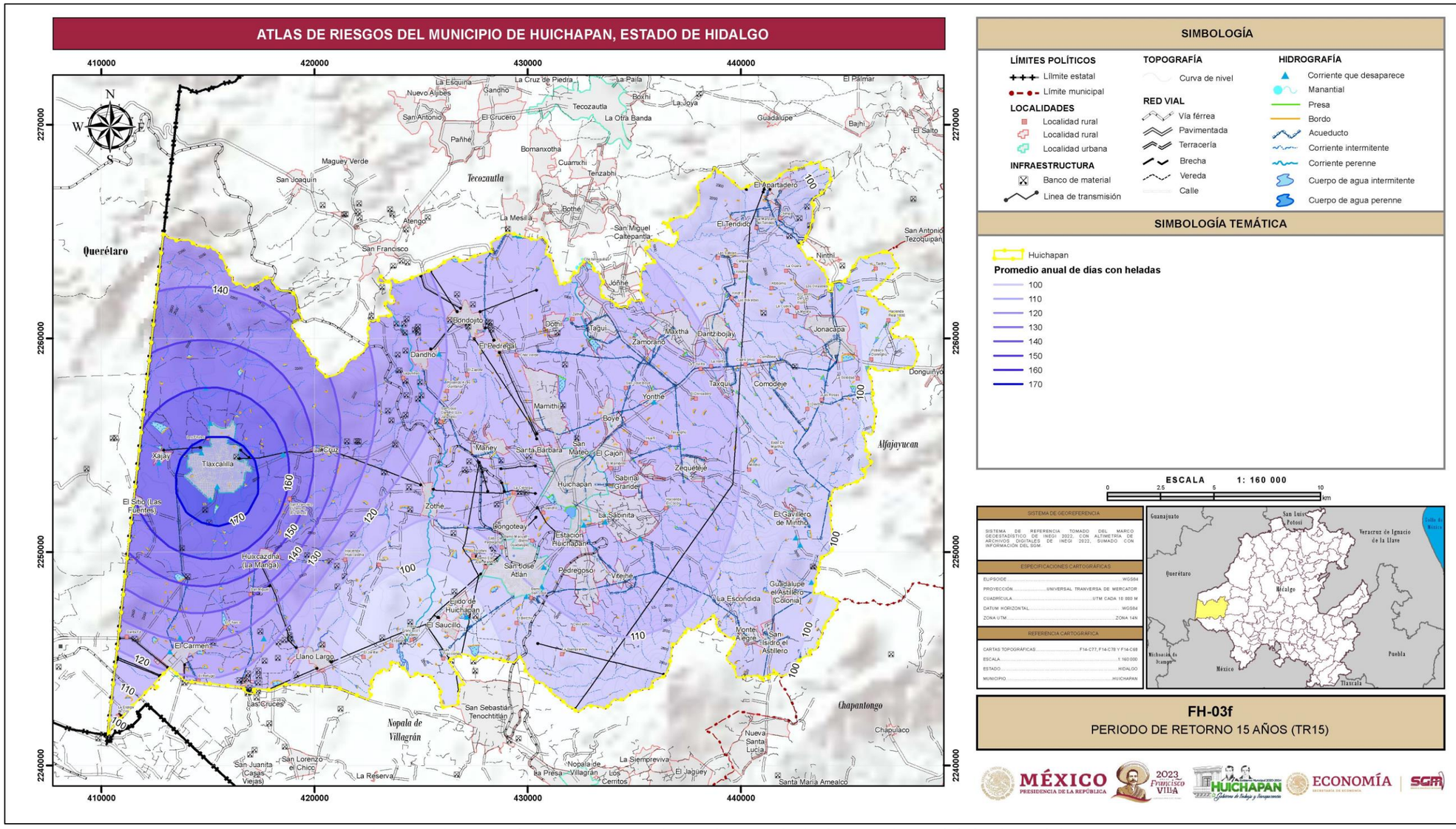


Figura II.2.3.11 *Periodo de retorno de 15 años por heladas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

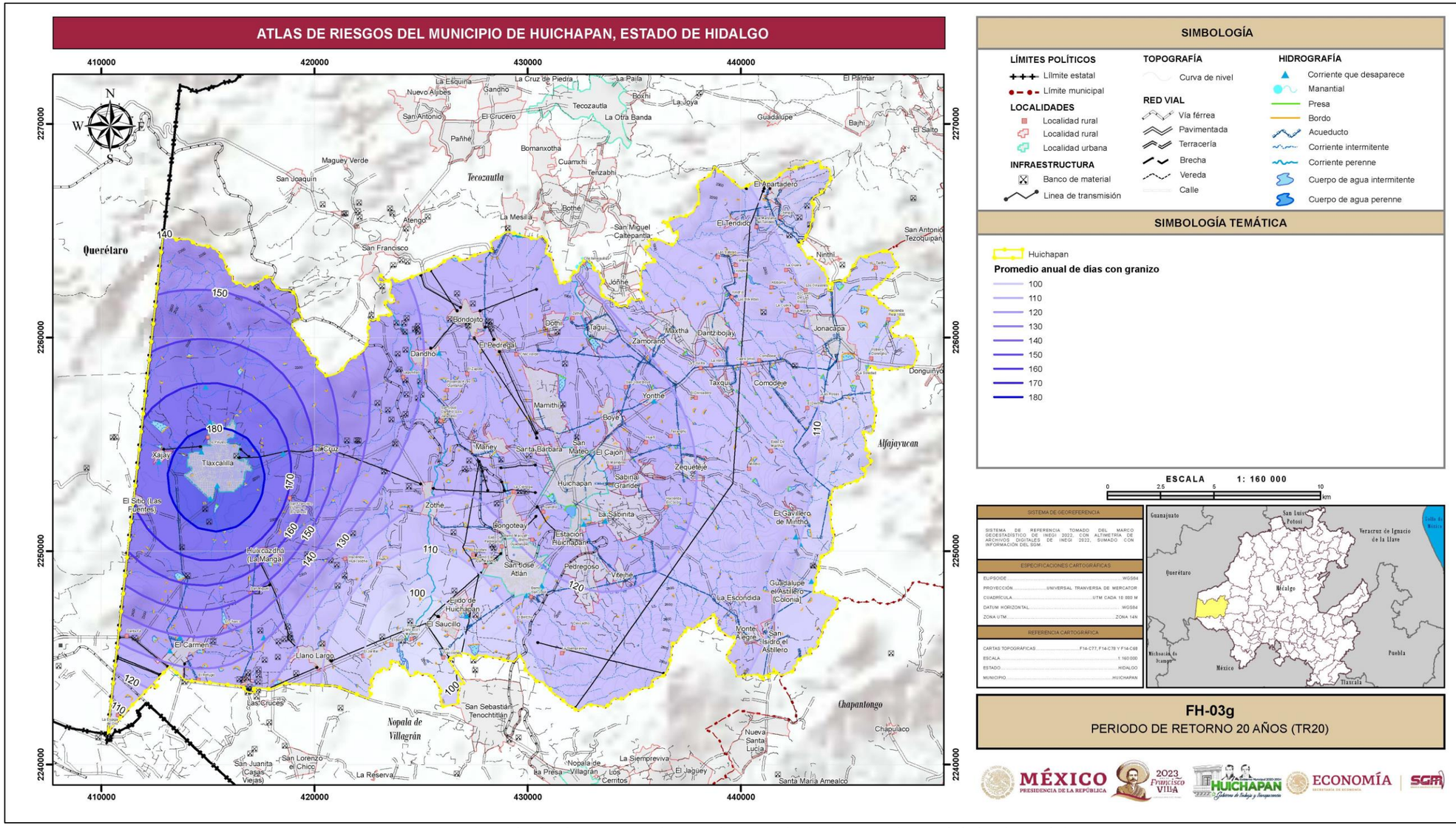


Figura II.2.3.12 *Periodo de retorno de 20 años por heladas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

II.2.4 Tormentas de Granizo

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas. Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora (CENAPRED, 2001).

Conceptos Básicos

El granizo es un tipo de precipitación en forma de fragmentos sólidos de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulunimbus son arrastrados por corrientes ascendentes de aire (CENAPRED, 2010).

Pierce (1970) señala que la inestabilidad asociada con masas de aire cálido y húmedo situadas debajo de aire seco y más fresco, es una condición atmosférica conducente de la formación de granizo. La actividad convectiva iniciada térmicamente o por condiciones frontales, rápidamente transporta el aire cálido y húmedo a altitudes con temperaturas por debajo de 0°C.

Los fragmentos de granizo se forman dentro de una nube cumulunimbus a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de las partículas de hielo con gotas de agua sobreenfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y queda suspendida por la nube que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo (CENAPRED, 2010).

El tamaño de los fragmentos de granizo oscila entre 5 mm hasta 40 mm de diámetro, a veces, varios elementos pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve amorfo. De acuerdo con el CENAPRED (2010) la mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, en ambos hemisferios.

Metodología

El análisis para este fenómeno se basa en las metodologías de Mapas de Índices de riesgos a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos, dentro de los fascículos del CENAPRED (2012). La información de las metodologías proporciona las herramientas necesarias para determinar el método de trabajo que se realizará en el Atlas de Riesgos.

Para determinar el grado de riesgo por el fenómeno de granizadas se determinó el índice de peligro por tormentas de granizo (IPTG), con base en la recopilación, análisis y depuración de información de las estaciones climatológicas proporcionadas por la CONAGUA (2023) (**Figura II.2.4.1**)

Figura II.2.4.1 *Método de trabajo por granizadas.*

Se tomaron los datos de seis estaciones climatológicas extrayendo la información de los días con granizo de cada una de ellas, tomando en cuenta un periodo de 1986 a 2016 (31 años), posteriormente se realizó un análisis estadístico con el fin de realizar una interpolación que se mostrará en un mapa.

La magnitud de los daños que puede provocar una tormenta de granizo depende de su cantidad y tamaño, sin embargo, el IPTG solo analiza la frecuencia del fenómeno sin considerar el tamaño o volumen.

Análisis de la información e interpretación de datos

Para determinar el IPTG se cuantificó el número de días con granizo de cada estación en un periodo de 31 años (**Tabla II.2.4.1** y **Figura II.2.4.2**).

Tabla II.2.4.1 *Días con granizo registrados en las estaciones climatológicas.*

Estación	Nombre	Días con Granizo	Prom Días con Granizo
13012	Huichapan	21	0.68
13064	Chapantongo	32	1.03
13088	Tasquillo	7	0.23
13156	Tlaxcalilla	24	0.77
15190	Presa San Idelfonso	3	0.10
22003	Centro Experimental Cadereyta	10	0.32
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.			

De acuerdo al resultado anterior, se utilizó como parámetro el número de días con granizo del Nuevo Atlas Nacional de México (Vidal, 2007), donde se establecen los intervalos a los que se les asignó un valor, el cual se calculó a partir de las diferencias de los límites superiores de los intervalos de días con granizo. El cálculo del índice se realizó a partir de cada valor dividido entre el máximo valor, resultando las siguientes categorías (**Tabla II.2.4.2**).

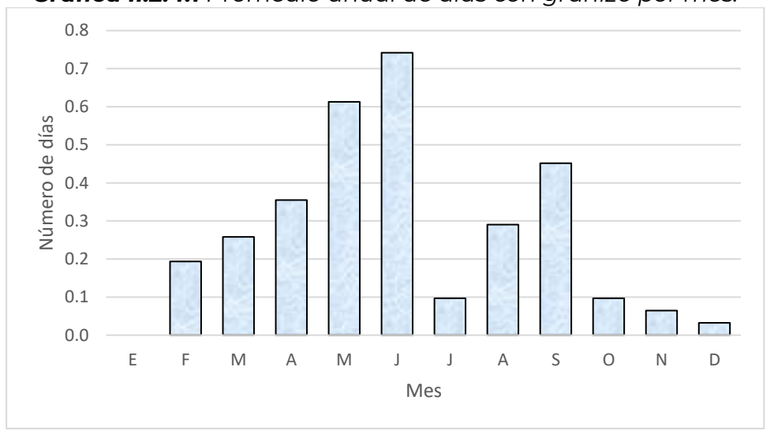
Tabla II.2.4.2 *Rangos y valores reclasificados para determinar el IPTG.*

Días	*Valor*	*Índice*	*Categoría*
> 5	*7.5*	*1.00*	*Muy alto*
2 - 5	*3.5*	*0.47*	*Alto*
1 - 2	*1.5*	*0.20*	*Medio*
0 - 1	*0.5*	*0.07*	*Bajo*
Sin granizo	*0*	*0*	*Muy bajo a nulo*
Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2012			

Para determinar la distribución de los valores obtenidos en la tabla anterior, se procedió a elaborar la **Figura II.2.4.3**, la cual representa el IPTG.

Las tormentas de granizo se desarrollan con más frecuencia entre los meses de mayo y junio donde se tienen los mayores registros (**Gráfica II.2.4.1**), y de acuerdo con los datos analizados en la estación 13012 Huichapan se tiene un promedio de 0.68 días con granizo al año.

Gráfica II.2.4.1 *Promedio anual de días con granizo por mes.*



Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2023).*

El resultado obtenido por medio del análisis de las estaciones climatológicas se comparó con la información generada por el CENAPRED en el Atlas Nacional de Riesgo a nivel estatal (**Figura II.2.4.4**) resultando un IPTG bajo para el municipio de Huichapan.

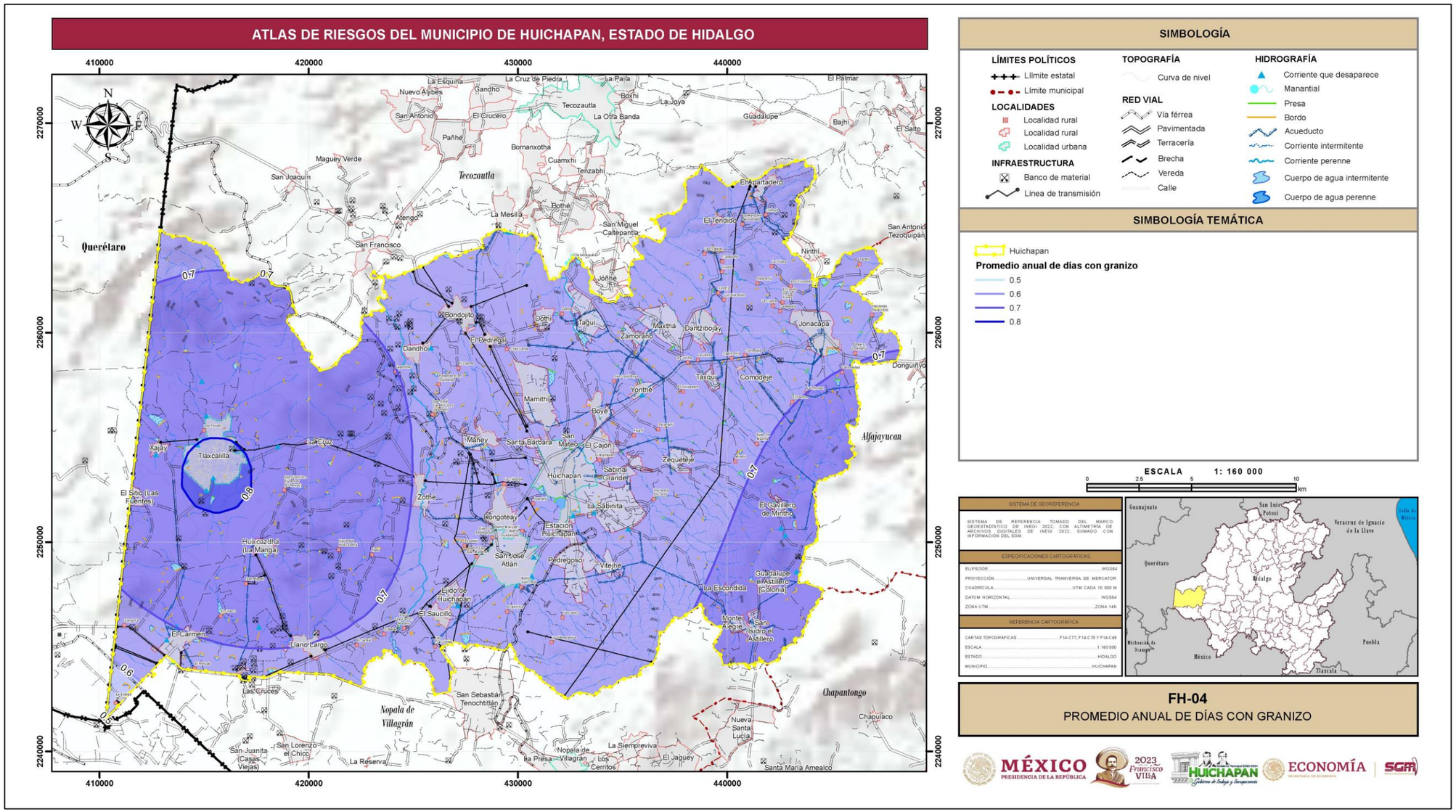
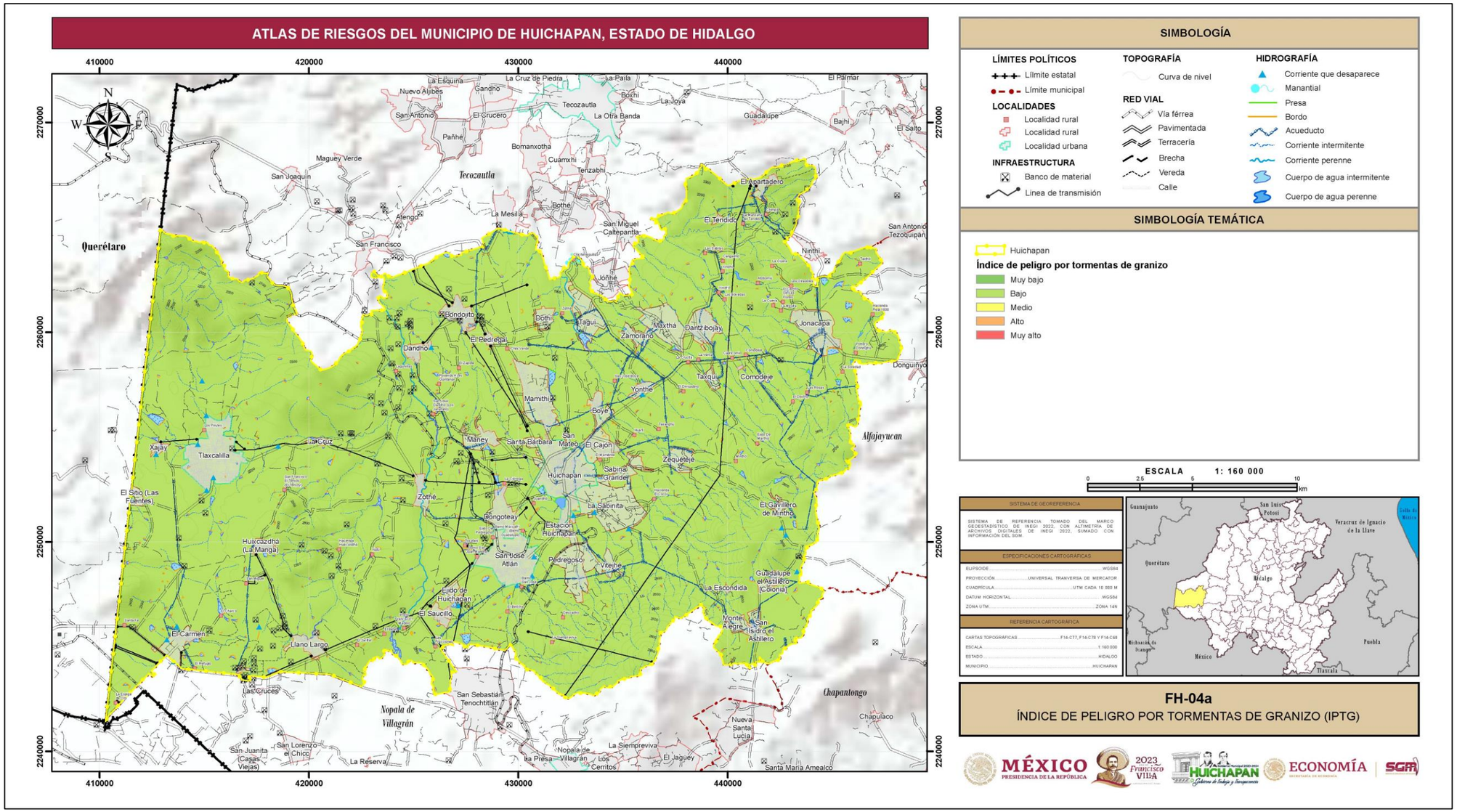


Figura II.2.4.2 *Promedio anual de días con granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Índice de peligro por tormentas de granizo
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-04a
ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS DE GRANIZO (IPTG)

Figura II.2.4.3 *Índice de peligro por tormentas de granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

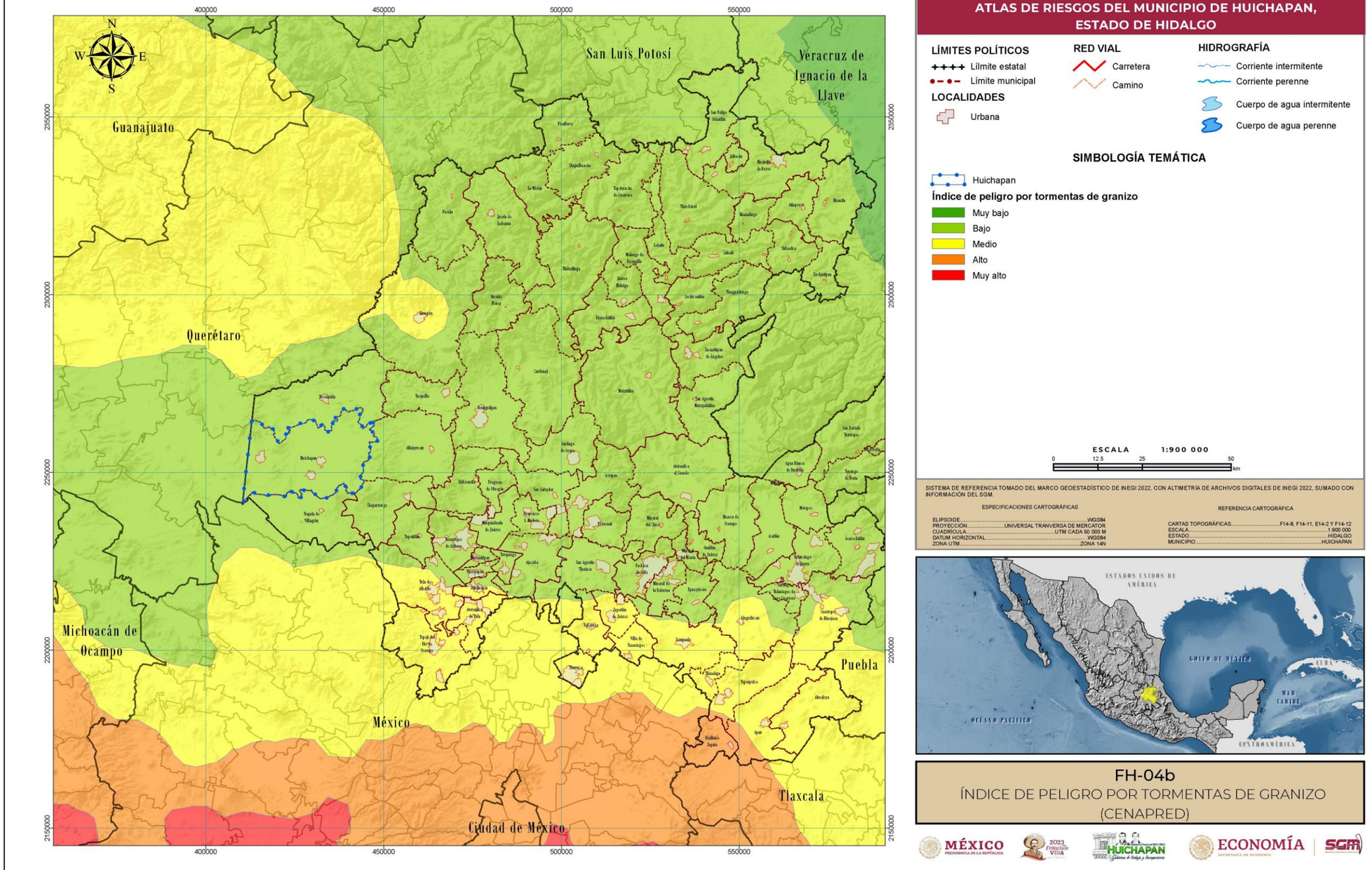


Figura II.2.4.4 *Índice de peligro por tormentas de granizo a nivel estatal.*
Fuente: *Elaboración propia con información del ANR, 2023.*

Periodos de retorno

El cálculo de los periodos de retorno para 5, 10, 15 y 20 años se realizó mediante la distribución de Gumbel, esta función se utiliza para calcular valores extremos de días promedio con registro de granizo. En la **Tabla II.2.4.3** se encuentran los valores máximos calculados de días con granizo para cada una de las estaciones climatológicas.

Tabla II.2.4.3 *Periodos de retorno para el fenómeno de tormentas de granizo.*

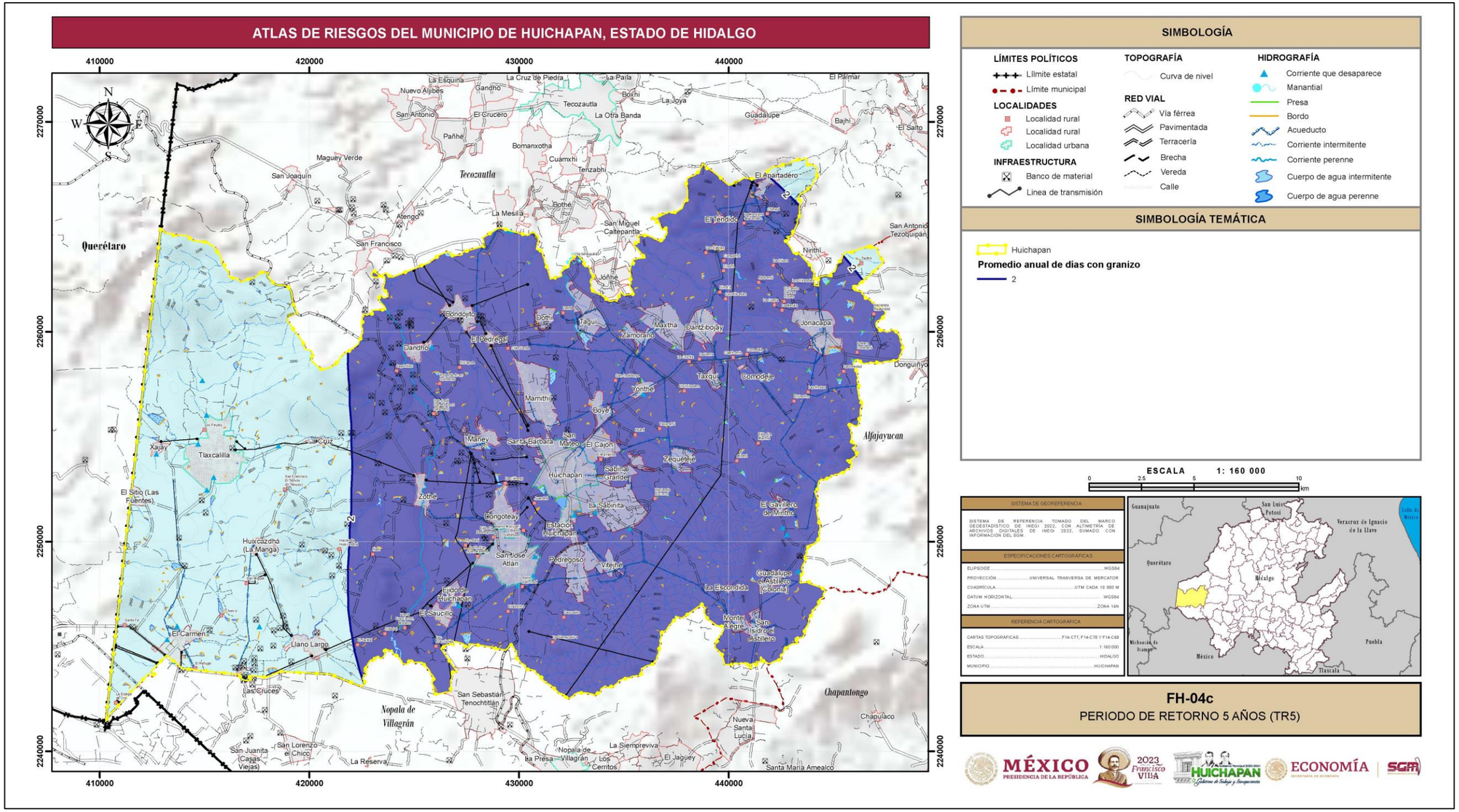
Estación	Nombre	Promedio de Días con Granizo	Tr5	Tr10	Tr15	Tr20
13012	Huichapan	0.7	2.8	4.5	5.4	6.1
13064	Chapantongo	1.1	2.3	3.3	3.9	4.3
13088	Tasquillo	0.2	0.6	1.0	1.1	1.3
13156	Tlaxcalilla	0.8	1.8	2.6	3.1	3.4
15190	Presa San Idelfonso	0.1	0.4	0.6	0.7	0.8
22003	Centro Experimental Cadereyta	0.3	1.5	2.4	3.0	3.3
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.						

La distribución de los valores máximos calculados del promedio de días con granizo para cada periodo de retorno (5, 10, 15 y 20 años) se observan en las **Figuras II.2.4.5** a la **II.2.4.8**.

Para el periodo de retorno de 5 años (TR5) se prevé un promedio anual de 1.4 a 2.8 días con granizo, aumentando el número de días gradualmente obteniendo un rango de 2 a 4.5 días con granizo para un periodo de retorno de 10 años (TR10), de 2.4 a 5.4 días con granizo para un periodo de retorno de 15 años (TR15) y un rango de 2.7 a 6.1 días con granizo para un periodo de retorno de 20 años (TR20).

Conclusiones

El municipio de Huichapan presenta un peligro bajo por tormentas de granizo, debido a que este fenómeno se considera un evento poco frecuente. En el transcurso de 31 años el municipio ha registrado 21 días con granizo, resultando con un promedio de .0.7 días con granizo al año.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Promedio anual de días con granizo

2

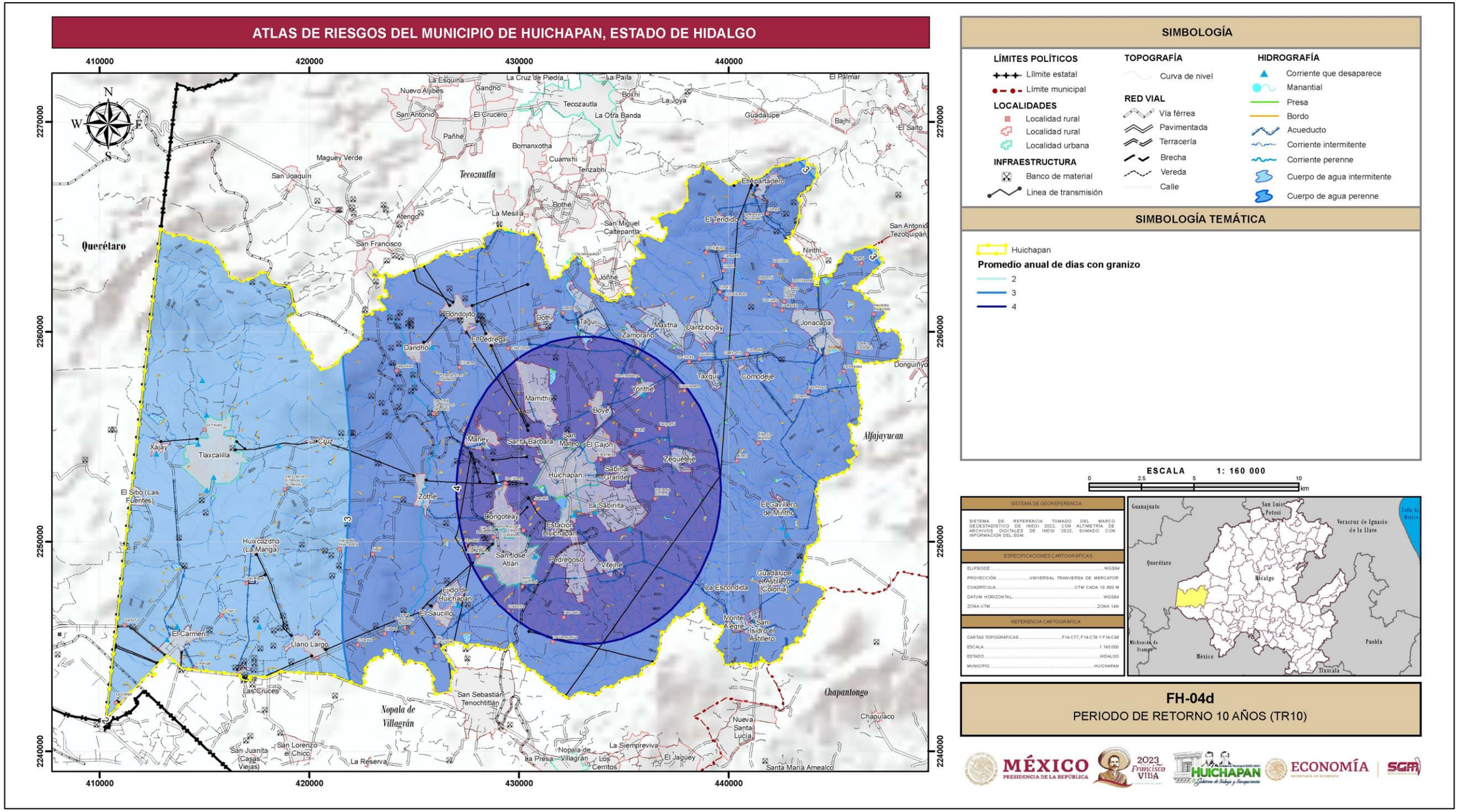
ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-04c
PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS (TR5)

Figura II.2.4.5 *Periodo de retorno a 5 años para tormentas de granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

Promedio anual de días con granizo
- 2
- 3
- 4

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-04d
PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS (TR10)

Figura II.2.4.6 *Periodo de retorno a 10 años para tormentas de granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

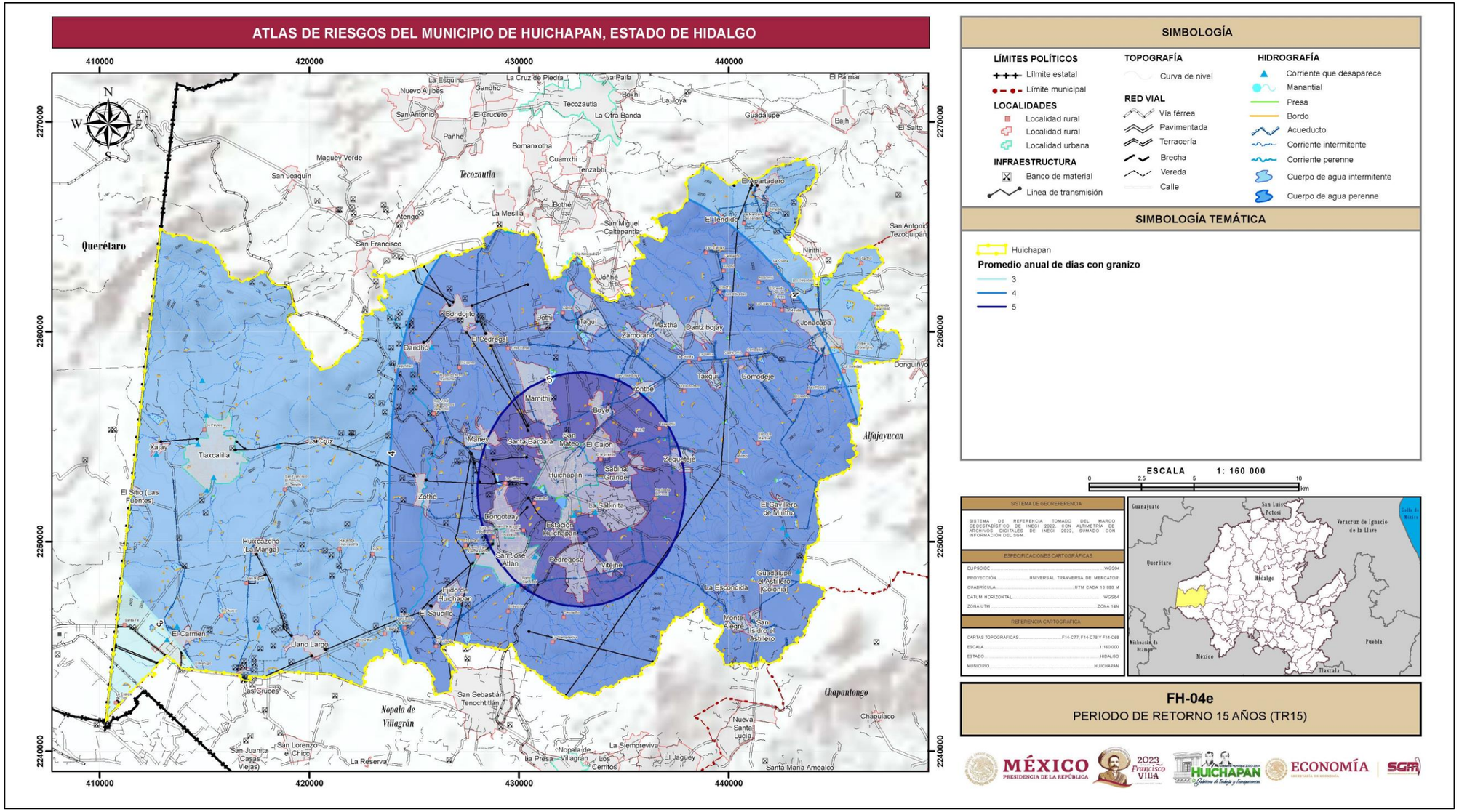


Figura II.2.4.7 *Periodo de retorno a 15 años para tormentas de granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

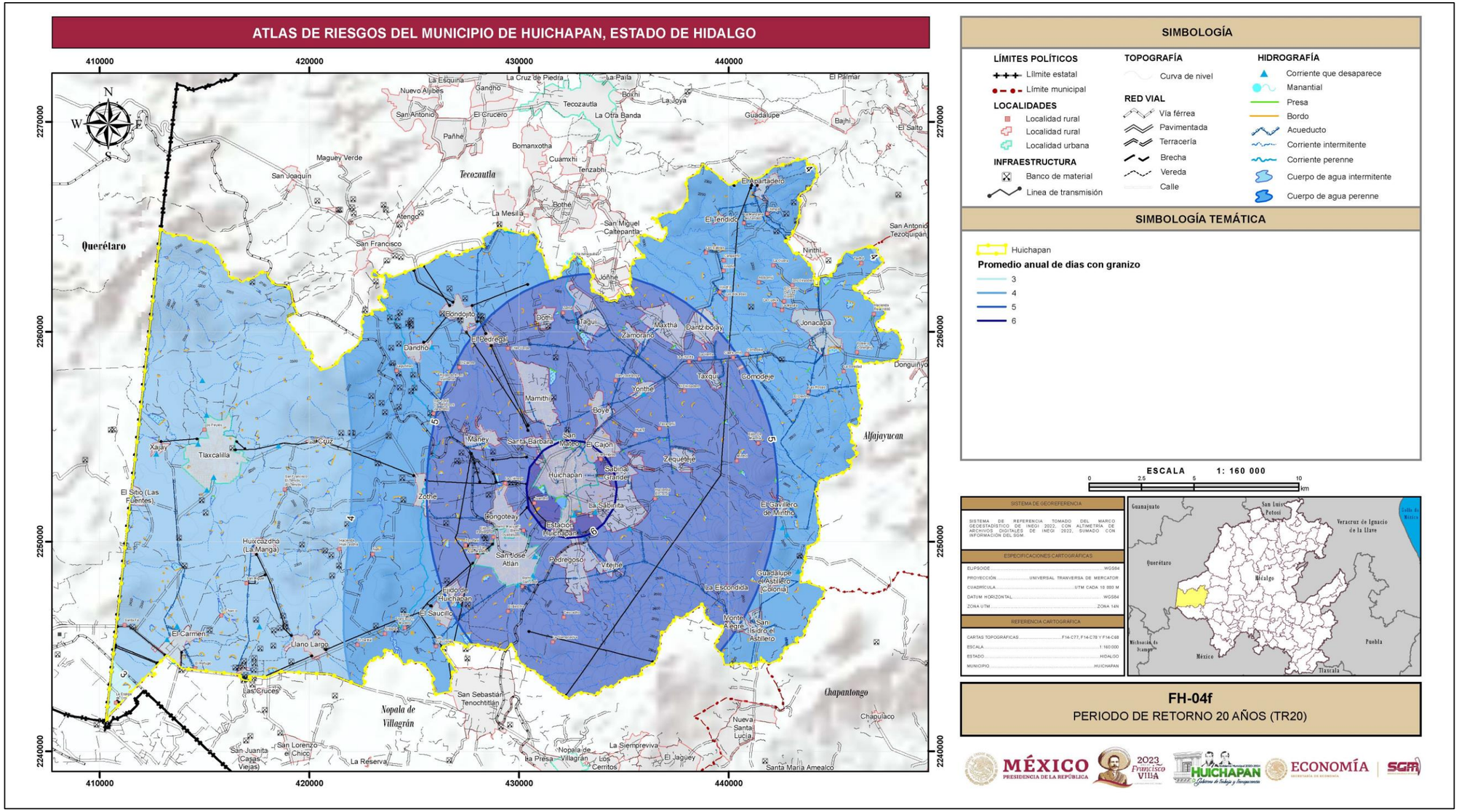


Figura II.2.4.8 *Periodo de retorno a 20 años para tormentas de granizo en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

II.2.5 Tormentas de Nieve

La nevada es una forma de precipitación que consiste en la caída de agua en estado sólido, en forma de pequeños cristales de hielo que caen individualmente o agrupándose en copos de nieve. Para que se forme el meteoro es necesario que en el ambiente exista una alta concentración de humedad en la atmósfera y una temperatura inferior a los 0°C (OMM,1993).

Un copo de nieve es la aglomeración de cristales de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de la solidificación del agua. La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones (CENAPRED, 2010).

De acuerdo con el CENAPRED (2010) los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno, como son las masas de aire polar y los frentes fríos.

En México, las nevadas principalmente ocurren en el norte del país en las partes altas de las montañas y en ocasiones llegan a los valles altos, donde la caída de nieve puede ocasionar severos daños, dependiendo de la intensidad y de los sitios donde ocurra (CENAPRED, 2012).

Metodología

La información que se consideró para este nivel de información, fueron los Mapas de Índices de Riesgo a Escala Municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos del Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED (2012).

El Índice de Peligro por Nevadas (IPN), se basa en la frecuencia del fenómeno, que implica contar el número de veces donde ha ocurrido eventos de esta naturaleza a nivel municipal, con base en fuentes de información como notas periodísticas y en las notas informativas de protección civil del municipio.

Para obtener un índice de frecuencia para este fenómeno se divide el número de eventos registrados entre el dato más alto. La base de datos del CENPARED contiene información para 440 municipios, siendo Juárez el lugar con más eventos registrados con 30 días.

De acuerdo al resultado del índice de frecuencia, se estableció la siguiente categorización del Índice de Peligro por Nevadas.

Tabla II.2.5.1 *Categorización de los índices de peligro por nevadas.*

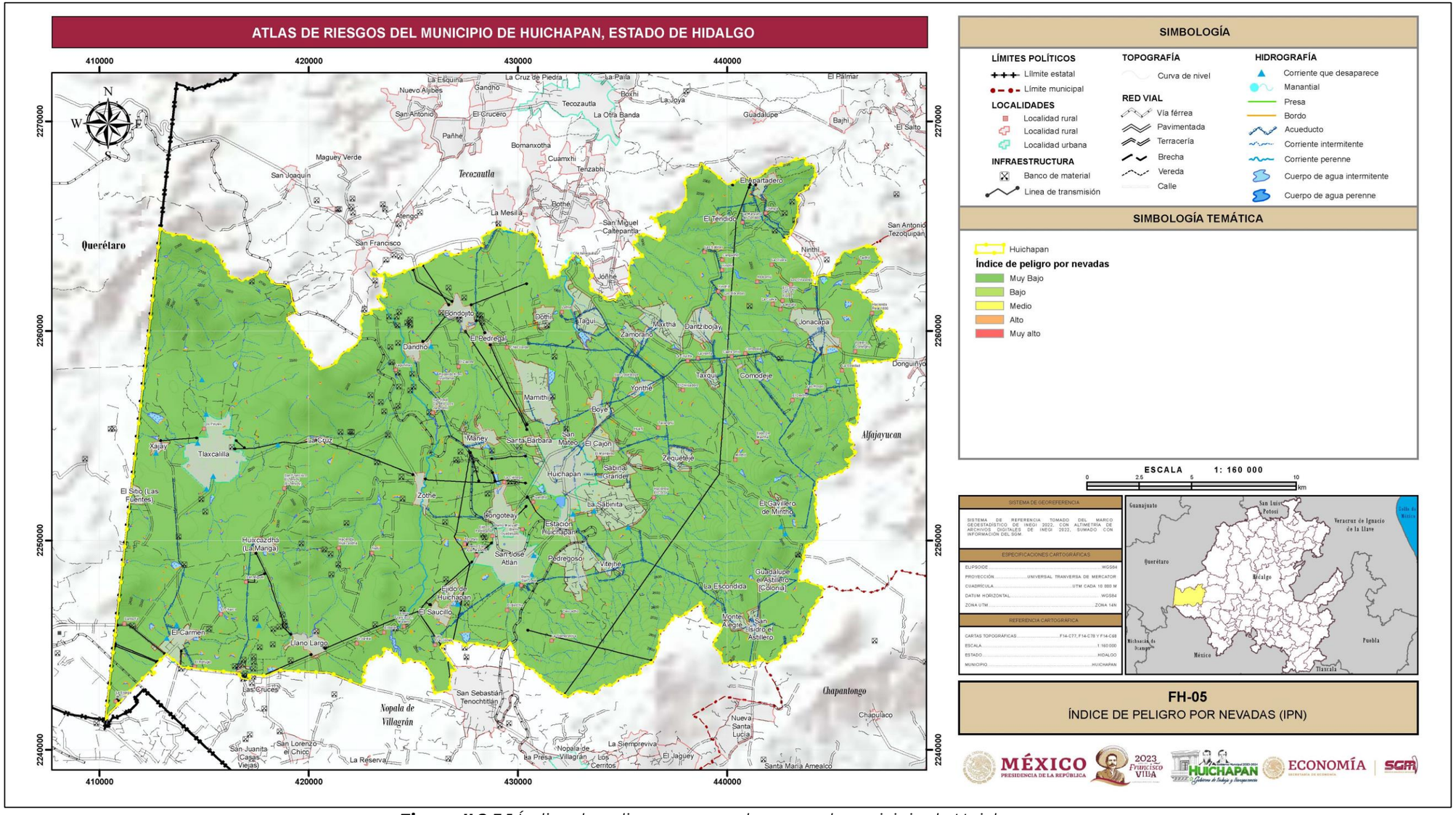
Índice	*Valor*	*Intervalo*
Muy bajo	*1*	*0.00 - 0.03*
Bajo	*2*	*0.03 - 0.13*
Medio	*3*	*0.13 - 0.33*
Alto	*4*	*0.33 - 0.63*
Muy alto	*5*	*0.63 - 1.0*
Fuente: Elaboración propia a partir de información del CENAPRED, 2012		

Análisis de la información

En el municipio de Huichapan no se tiene registro de caída de nieve, por lo que el índice de frecuencia corresponde a 0.0 con este valor se procedió a elaborar la **Figura II.2.5.1** la cual representa el Índice de Peligro por Nevadas.

Conclusiones

El resultado obtenido se comparó con la información generada por el CENAPRED en el Atlas Nacional de Riesgo a nivel estatal (**Figura II.2.5.2**) se observa la similitud entre los resultados obtenidos, en ambos casos se considera al municipio con un Índice de Peligro por Nevadas muy bajo.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Índice de peligro por nevadas
- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-05
ÍNDICE DE PELIGRO POR NEVADAS (IPN)

Figura II.2.5.1 *Índice de peligro por nevadas para el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

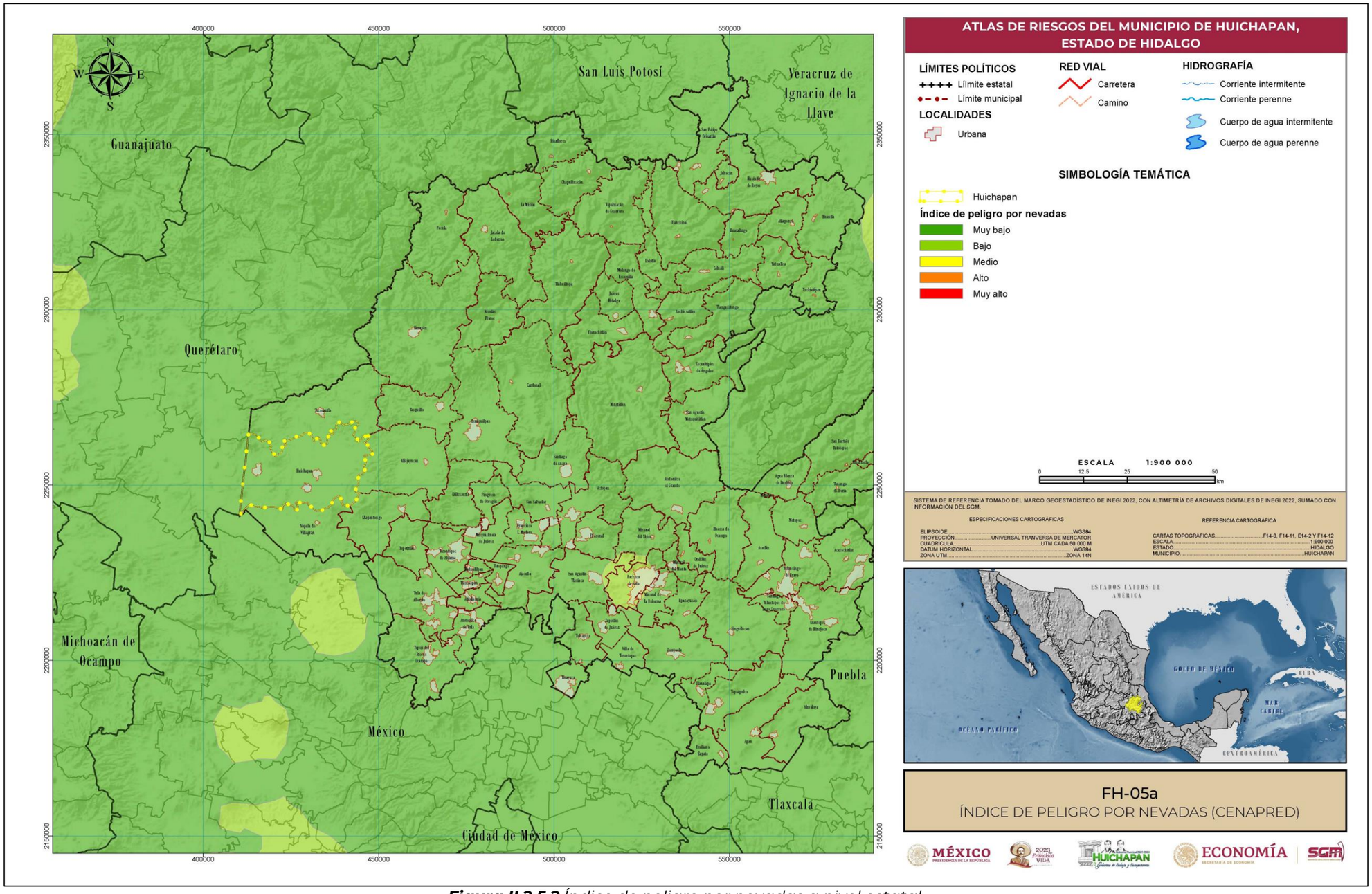


Figura II.2.5.2 *Índice de peligro por nevadas a nivel estatal.*
Fuente: *Elaboración propia con información de ANR, 2023.*

II.2.6 Ciclones tropicales (Huracanes-Ondas tropicales)

En el territorio mexicano existe una probabilidad muy alta de tener afectaciones por el fenómeno de los ciclones tropicales, esto debido, a la presencia de eventos climáticos ocasionados por la ubicación geográfica. La afectación principalmente se presenta en las costas del océano Pacifico y Atlántico.

Anualmente el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), pronostica la actividad ciclónica en el país en el mes de mayo, estas predicciones se efectúan colectando tantos datos como sea posible acerca del estado de la atmósfera (particularmente temperatura, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones) y usando conocidos procesos atmosféricos (a través de la meteorología), para determinar los patrones futuros en la atmosfera, sin embargo, la naturaleza compleja de los fenómenos atmosféricos y el entendimiento incompleto de los patrones y procesos meteorológicos hacen que los pronósticos sean menos seguros al incrementarse el rango temporal del pronóstico.

A pesar de que el estado de Hidalgo y en consecuencia cada uno de sus municipios no se encuentra situadas en zonas costeras, es susceptible a tener afectaciones como beneficios por la presencia de un evento ciclónico, en general, provocado lluvias intensas y fuertes vientos.

Conceptos básicos

Un ciclón es un sistema de baja presión atmosférica y a su alrededor se forman patrones de vientos rotatorios intensos y organizados en dirección inversa a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, además de nubes de tormenta, al centro con aire tibio y con presión relativa mínima. Los vientos superficiales pueden alcanzar velocidades de 200 km/h o más. Se desarrollan sólo en los trópicos, entre las latitudes 5° y 30° norte y sur cuando el agua del mar supera los 26°C. Otra de las condiciones que se debe de cumplir para la génesis de un ciclón son los cambios en la dirección y velocidad del viento a una altura de la atmosfera de 15 km. Además de la presencia de la fuerza de Coreolis a cuatro o cinco grados de latitud, hacia el polo del hemisferio en que se encuentran las zonas oceánicas tropicales.

Las características necesarias para la formación de un ciclón es que exista calor y humedad, a fin que se formen nubes de tipo cumulonimbos. Estas se desarrollan solo en los trópicos, entre las latitudes 5° y 30° norte y sur, en las regiones y temporadas cuando el agua del mar supera los 26°C. La energía de los ciclones tropicales proviene esencialmente del calor y la humedad que transfiere el océano al aire en los niveles bajos de la atmósfera. Mientras el centro del ciclón permanece sobre agua cálida, el suministro de energía es enorme. Mientras más y más aire húmedo se dirige hacia el centro de la tormenta para reemplazar al aire caliente que asciende rápidamente en forma de nubes, mayor calor es liberado a la atmósfera por condensación del vapor de agua y la circulación del viento continúa incrementándose.

Las regiones donde se originan los ciclones se les conocen como zonas ciclogenéticas. Los que llegan a México del lado del océano Atlántico provienen de la sonda de Campeche, Golfo de Tehuantepec, Caribe (alrededor de los 13° de latitud norte y 65°de longitud oeste), y sur de las islas Cabo Verde (cerca de los 12° latitud norte y 57° longitud oeste). Mientras que del lado del Pacífico cerca de los 14° latitud norte y 100° longitud oeste.

La clasificación de estos eventos se base en la escala Saffir-Simpson, donde ponderan la intensidad utilizando niveles o categorías que se presentan en los rangos de perturbación tropical, depresión tropical, tormenta tropical, hasta huracán del 1 al 5, dependiendo de la magnitud de los vientos sostenidos en la superficie (**Tabla II.2.6.1**).

Tabla II.2.6.1 *Clasificación según la escala Saffir-Simpson.*

CATEGORIA	PRESIÓN CENTRAL (MB)	VIENTOS (Km/h)	MAREA DE TORMENTA (m)	CARACTERÍSTICAS DE LOS POSIBLES DAÑOS MATERIALES E INUNDACIONES
Perturbación Tropical	*1008.1 a 1010*	*-*	*-*	*Ligera circulación de vientos*
Depresión Tropical	*1004.1 a 1008*	*< 62*	*-*	*Localmente destructivo*
Tormenta Tropical	*985.1 a 1004*	*62.1 a 118*	*1.1*	*Tiene efectos destructivos*
Huracán Categoría 1	*980.1 a 985*	*118.1 a 154*	*1.5*	*Potencial Mínimo. Sin daño efectivo en las estructuras de los edificios, sí a casas rodantes no ancladas, arbustos, follaje y árboles, a señales pobremente construidas y en muelles. Algunas inundaciones de carreteras costeras en zonas bajas. Embarcaciones pequeñas son arrancadas de sus amarres.*
Huracán Categoría 2	*965.1 a 980*	*154.1 a 178*	*2.0 a 2.5*	*Potencial Moderado. Daños considerables a arbustos y a follaje de árboles, algunos son derribados, a señales pobremente construidas, a techos de casas, puertas y ventanas, a muelles. Daño grave a casas rodantes. Carreteras costeras inundadas de 2 a 4h antes de la entrada del centro del huracán. Evacuación de residentes de la línea de costa.*
Huracán Categoría 3	*945.1 a 965*	*178.1 a 210*	*2.5 a 4.0*	*Potencial Extensivo. Árboles altos derribados. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas, algunos daños estructurales en pequeñas residencias. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas; los escombros flotantes y el embate de las olas dañan a las estructuras mayores cercanas a la costa. Los*

				terrenos sobre 1.5 msnm, pueden resultar inundados hasta 13 Km tierra adentro (o más) desde la costa.
Huracán Categoría 4	*920.1 a 945*	*210.1 a 250*	*4.0 a 5.5*	*Potencial Extremo. Arbustos y árboles derribados; señales destruidas. Daños severos a techos, puertas y ventanas. Destrucción de casas móviles. Terrenos a 3 msnm pueden inundarse hasta 10 Km tierra adentro de la costa. Erosión importante de las playas.*
Huracán Categoría 5	*< 920*	*> 250*	*> 5.5*	*Potencial Catastrófico. Derribo de arbustos y árboles, caída de señales. Daño muy severo en ventanas, puertas, techos en residencias y edificios industriales. Destrucción de casas móviles. Daños graves en plantas bajas a menos de 4.6 msnm y a una distancia de hasta 460 m de la costa.*
Fuente: Elaboración propia con información de CENAPRED, 2002.				

Antecedentes

De acuerdo al impacto socioeconómico de los principales desastres ocurrido en la República Mexicana, a partir del 2015 los descensos han disminuido, sin embargo, en relación a las pérdidas económicas has sido enormes, esto causado por la envergadura de este fenómeno que afecta a varios estados del país principalmente los que se localizan en las costas tanto Atlántico como del Pacifico, en la **tabla II.2.6.2** se muestra un resumen de las afectaciones ocasionadas por los ciclones tropicales a nivel nacional.

Tabla II.2.6.2 *Afectación ocasionadas por ciclones tropicales en México.*

AÑO	DESCENSOS	POBLACIÓN AFECTADAS (PERSONAS)*	VIVIENDAS DAÑADAS	ESCUELAS DAÑADAS	UNIDADES DE SALUD DAÑADAS	TOTAL DE DAÑOS (MILLONES DE PESOS)	ESTADOS CON MAYORES AFECTACIONES
2010	*55*	*1,151,242*	*121,535*	*1,898*	*242*	*49,965.4*	*Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y Veracruz*
2011	*15*	*83,306*	*6,354*	*105*	*29*	*9,324.5*	*Veracruz, Hidalgo, Colima y Jalisco*
2012	*21*	*550,817*	*16,757*	*480*	*12*	*12,794.8*	*Baja California Sur, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Quintana Roo y Campeche*
2013	*180*	*2,312,265*	*34,960*	*2,253*	*94*	*48,294.7*	*Chiapas, Veracruz, Guerrero, Sinalo, Durango, Nuevo León, Hidalgo*
2014	*15*	*751,691*	*14,828*	*937*	*14*	*25,279.3*	*Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Baja California y Baja California Sur*
2015	*0*	*993,271*	*2,896*	*385*	*51*	*4,865.9*	*Colima, Jalisco, Sonora y Michoacán*
2016	*0*	*Sin Dato*	*Sin Dato*	*Sin Dato*	*Sin Dato*	*2,938.2*	*Sonora, Sinaloa, Guerrero, Baja California*
2017	*14*	*4,353,933*	*859*	*59*	*Sin Dato*	*5501.1*	*Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Baja California Sur*
2018	*13*	*624,960*	*72,863*	*1,217*	*21*	*7,920.6*	*Sinaloa, Sonora, Nayarit*
Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2021.							

***Se consideran los heridos, evacuados y damnificados**

En el estado de Hidalgo, en el periodo de 1988 al 2022, se han presentado 10 fenómenos hidrometeorológicos; cinco huracanes (Debby, Geart, Dean, Lorenzo, Grace), dos tormentas tropicales (Diana y Arlene), tres depresiones tropicales (Fernando, Danielle y Franklin), estos fenómenos han cruzado el estado del Hidalgo, sin embargo, otros eventos como los ciclones tropicales Dolly, Keith, Stan, Ernesto e Ingrid, han provocado daños severos en la entidad.

La Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Hidalgo, ha informado que estos fenómenos han afectado en mayor grado las regiones de la Huasteca, Otomí-Tepehua y la Sierra de Tenango. Como lo sucedido en agosto 1990 con el huracán Diana, cuyo fenómeno afectó a 35 municipios, generando inundaciones, deslaves, derrumbes y afectaciones a la infraestructura en el estado.

Entre agosto y septiembre del 2007 los remanentes de las depresiones tropicales Deán y Lorenzo, afectaron 60 municipios del estado en prácticamente todas las regiones. Recordando que Deán fue el huracán más intenso registrado en la cuenca del océano Atlántico, que al salir a las cálidas aguas de la Bahía de Campeche, el huracán tomó nuevas fuerzas y ya convertido en huracán categoría 2 tocó tierra al norte del estado de Veracruz, desplazándose al oeste del país propiciando una gran zona de inestabilidad y lluvia en los estados de Puebla, Hidalgo, Michoacán, México y Jalisco, para posteriormente internarse en el océano Pacífico y afectar finalmente a Baja California Sur con fuerza de tormenta tropical hasta su disipación.

En 2011 la tormenta tropical Arlene en el periodo que comprendió los días 28 y 30 de junio provoco una acumulación pluvial de 709 mm.

En el 2013 en el mes de septiembre, el huracán Ingrid dejó en el estado desbordamiento de ríos, deslizamientos en laderas, ocasionado por las intensas lluvias, además de afectaciones en 31 municipios de las regiones Huasteca, Sierra Alta y la Sierra Gorda del estado de Hidalgo, inclusive cuatro decesos. La precipitación registrada entre los días 12 y 14 sumó 606 mm.

En octubre de 2015 el huracán Patricia, el más poderoso registrado y que puso en alerta a México, pues en menos de 10 horas pasó de ser una tormenta tropical a un evento de categoría cinco. Si bien las afectaciones fueron mínimas en el estado de Hidalgo, no dejo de ser un evento ciclónico de gran importancia que afecto a gran parte de la porción occidental del país.

En agosto de 2017 un evento ciclónico que llamo la atención fue Franklin, que, al pasar por el estado de Hidalgo, provoco cierres parciales en las vías de comunicación, causado por la caída de árboles y deslizamiento de laderas.

En 2021, por los efectos del huracán Grace se emitió una declaratoria de desastre natural por la presencia de lluvia severa, vientos fuertes e inundación pluvial y fluvial el 21 y 22 de agosto de 2021, en 27 municipios del estado de Hidalgo.

Sin embargo, de los acontecimientos mencionados anteriormente el único que dejo una cantidad considerable de lluvia fue el huracán Dean, que llego al estado de Hidalgo con categoría de huracán tipo 2 dejando en el municipio una cantidad registrada de 71mm y 64 mm de precipitación en la estación Huichapan y Presa Madero entre el 21 y 22 de agosto del 2007

Las trayectorias de los ciclones tropicales que han cruzado o concluido en el estado de Hidalgo, han sido en su mayoría provenientes de la cuenca del Atlántico (**Tabla II.2.6.3**), en los 173 años (1849-2023) que se tiene de registro, esto debido a la cercanía que tiene con el Golfo de México, sin embargo, del lado de la cuenca del Pacifico en los 73 años de registro que se tiene (1950-2023), han cruzado dos trayectorias el estado de Hidalgo (**Tabla II.2.6.4**).

Tabla II.2.6.3 *Trayectorias ciclónicas que han cruzaron el estado de Hidalgo a partir de 1852 al 2021 provenientes de la cuenca del Atlántico.*

NOMBRE	CATEGORÍA	FECHA	VIENTO (kM/h)	PRESIÓN (BAR)	LUGAR GEOGRÁFICO DONDE SE ORIGINÓ	LUGAR GEOGRÁFICO DONDE CONCLUYÓ
Sin Nombre	Huracán 2, 1 y Tormenta Tropical	13-17/Ago/1866	148-166		Mar del Caribe	Estado de Querétaro
Sin Nombre	Huracán 1, Tormenta y depresión Tropical	28-30/Ago./1936	64-129			Estado de Hidalgo
Sin Nombre	Huracán 3, 2, 1 y Tormenta Tropical	16-24/Ago./1944	64-194		Límite del Océano Atlántico Norte y Mar del Caribe	
Sin Nombre	Huracán 2, 1, Tormenta y depresión Tropical	9-16/Ago./1947	46-175	938-996	Mar del Caribe	
Janet	Tormenta Tropical	21-30/Sep./1955	111	0	Centro del Océano Atlántico Norte	Querétaro
Debby	Huracán 1 y Tormenta Tropical	31/ago-8/Sep./1988	120-37	1008-992	Bahía de Campeche	Golfo de California
Diana	Huracán 2, 1, Tormenta y depresión Tropical	4-9/Ago./1990	37-157	980-1010	Mar del Caribe	Norte del Océano Pacifico
Gert		14-21/Sep./1993	46-147	990-1008		
Dean	Todas las categorías	13-22/Ago./2007	66-250	905-1006	Cabo Verde	Estado de Jalisco
Lorenzo	Huracán 1 y Depresión Tropical	25-28/Sep./2007	46-129	993-1009	Golfo de México	
Arlene	Tormenta y Depresión Tropical	28-30/Jun./2011	46-101	993-1007	Bahía de Campeche	
Fernando		25-26/Ago./2013	55-92	1001-1006		
Danielle		18-21/Jun/2016	57-92	1008-1016		
Franklin	Huracán 1, Tormenta y depresión Tropical	6-10/Ago./2017	120-40	981-1008	Mar del Caribe	Estado de Hidalgo
Grace	Huracán 2	13-21/Ago./2021	175	962	Cabo Verde	Centro de la República Mexicana

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2022.

Tabla II.2.6.4 *Trayectorias ciclónicas que han cruzaron el estado de Hidalgo a partir de 1852 al 2021 provenientes de la cuenca del Pacifico.*

NOMBRE	CATEGORÍA	FECHA	VIENTO (kM/h)	PRESIÓN (BAR)	LUGAR GEOGRÁFICO DONDE SE ORIGINÓ	LUGAR GEOGRÁFICO DONDE CONCLUYÓ
Iva	Huracán 1, Tormenta y depresión Tropical	9-11/Jun/1961	138-46		Norte del Océano Pacifico	Estado de Hidalgo
Cosme		18-23/Jun/1989	45-129	980-1009	Norte del Océano Pacifico	Estado de Tamaulipas

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2022.

De las tablas anteriores se observa qué en el estado de Hidalgo, han cruzado 15 trayectorias ciclónicas originarias del océano Atlántico y 2 trayectorias provenientes del océano Pacifico, en general los impactos que ha tenido el estado, han sido desde depresiones tropicales hasta huracanes categoría 2, esto debido a que estas trayectorias al tocar tierra e introducirse en el continente pierden fuerza y se debilitan, inclusive disipándose muy cerca o en dentro del estado.

Método de Trabajo

Para el desarrollo del nivel de información ciclones tropicales, se tomó como base las trayectorias de los ciclones (en todas sus categorías), que han afectado al estado de Hidalgo, realizando un análisis estadístico para determinar su comportamiento histórico, cuáles han tenido mayor afectación, así como determinar la probabilidad de ocurrencia.

Debido a la gran cobertura territorial que tiene este fenómeno, se manejara primeramente de manera estatal para posteriormente analizar el resultado obtenido en el municipio de Huichapan (**Figura II.2.6.1**). Para la elaboración de los mapas de peligro en este trabajo, se realizó un análisis más detallado con las siguientes características:

La malla de trabajo a nivel estatal es de menor escala (40 x 40 km), lo que permite obtener resultados afinados y con mayor detalle. Se abarcaron todos los eventos ciclónicos, para obtener el grado de peligro derivado de la incidencia de las trayectorias ciclónicas.

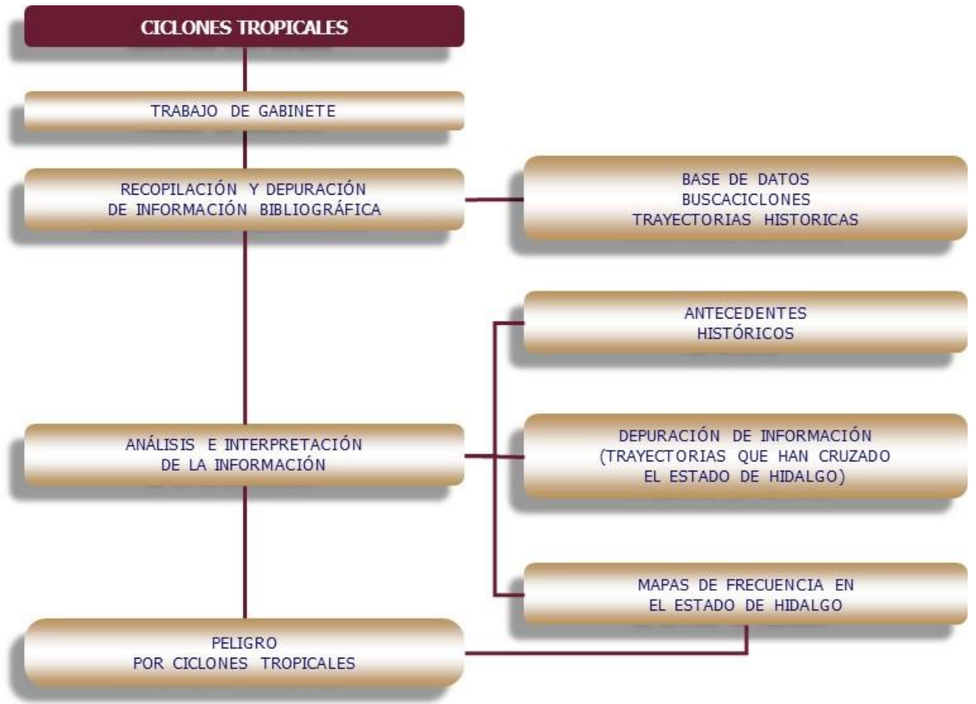


Figura II.2.6.1 *Diagrama de método de trabajo para ciclones tropicales.*

Análisis de peligro

De acuerdo al Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2021a), el municipio de Huichapan presenta una clasificación de peligro muy bajo, así como, los municipios que lo rodean, con la excepción de los municipios que colindan al norte (Tequisquiapan, Qro y Tecozautla, Hidalgo) que presentan un grado de peligro bajo, adicionalmente, la probabilidad de ocurrencia en el municipio de acuerdo al CENAPRED, 2016, en el periodo que comprende de 1949 a 2022, es nulo, es importante mencionar que la probabilidad del huracán categoría 2 deberá aumentar en consecuencia de la presencia del huracán Grace, información que en la actualidad no se cuenta.

Para este trabajo se realizaron dos análisis de acuerdo a las trayectorias de ciclones que han cruzado el Estado de Hidalgo, en el primero se obtiene la frecuencia con que las trayectorias cruzan el estado, mientras que el segundo determina el grado de peligro en la que se encuentra el estado por el fenómeno de ciclones tropicales.

De acuerdo al análisis realizado, la frecuencia con la que alguna trayectoria cruzó el municipio de Huichapan, es baja en los 172 años (1849-2022) que se tiene de registro, la trayectoria que se han presentado en el municipio es: una tormenta tropical (Janet) el 30 de septiembre de 1955 y el Huracán Grace que se disipó muy cerca del municipio con categoría 2 el 20 de agosto del 2021. (**Figura II.2.6.2**).

En lo que respecta al análisis de peligro se determinó que el estado presenta dos niveles, el grado bajo, presente en la porción oriente, centro y nor-oriente del estado de Hidalgo, el resto del estado presenta un grado de peligro muy bajo, área en donde se localiza el municipio de Huichapan (**Figura II.2.6.3**). Este análisis no exime al municipio de otros fenómenos relacionado a los ciclones tropicales, en particular a las lluvias extremas, inundaciones y vientos que estos generan.

Conclusiones

Históricamente el estado de Hidalgo ha recibido en muy pocas ocasiones y directamente los embates de alguna trayectoria ciclónica, esto debido a la ubicación geográfica en la que se encuentra, sin embargo, las consecuencias indirectas de estos eventos son reflejados con fuertes vientos, altas precipitaciones lo que conlleva a inundaciones en zonas bajas o de cuenca.

Las condiciones de formación de este tipo de eventos dependen de al menos tres características: Un disturbio atmosférico preexistente (onda tropical) con tormentas embebidas en el mismo; temperaturas oceánicas cálidas, al menos 26 °C, desde la superficie del mar hasta 15 metros por debajo de ésta; y vientos débiles en los niveles altos de la atmósfera que no cambien significativamente en dirección y velocidad.
De acuerdo al análisis estadístico realizado se determinó que en el Estado se han presentado 15 trayectorias originarias del océano Atlántico y 2 trayectorias provenientes del océano Pacifico, Para el primer caso el registro que se tiene es desde 1851 al 2022, mientras que para el segundo caso el registro se tiene a partir de 1949 al año 2022.

De los 17 eventos que han cruzado el estado proveniente de ambas cuencas, dos han alcanzado huracán categoría 2; cinco ciclones huracán categoría 1; siete eventos con una categoría de tormenta tropical y con una trayectoria de depresión tropical tres. La trayectoria más recurrente que ha cruzado el estado ha sido los de tormenta tropical, debido a que al entrar al continente los clasificados con categoría uno y dos se degradan rápidamente en esta área geográfica. Estos eventos se han presentado 4 en el mes de junio, 9 en agosto y 4 en el mes de septiembre.

La frecuencia y peligro resultante de los análisis realizados para el municipio de Huichapan es de grado bajo y muy bajo respectivamente, esto derivado de las intensidades que se degradan al tocar tierra, sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de que exista la presencia de eventos con categorías mayores a los registrados en la actualidad.

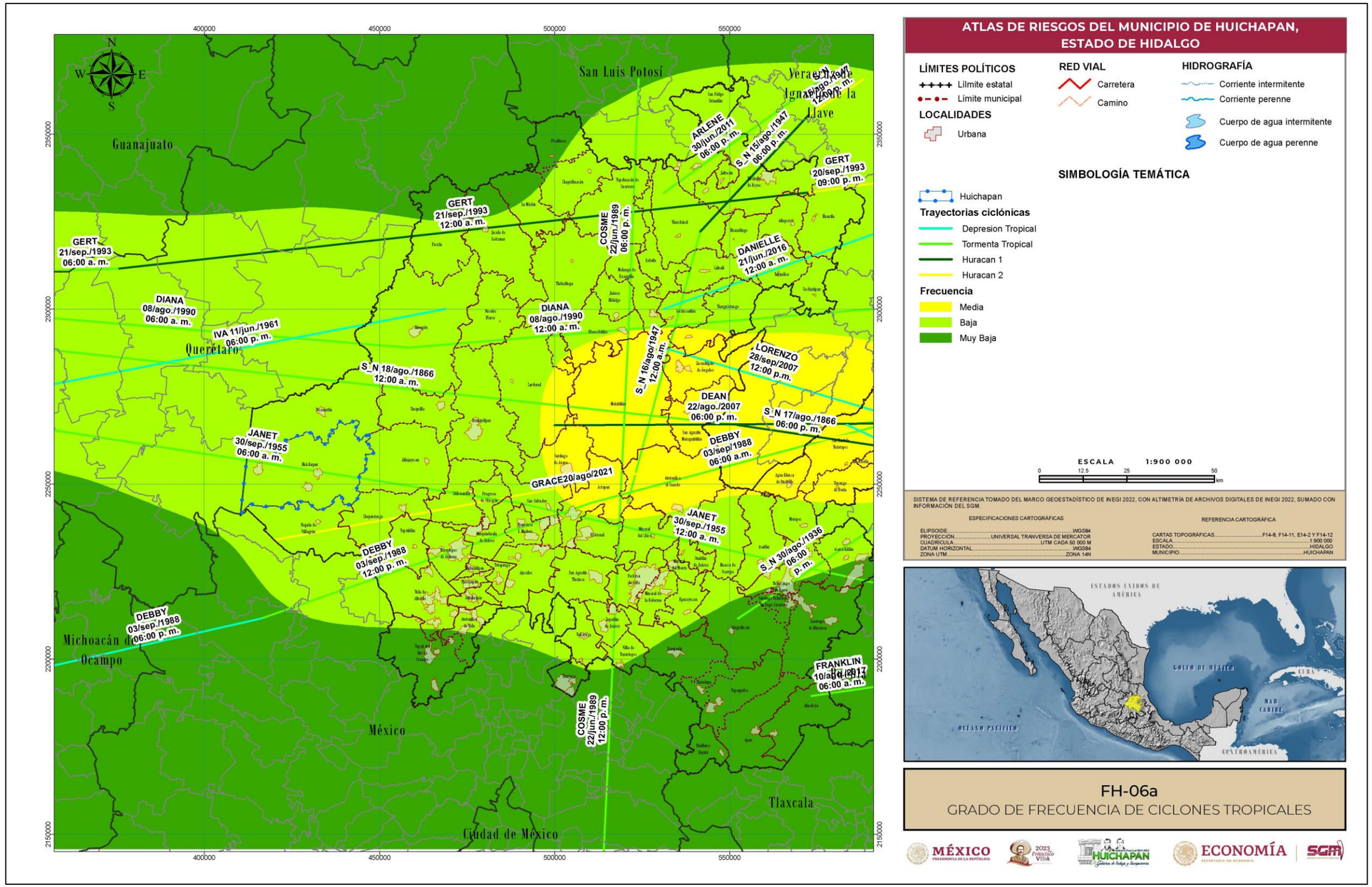


Figura II.2.6.2 *Frecuencia de trayectorias de ciclones tropicales en el estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia SGM, 2021 con datos del CENAPRED, 2017.*

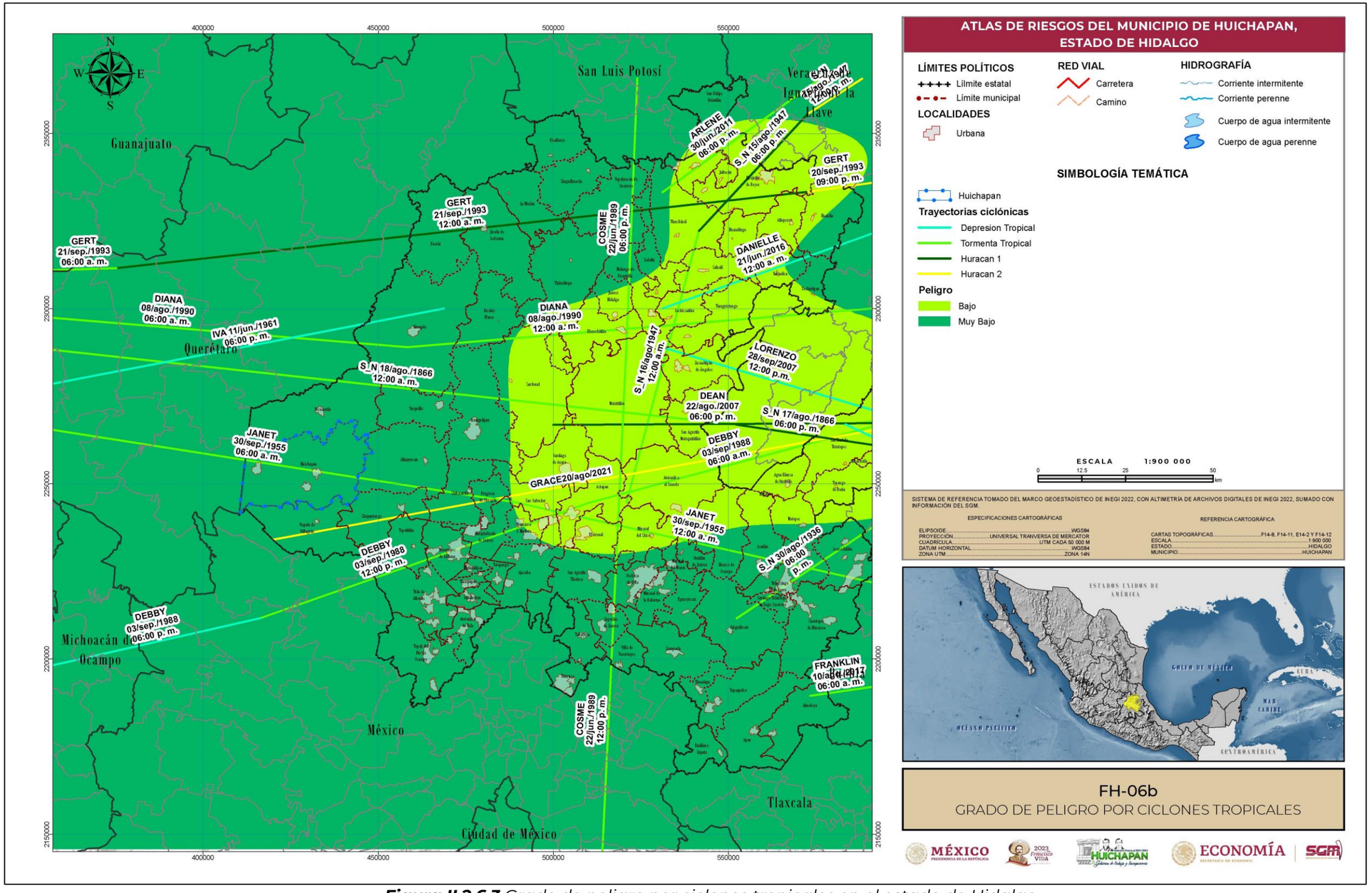


Figura II.2.6.3 *Grado de peligro por ciclones tropicales en el estado de Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia SGM, 2021 con datos del CENAPRED, 2017.*

II.2.7 Precipitación y Lluvias extremas

La precipitación en el ámbito de la meteorología y en término coloquial es el agua que cae a la superficie terrestre desde la atmósfera, siendo las más comunes lluvia, nieve o granizo. Esta fase del ciclo hidrológico es la principal causa de las inundaciones severas en el momento de existir un exceso de lluvia, lo que puede provocar un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay, y genera daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2021a). Las inundaciones por lo general se suscitan durante la temporada de lluvias que comienza en mayo y termina en el mes de noviembre, presentándose además lluvias atípicas sin que pertenezcan a esta temporada. El exceso de precipitación es una las mayores causas naturales para que ocurran inundaciones, principalmente durante la época de ciclones que es de mayo a noviembre.

Una práctica común es el asentamiento de viviendas cerca o sobre los cauces de ríos, arroyos o cuerpos de agua y en llanuras de inundación, lo que los hace vulnerables durante eventos de lluvias torrenciales, llegando en ocasiones hasta la pérdida de viviendas incluso de descensos.

Otra de las causas de las inundaciones es por fallas de obras hidráulicas, como el caso de una presa o bordo, que en caso de una lluvia torrencial o atípica supere si nivel máximo de agua extraordinaria lo que provoque desbordamientos provocando inundaciones aguas abajo de la cortina de almacenamiento.

Antecedentes

En México los efectos devastadores de las inundaciones y precipitaciones, han cobrado 451 vidas, entre los años de 2010 a 2018, 50 decesos anuales. En pérdidas económicas se calcula en 74,400 millones de pesos, con un monto promedio anual de 8,260 millones de pesos (CENAPRED, 2021b) (**Tabla II.2.7.1**)

Tabla II.2.7.1 *Impacto socioeconómico provocado por lluvias e inundaciones en México y en el estado de Hidalgo.*

MÉXICO			HIDALGO			
Año	Decesos	Daños pérdidas (millones de pesos)	Decesos	Población afectada	Viviendas dañadas	Daños pérdidas (millones de pesos)
2010	100	$29,051	0	58	0	0
2011	85	$15,758	1	3401	680	1.8
2012	32	$1,096	0	300	60	0.9
2013	37	$2,260	ND	ND	ND	ND
2014	56	$2,082	0	6	0	0
2015	16	$10,679	1	281	322	387.5
2016	70	$8,571	1	41	8	1
2017	26	$512	0	0	0	0
2018	29	$4,399	0	0	0	0
2019*	35	$1,894	2	2	0	-
2020*	42	$20,996	0	170	42	0.63
2021*	25	$1,626	0	15,042	5,933	955.02
Total	553	$98,924	5	1,9301	7,045	1,346.85

*Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2021b y.*ANR, 2023*

Debido a la ubicación geográficas y altitud, el municipio de Huichapan la lluvia es escasa, sin embargo, se han presentado eventos extraordinarios como los expuestos en el apartado de antecedentes, ocasionando daños en localidades como Tlaxcalilla, San José entre otros lugares, sin embargo, las lluvias traen consigo grandes beneficios principalmente en los lugares que padecen sequías como es el caso de Huichapan.

El evento más reciente ocurrió en abril de 2022 en donde derivado a las intensas lluvias se generó un fuerte corriente en el Barrio del Calvario (cabecera municipal) provocando una importante agua acumulada en el sitio.

Conceptos básicos

El concepto de precipitación se utiliza para distinguir cualquier estado del agua que cae desde las nubes a la superficie de la tierra. La precipitación que ocurre en una zona no es constante y el escurrimiento que se genera depende en gran medida de la extensión donde tiene lugar y de sus características (ángulo de laderas, longitud de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.)

La precipitación se mide como una altura o lámina; de esta manera es posible comparar la altura de la lluvia en diferentes puntos de una cuenca, o bien, obtener un promedio; también, al ser una variable independiente del área, permite convertir la lluvia en volumen precipitado para cualquier subaérea dentro de la cuenca que

se analice, la lluvia se clasifica de acuerdo a la intensidad con la que se precipita, así como por cantidad de agua acumulada en 24 horas (**Tabla II.2.7.2**).

Tabla II.2.7.2 *Clasificación de precipitación de acuerdo a su intensidad.*

TIPO DE LLUVIA	CARACTERÍSTICAS
Llovizna	Gotitas de agua con peso suficiente para caer, las cuales tienen entre 0.2 y 0.5 mm en diámetro.
Gotas de lluvia	Gotas de agua con diámetro 0.5 mm
Lluvia ligera	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 0.1 a 5 mm.
Lluvia moderada	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 5 a 20 mm.
Lluvia fuerte	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 20 a 70 mm.
Lluvia intensa	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 70 a 150 mm.
Lluvia torrencial	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, mayor a 150 mm.
Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2010.	

Método de trabajo

De acuerdo a la base de datos de la CONAGUA (2023), se realizó un análisis para determinar los reportes de las estaciones climatológicas a analizar, esto de acuerdo a la ubicación geográfica y el espacio temporal, en la cual se obtengan datos para elaborar las interpolaciones que cubran el municipio de Huichapan. En la **Tabla II.2.7.3** se presenta las estaciones utilizadas para el análisis estadístico, con las cuales se cubrió un espacio temporal de 32 años (1986-2017).

Tabla II.2.7.3 *Estaciones utilizadas para el análisis de precipitación del municipio de Huichapan.*

CLAVE DE ESTACIÓN	NOMBRE	COORDENADAS		Altitud m s. n. m.
		X	Y	
13012	Huichapan	432363.80	2252493.12	2120
13064	Chapantongo	457075.43	2243471.70	2120
13083	Presa Madero	424569.96	2245885.19	2172
13148	Xitha	465850.84	2282274.32	2081
13156	Tlaxcalilla	415584.71	2253153.96	2200
15190	Presa San Ildefonso	400077.37	2233624.86	2290
22029	Huimilpan	366361.81	2254484.85	2271
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.				

En base a lo anterior, se determinó los meses de mayor intensidad de lluvia, así como los meses de estiaje.

Mapas de precipitación

Utilizando el método de interpolación Media Ponderada por el Inverso de la Distancia, IDW (Inverse Distance Weighted), se realizó el mapa de precipitación acumulado anual en el periodo determinado. Este método predice el valor de un lugar en donde no se tiene datos de muestreo y utiliza los valores de los lugares donde se tiene información, en este caso alrededor del municipio, dando como resultado las isolíneas con valores de la precipitación de acuerdo a las estaciones analizadas.

Periodos de retorno (TR)

El análisis incorporó los datos de siete estaciones meteorológicas: 13012, 13064, 13083, 13148, 13156, 15190 y 22029; información que fue obtenida a partir de los archivos históricos 1986-2017 de la CONAGUA (2023).

Las estaciones climatológicas fueron ubicadas estratégicamente para lograr un análisis estadístico y eficaz. El criterio de la selección de las estaciones fue basado en registros mayores a 30 años **(Figura *II.2.7.1*)**.

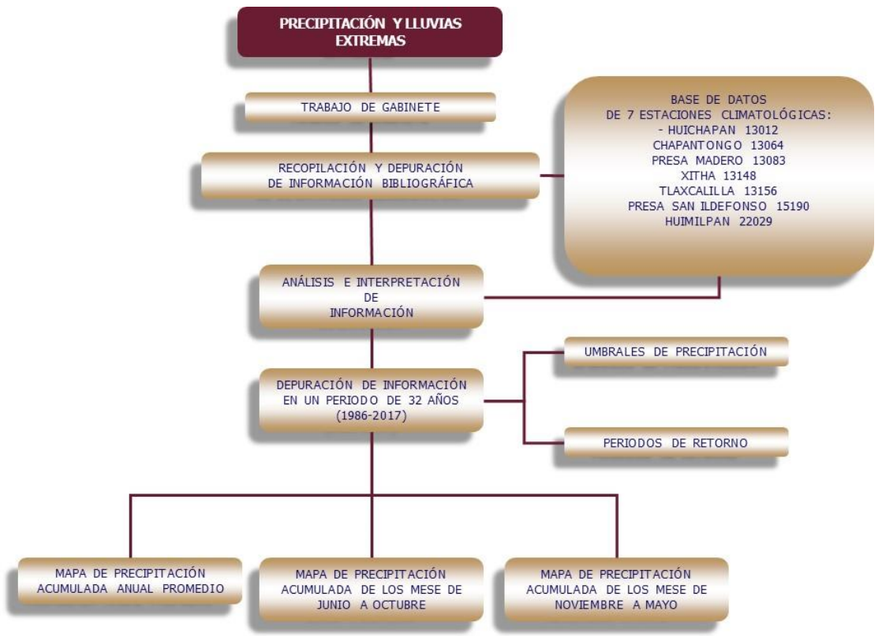


Figura II.2.7.1 *Diagrama de método de trabajo para precipitación y lluvias extremas.*

El método usado para el análisis estadístico se basa en la Función de Distribución de Gumbel. Primeramente, se determinaron valores propios de cada una de las estaciones meteorológicas que la componen, es decir, se realizó la sumatoria de cada uno de los meses. Para al final realizar un promedio de todos los años para cada una de las estaciones, valor que estadísticamente funciona como una media estadística.

$$Media = \bar{x} \ldots (1)$$

Continuando con el método se determinó la desviación estándar de cada uno de los datos por estación meteorológica, dato que será de utilidad para realizar la ecuación correspondiente.

$$\text{Desviación estándar} = S \ldots (2)$$

Siguiendo con el proceso se realizó el cálculo de *u* y *d*

$$u = \bar{x} - 0.450047S \ldots (3)$$

$$\frac{1}{d} = 0.779696S \ldots (4)$$

Mismos que sirvieron para la formula logarítmica en donde interviene la función de x, F(x).

Con respecto al PR en un determinado número de años se procedió a calcular F(x), siendo T los años en donde se desea conocer su PR.

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T} \ldots (5)$$

Por último, se determinó la precipitación pluvial por año en mm para cada Periodo de Retorno (años), en base a la siguiente ecuación.

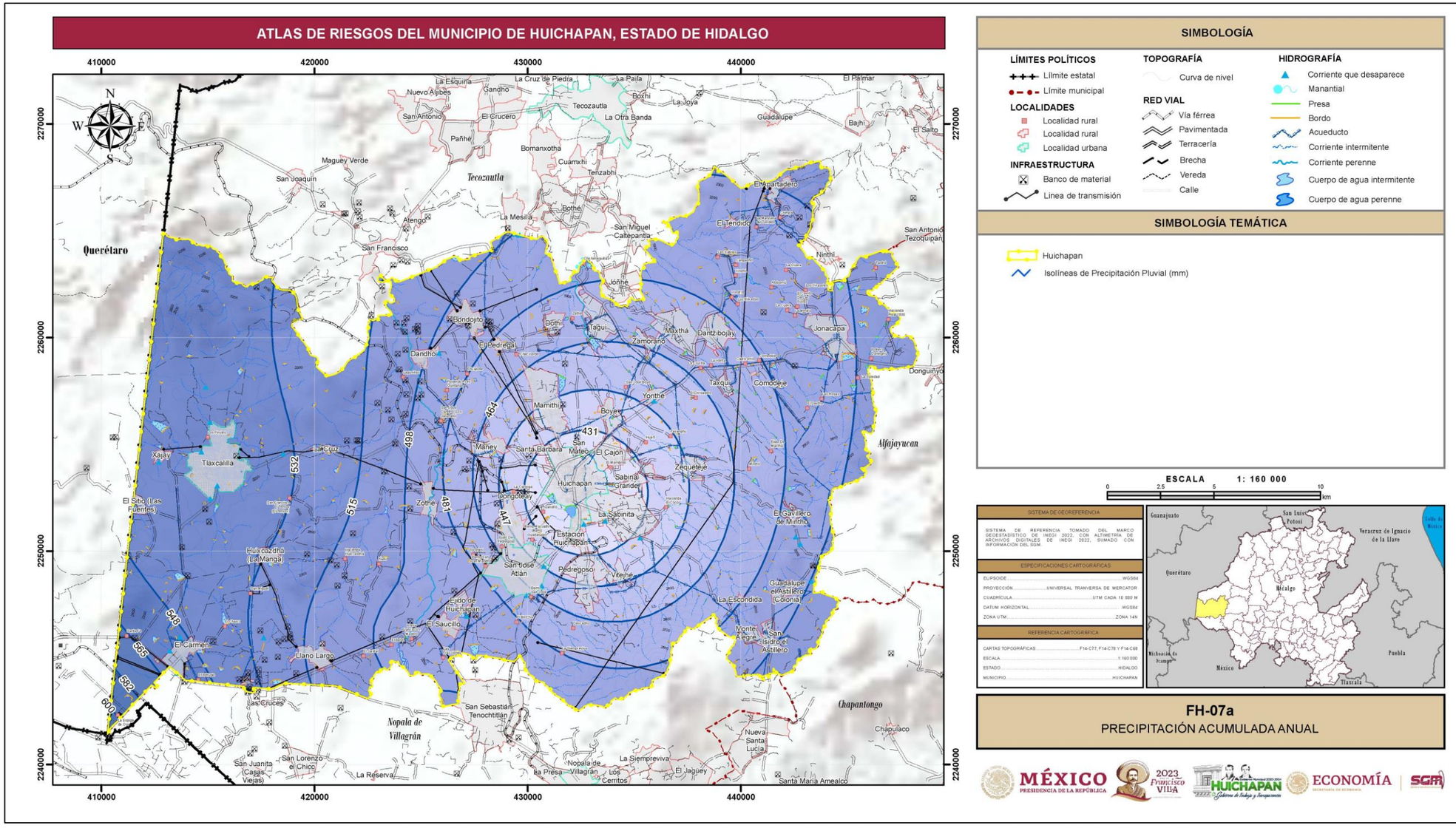
$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(x))}{d} \ldots (6)$$

Donde x es igual al valor máximo esperado para cada Periodo de Retorno.

Análisis de la información

Con los resultados de la información de las estaciones anteriormente analizadas se realizó la interpolación para determinar los valores de precipitación en el municipio de Huichapan, la precipitación varía de 430mm en la porción central (cabecera municipal) a 500mm en la porción oriente y 600mm en la porción sur-poniente (**Figura II.2.7.2**).

En temporada de estiaje, que comprende los meses de noviembre a mayo los valores de precipitación oscilan en el rango de 105 a 120mm, lo que representa el 24% de la precipitación anual **(Figura II.2.7.3)**, mientras que en temporada de lluvias de junio a octubre el rango oscila entre 320 a 480mm, representando el 76% de la lluvia anual en el municipio **(Figura II.2.7.4).**



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

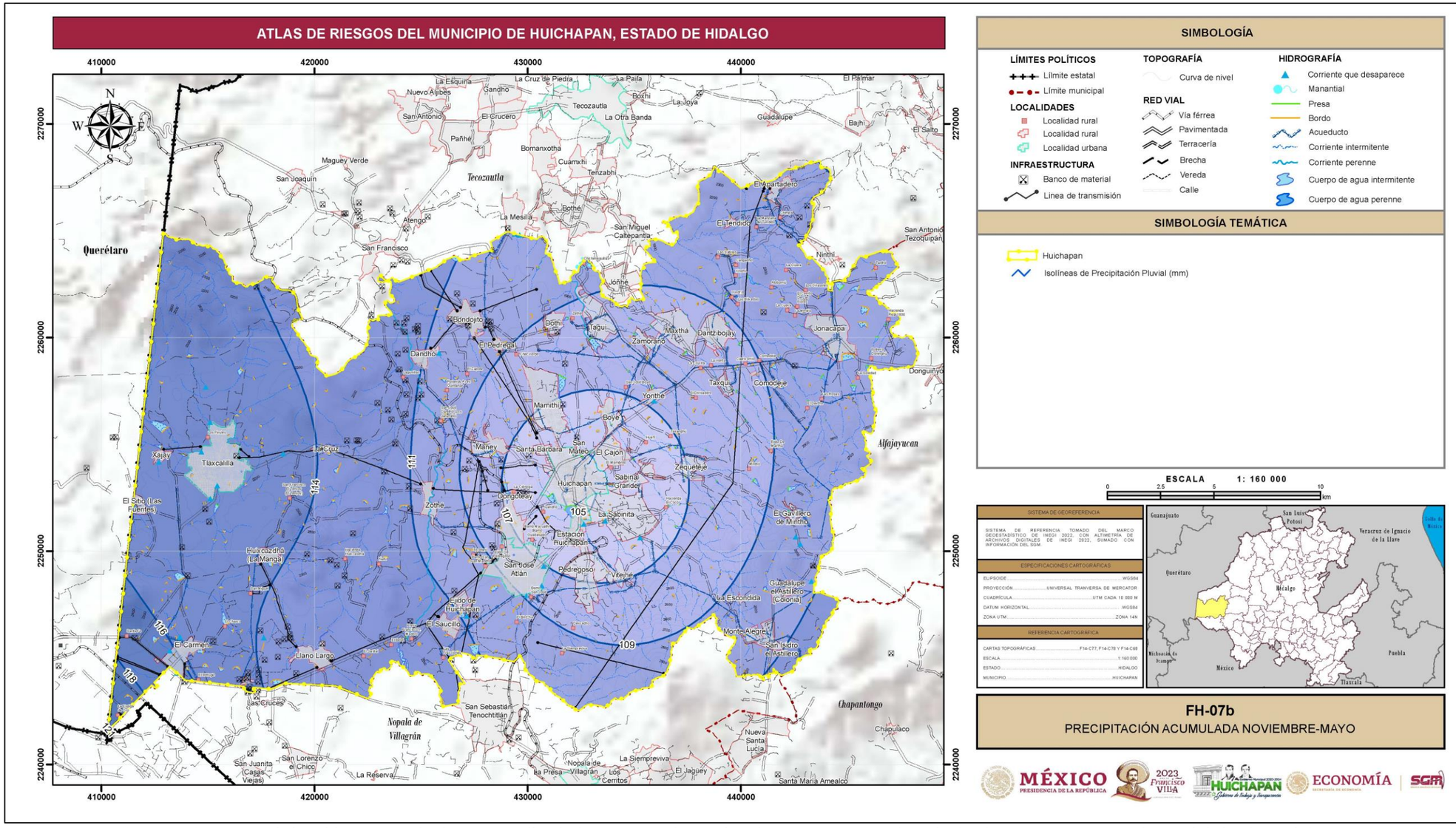
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07a
PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL

Figura II.2.7.2 *Precipitación acumulada promedio anual en el periodo de 1986 a 2017 en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

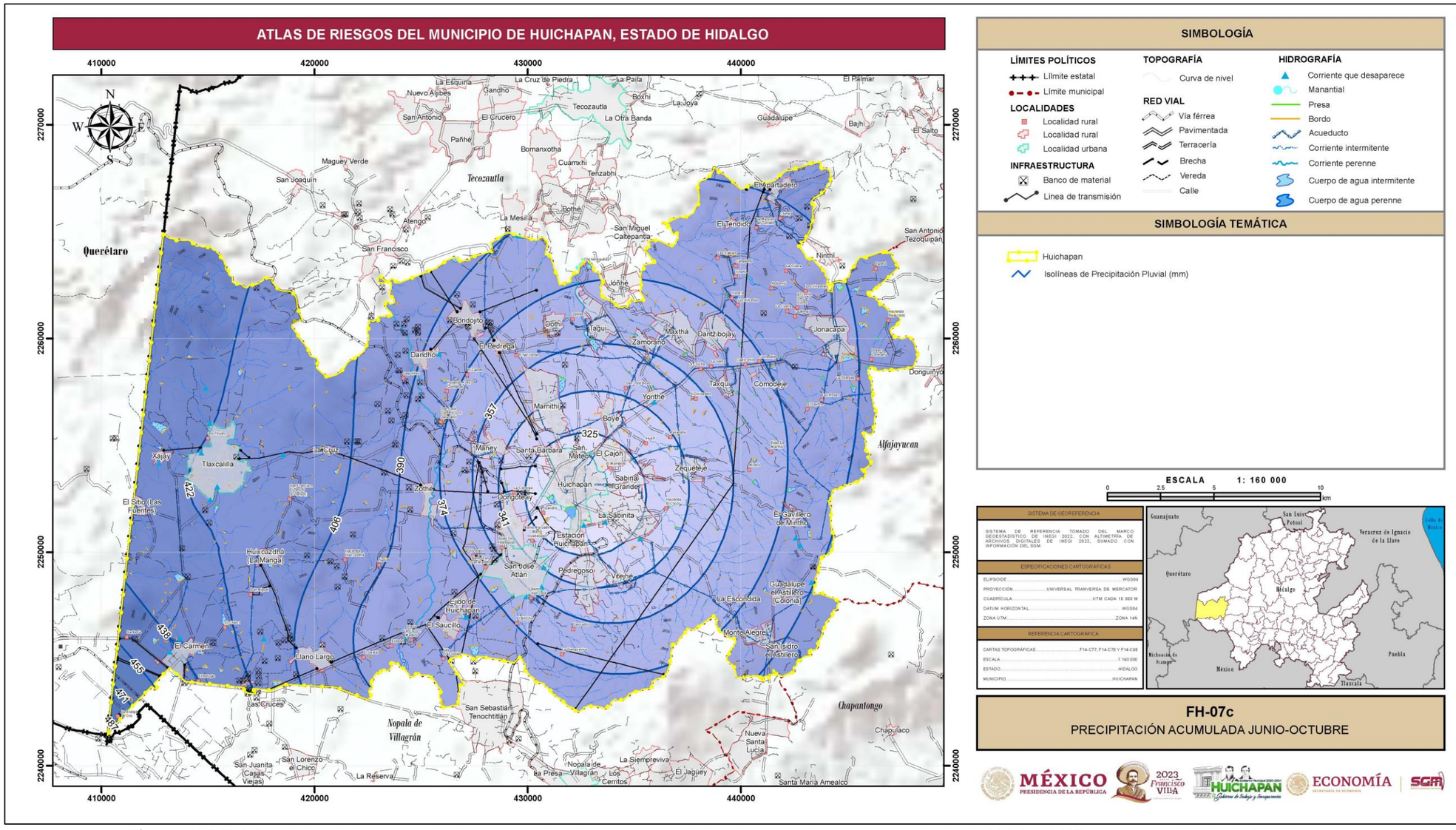
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07b
PRECIPITACIÓN ACUMULADA NOVIEMBRE-MAYO

Figura II.2.7.3 *Precipitación acumulada promedio de los meses de noviembre a mayo en el periodo de 1986 a 2017 en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07c
PRECIPITACIÓN ACUMULADA JUNIO-OCTUBRE

Figura II.2.7.4 *Precipitación acumulada promedio de los meses de junio a octubre en el periodo de 1986 a 2017 en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

Estimación de umbrales de precipitaciones extremas

Los umbrales de precipitación de lluvias extremas tiene como objetivo determinar un límite mínimo en el cual la precipitación pluvial se considere extrema, de acuerdo a la distribución de probabilidad de la serie de datos diarios de precipitación de las estaciones utilizadas, con esta información se calcula la estadística con el fin de establecer un criterio común para determinar la "rareza" de los montos de precipitación acumulados en 24 horas, cuyos resultados pueden ser de utilidad para la emisión de avisos meteorológicos que ayuden a las autoridades a dar conocimiento al público en general sobre la peligrosidad de este fenómeno meteorológico adverso previsto o en desarrollo. Según el Servicio Meteorológico Español (AEMET), un fenómeno meteorológico adverso tiene como característica su "rareza" entendida en términos estadísticos como "menos probable". Cuanto menor sea esta probabilidad, es muy probable que menos estén preparadas las poblaciones afectadas para enfrentarse a sus efectos (SENAMHI, 2014).

De acuerdo con el IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) un fenómeno meteorológico extremo es un evento poco común en un lugar y momento determinado (Climate Change, 2007). Las definiciones de raro varían, pero en general, hay consenso de que un fenómeno meteorológico extremo normalmente puede ser más anómalo que el percentil 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada, constituyendo así un índice climático de lluvias extremas (SENAMHI, 2014).

De acuerdo a IPPC y los criterios del STARDEX (Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European Regions), indican que las precipitaciones que superan el percentil 90, calculado de los días con precipitación acumulada diaria mayor a un mm (P > 1 mm). Es decir, se consideran días lluviosos a aquellos en que se supera el percentil 90 (SENAMHI, 2014).

Para el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) en sus definiciones extremas indican como días muy lluviosos (muy fuertes) a aquellos en que la precipitación supera el percentil 95 de los días con lluvia, mientras que serán extremadamente lluviosos (extremadamente fuertes) los que superan el percentil 99 (SENAMHI, 2014, ETCCDI, 2021).

Con respecto a los días moderadamente lluviosos el European Climate Assesment utiliza el percentil 75, para establecer que, a partir de este umbral, es decir a partir de lluvias diarias superiores a este percentil, son días moderadamente lluviosos hasta el umbral superior.

De acuerdo al procedimiento de SENAMHI, se toma el criterio de considerar "lluvia diaria" a las precipitaciones acumuladas en 24 horas mayores a 0.1 mm, (P > 0.1 mm), para todos los cálculos realizados. También se indica que no se pretende normalizar los datos diarios de lluvia, esto debido a que es conceptualmente errado tratar una variable discreta como si fuera continua.

Adicionalmente estos índices se justifican debido a que sólo existe información disponible de acumulados de precipitación en 24 horas y no de intensidades de precipitación, lo que facilita la tarea de establecer umbrales.

SENAMHI indica que la clasificación no pretende brindar umbrales de intensidad de lluvias y sus impactos específicos respecto de alguna actividad económica u otros que deben ser objeto de estudios específicos y se trata más de una clasificación de "abundancia", que, de intensidad orientada a obtener un criterio común a la hora de clasificar el total acumulado en 24 horas, más que evaluar la intensidad de la precipitación, sin embargo, indirectamente lo hace. Los valores de precipitación debajo del percentil 75 se consideran como usuales **(Tabla II.2.7.4)**.

Tabla II.2.7.4 *Caracterización de extremos de precipitación de acuerdo al número de percentil.*

UMBRALES DE PRECIPITACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS EXTREMAS
P/día > 99p	Extremadamente lluvioso
95p <P/día =99p	Muy lluvioso
90p <P/día =95p	Lluvioso
75p <P/día =90p	Moderadamente lluvioso
Fuente: Elaboración propia con información de SENAMHI, 2014.	

P/día es la cantidad acumulada de precipitación en 24 horas.
99p, 95p, 90p, 75p, son los percentiles expresados en %

El procedimiento para el manejo estadístico de la información de la base de datos de las estaciones meteorológicas está basado en el SENAMHI, 2014:

1. Excluir del cálculo el valor más alto de la serie de la información obtenida de cada una de las estaciones meteorológicas.
2. Cuando en la serie histórica se observan valores atípicos, es necesario verificar su impacto en los parámetros estadísticos de la serie debido a su presencia.
3. Excluir del cálculo todos los días con trazas y sólo considerar como día con precipitación, cuando P/día > 0.1 mm. Se utiliza la función PERCENTIL.INC en la hoja de cálculo.

4. El periodo analizado en las estaciones utilizadas comprende un periodo de tiempo de 1986 al 2017 (32 años), esto es importante, debido a que ello determina los umbrales, los cuales son resultado de la muestra utilizada.
5. Con los resultados obtenidos se realizará extrapolaciones espaciales que ayudaran a determinar los umbrales en el municipio de Huichapan, sin embargo, a pesar de la alta variabilidad espacial de la lluvia se considera un resultado confiable para los objetivos planteados.

Umbrales de precipitación

Del procedimiento explicado anteriormente, se realizó una interpolación, con la finalidad de obtener los umbrales de precipitación en el área que comprende el municipio **(Figura II.2.7.5)**.

De acuerdo al análisis y a los resultados obtenidos, se considera un día muy lluvioso en la zona cuando se registran valores mayores a 26mm de precipitación al día. Se toma el valor mínimo resultante para generalizar el resto del municipio (**Tabla II.2.7.5**).

Tabla II.2.7.5 *Rango y valores resultantes de los umbrales de precipitación.*

TIPO DE LLUVIA	PRECIPITACIÓN EN 24 H
Extrema	*> a 41 mm*
Muy Lluvioso	*> a 26mm y <= 41mm*
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.	

Periodos de Retorno

El período de retorno (T) es una representación usada comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado.

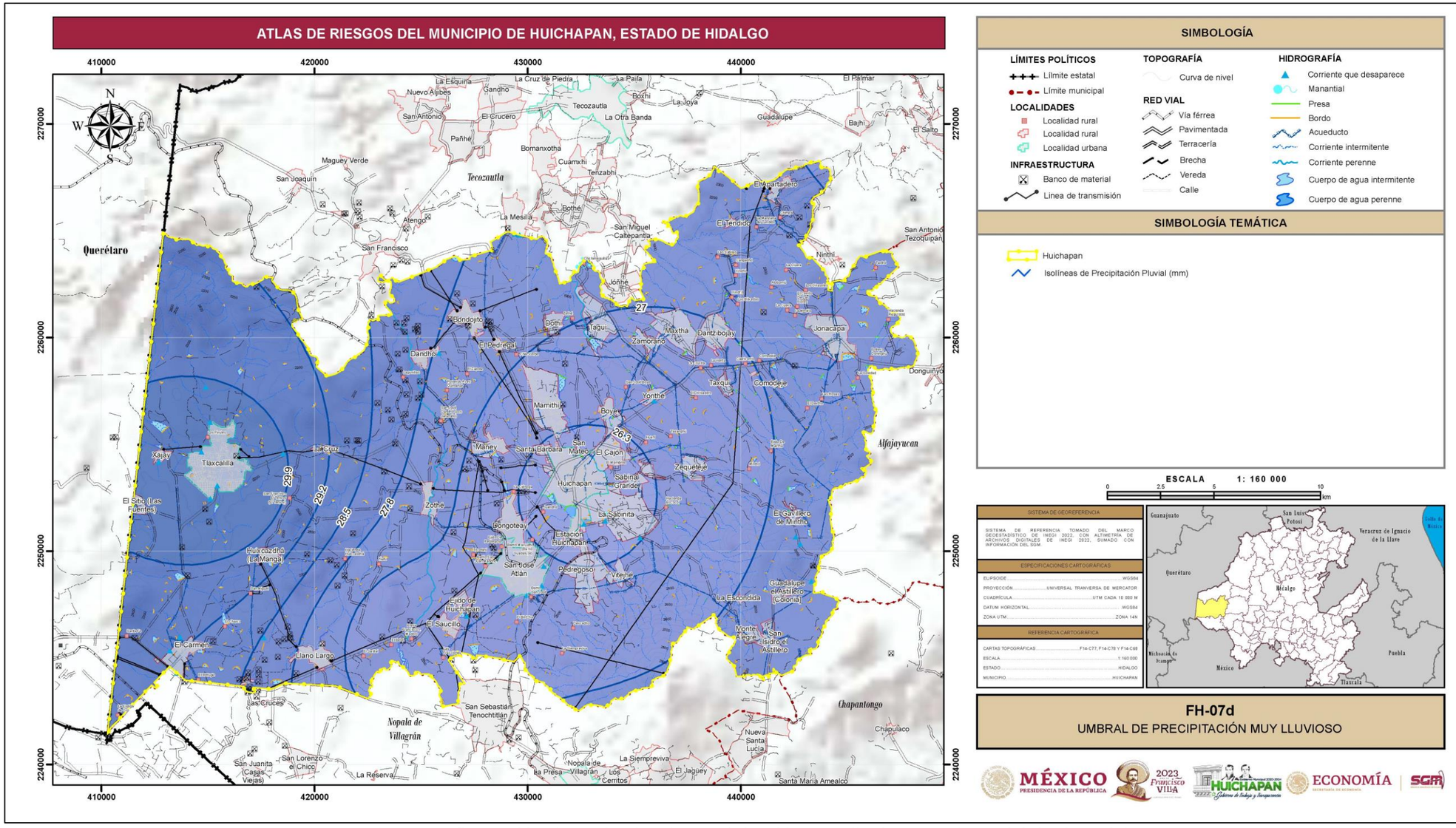
Es un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse anómalo. Generalmente se calcula mediante el ajuste de distribuciones de probabilidad a las variables analizadas, con base en series de valores extremos registrados dentro de períodos iguales y consecutivos; resulta útil para el análisis del riesgo cuando se trata de estimar la probabilidad de que el valor de una variable extrema sea superado, posiblemente conduciendo a la falla de una estructura diseñada para un evento determinado.

El análisis se realizó con la precipitación máxima registrada cada 24 horas en el lapso de 32 años (1986-2017) (**Tabla II.2.7.6**).

Tabla II.2.7.6 *Valores resultantes del cálculo de periodo de retorno de las interpolaciones en las estaciones hidrometeorológicas analizadas.*

PERIODO DE RETORNO	PRECIPITACIÓN ANUAL MM
5 años	*532-704 mm*
10 años	*629-859 mm*
20 años	*715-1,004 mm*
50 años	*806-1,170 mm*
100 años	*871-1,303 mm*
Fuente: Elaboración propia del con datos de la CONAGUA, 2023.	

Los valores mínimos se presentan en la porción centro del municipio y se incrementa hacia la fracción occidente y poniente en donde se presentan los valores de mayor intensidad como se presenta en las **figuras II.2.7.6 a la II.2.7.10**



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

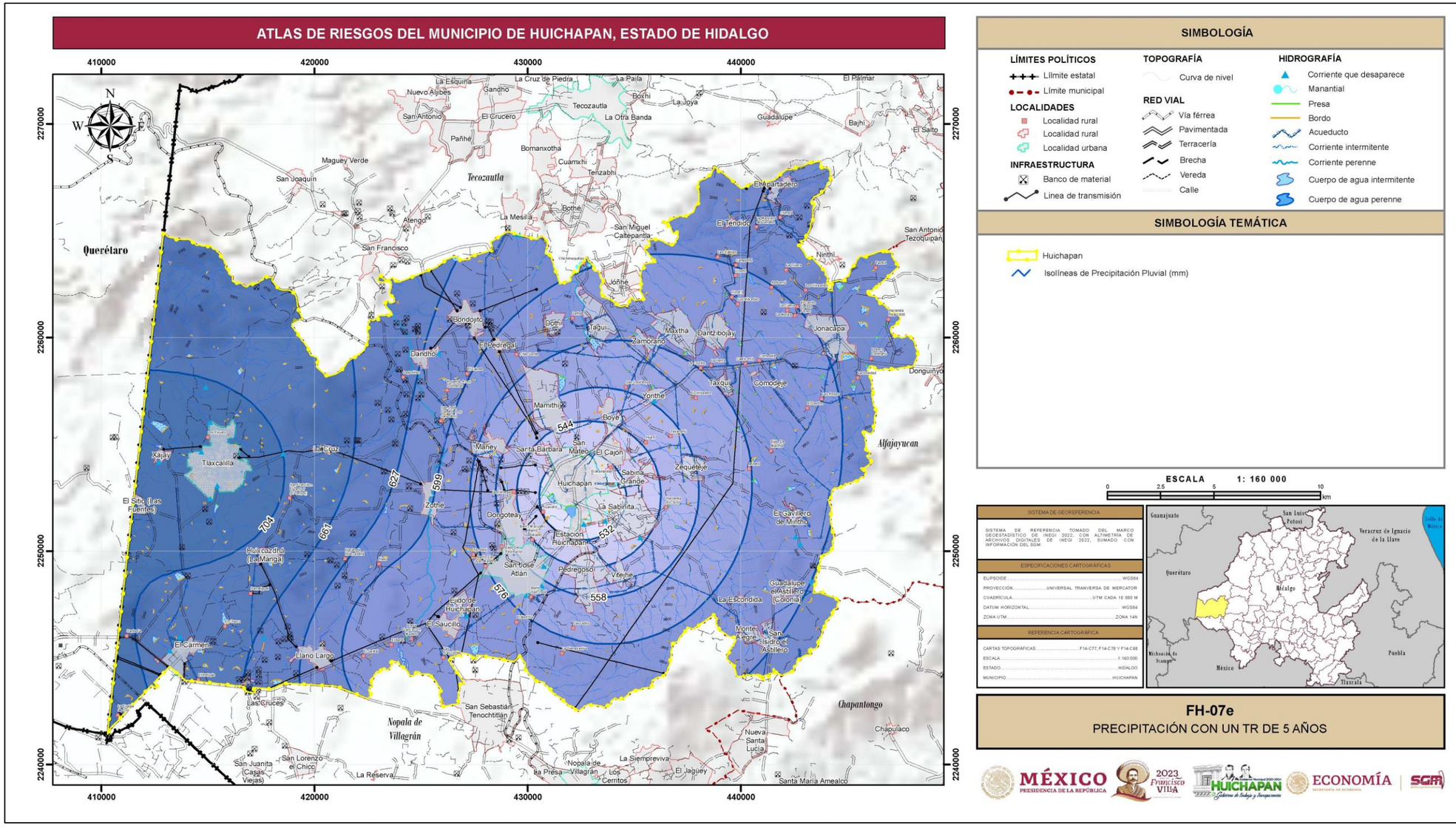
ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07d
UMBRAL DE PRECIPITACIÓN MUY LLUVIOSO

Figura II.2.7.5 *Configuración de umbrales de precipitación muy lluvioso en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRICULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07e
PRECIPITACIÓN CON UN TR DE 5 AÑOS

Figura II.2.7.6 *Valores de los periodos de retorno a 5 años en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

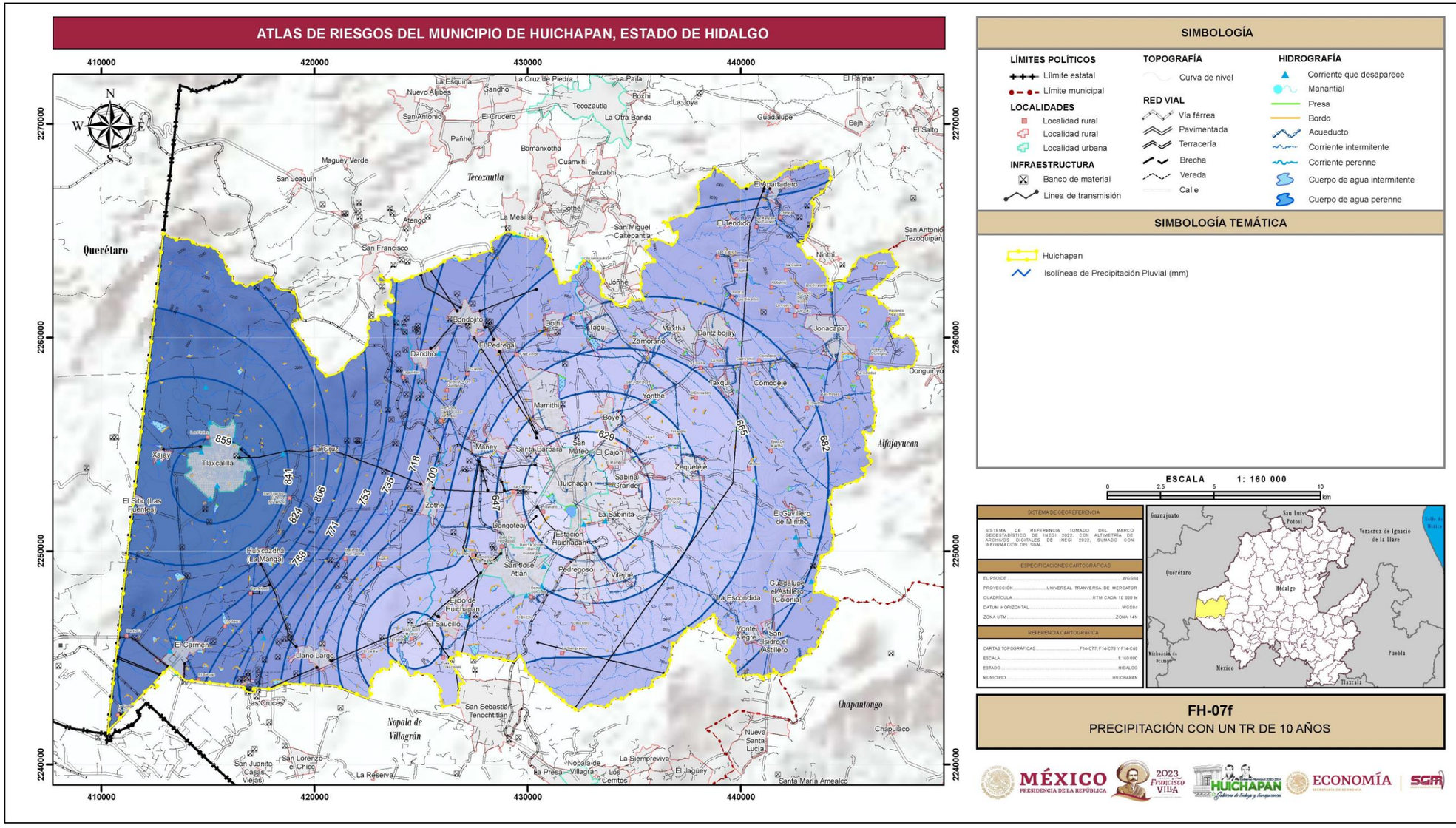
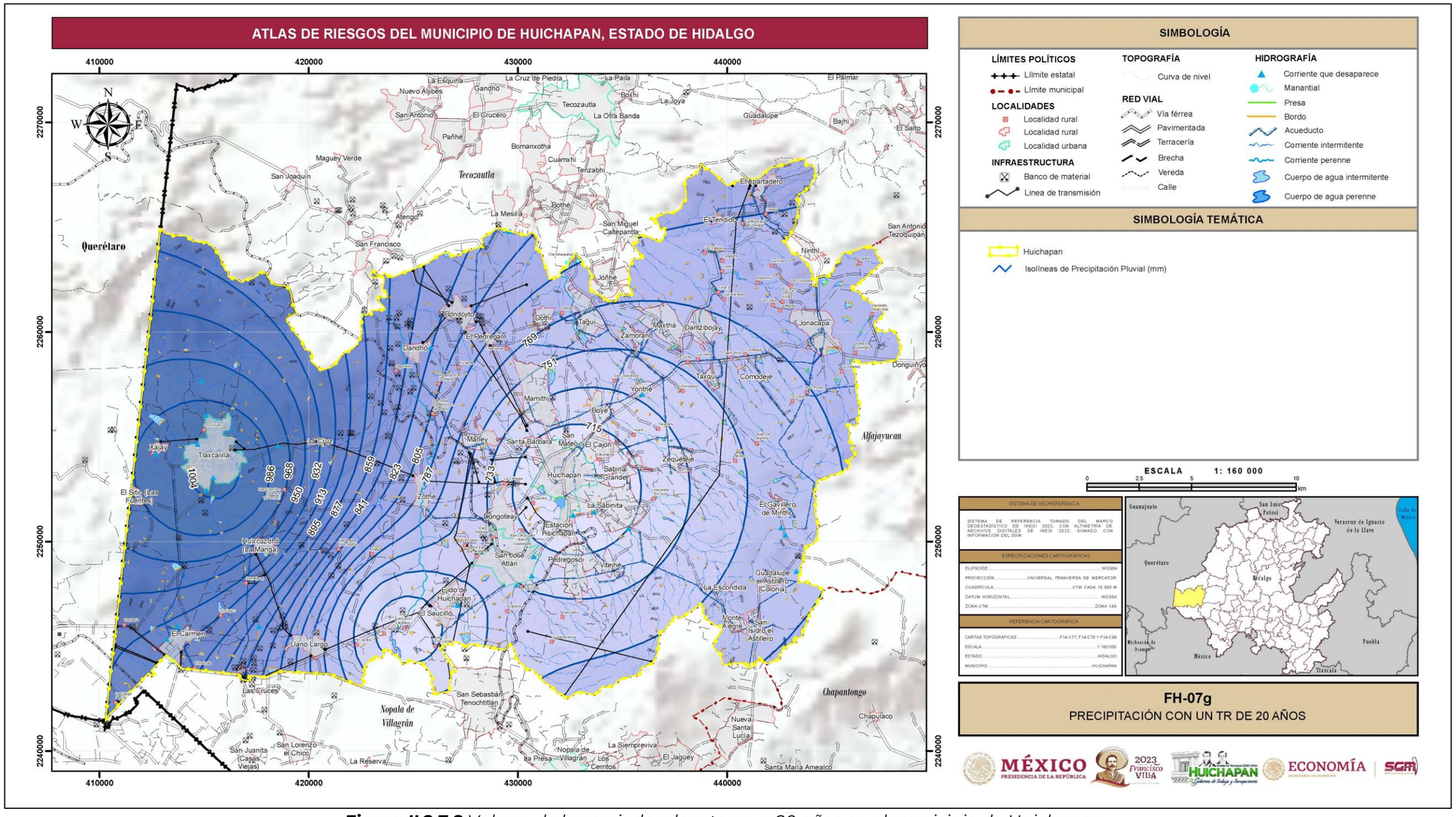


Figura II.2.7.7 Valores de los periodos de retorno a 10 años en el municipio de Huichapan.
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA	
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.	
ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N
REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07g
PRECIPITACIÓN CON UN TR DE 20 AÑOS

Figura II.2.7.8 *Valores de los periodos de retorno a 20 años en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

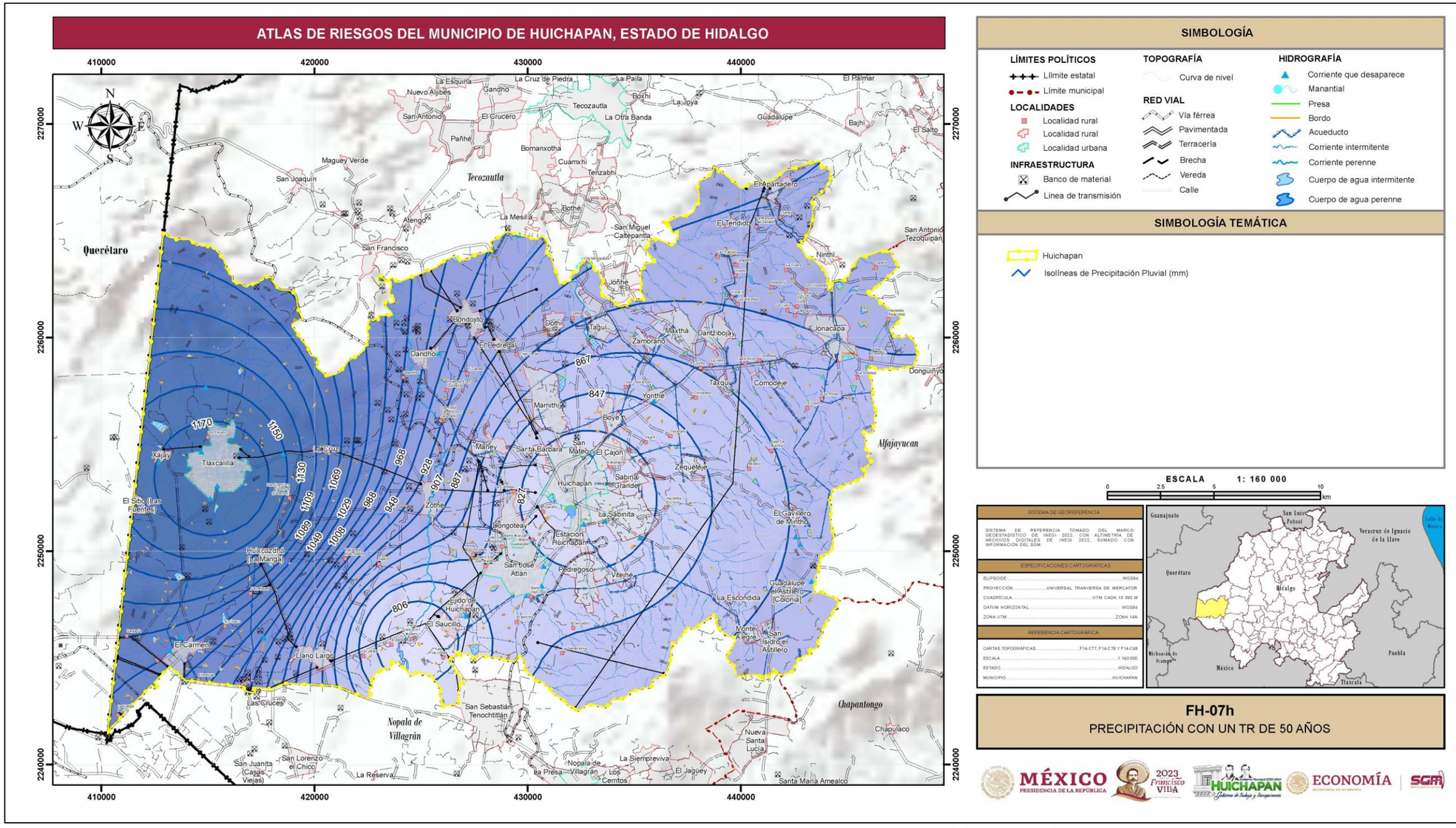
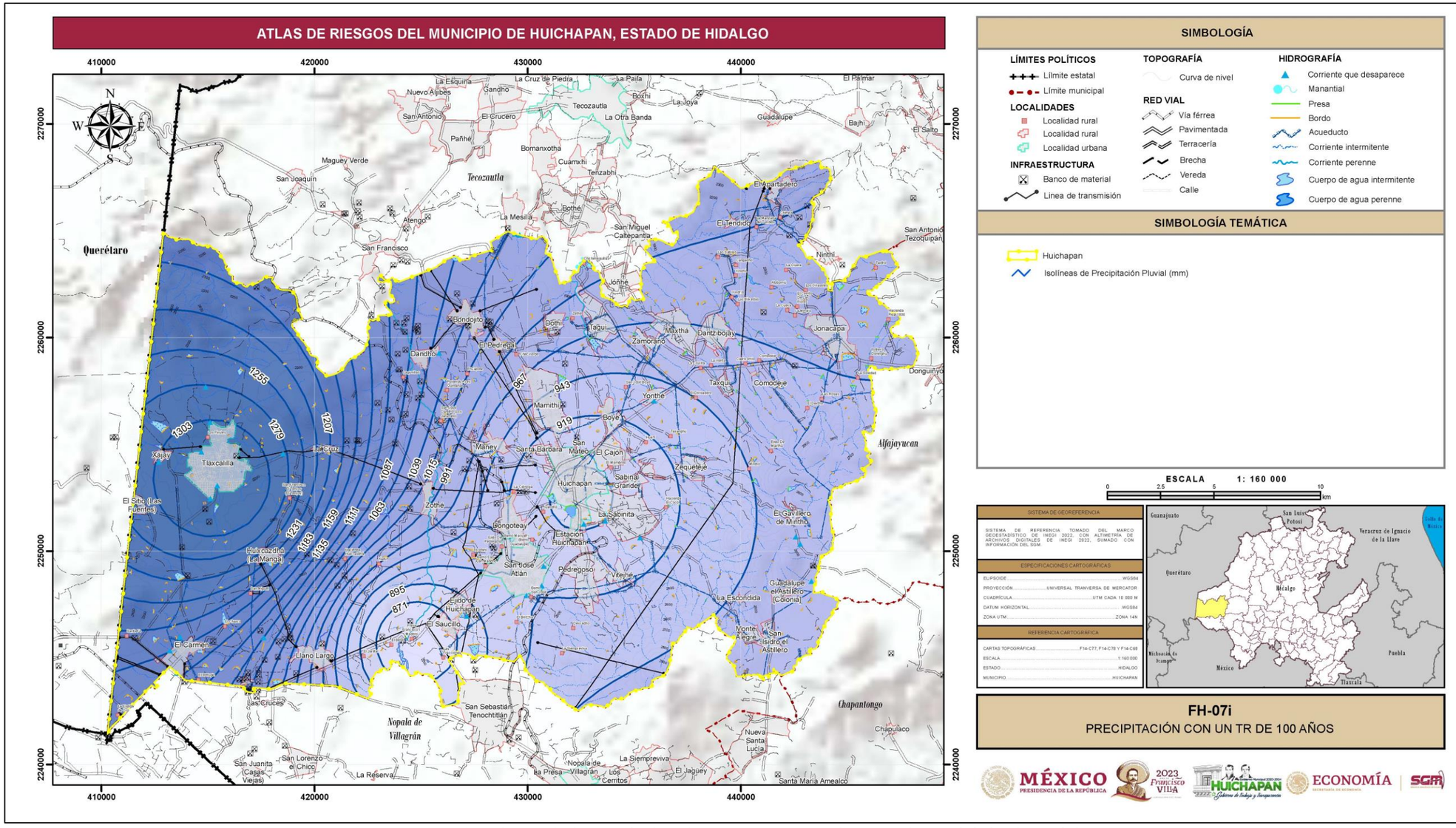


Figura II.2.7.9 *Valores de los periodos de retorno a 50 años en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA
- Huichapan
- Isolíneas de Precipitación Pluvial (mm)

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-07i
PRECIPITACIÓN CON UN TR DE 100 AÑOS

Figura II.2.7.10 *Valores de los periodos de retorno a 100 años en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

II.2.8 Inundaciones

Las inundaciones son uno de los fenómenos de origen hidrometeorológico que más descensos y daños materiales causan a nivel mundial. En un estudio de la revista Nature “Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods” (Tellman, 2020), reveló mediante imágenes satelitales diarias con resolución de 250 m, una estimación de la extensión de las inundaciones y la exposición de la población a 913 grandes eventos entre los años 2000 y 2018, se determinó un área total de inundación de 2.3 millones de kilómetros cuadrados, con 255-290 millones de personas directamente afectadas por las inundaciones, las proyecciones de cambio climático para 2030 indican que la proporción de la población expuesta inundaciones seguirá aumentando (Tellman, 2020). Esta proyección es acertada pues hasta la fecha de elaboración de este Atlas (2023) las inundaciones a nivel global han incrementado y registrado en zonas en donde no se presentaba el fenómeno, ejemplo de ello y más impactante, es la inundación de Pakistan ya que una tercera parte del país quedo bajo el agua, debido a las fuertes precipitaciones, y al desborde del Río Indio en el mes de agosto y septiembre del 2022.

En nuestro país las inundaciones son uno de los fenómenos naturales más comunes, prácticamente todos los años se producen por el desbordamiento de los ríos, debido al exceso de lluvia que pueden causar daños severos. Los efectos negativos de las inundaciones, se deben en gran medida por la actividad humana, por la deforestación y ubicación de las viviendas en zonas bajas cercanas a los ríos y costas (CENAPRED, 2012).

En México han ocurrido, por efecto de desastres, alrededor de 10 000 muertes, de 1980 a 1999, aproximadamente 500 cada año. Las pérdidas económicas calculadas alcanzan 9 600 millones de dólares, con un monto promedio anual cercano a los 500 millones de dólares (Bitrán, 2001).

Una estimación de las víctimas fatales en México a consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos arroja 2 767 personas, lo que representa un promedio cercano a los 140 individuos fallecidos anualmente. La cantidad de daños totales por este tipo de fenómenos, de 1980 a 1999, fue de 4 537 millones de dólares, lo que en promedio arroja 227 millones de dólares en pérdidas anuales (CENAPRED 2004).

Conceptos básicos

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas mortales y económicas.

Mientras que avenida se define como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad” (OMM/UNESCO, 1974). Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río. Con lo anterior, se entiende por inundación: aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2004).

Los principales tipos de inundación que afectan a las diversas regiones del país son dos: inundaciones pluviales e inundaciones fluviales.

Las inundaciones pluviales son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que proviene de alguna otra parte. En verano (de junio a octubre) las lluvias más intensas están asociadas con la acción de ciclones tropicales que afectan gran parte del territorio nacional. En cambio, durante el invierno los frentes fríos son la principal fuente de lluvia.

Las inundaciones fluviales se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada, las inundaciones fluviales más importantes se darán en los ríos con más desarrollo o que alcance las planicies costeras (CENAPRED, 2004).

Método de trabajo

La metodología consistió en la recopilación de información bibliográfica acerca de inundaciones registradas en la zona, así como de archivos vectoriales y mapas del Atlas nacional de riesgo y la CONAGUA. Al mismo tiempo se realizaron

prospecciones en campo en los sitios indicados por personal de PC, en cada lugar, los habitantes brindaron información que permitió prospectar otros sitios y obtener más datos de las inundaciones que se han presentado: duración de la acumulación, altura del tirante de agua en época de lluvia y estiaje, amplitud máxima alcanzada, arrastre de material y altura del bordo de inundación.

Posteriormente, se integró la información recabada en campo con los datos de la CONAGUA y el CENAPRED para obtener el mapa de áreas inundables en el municipio de Huichapan (**Figura II.2.8.1**).

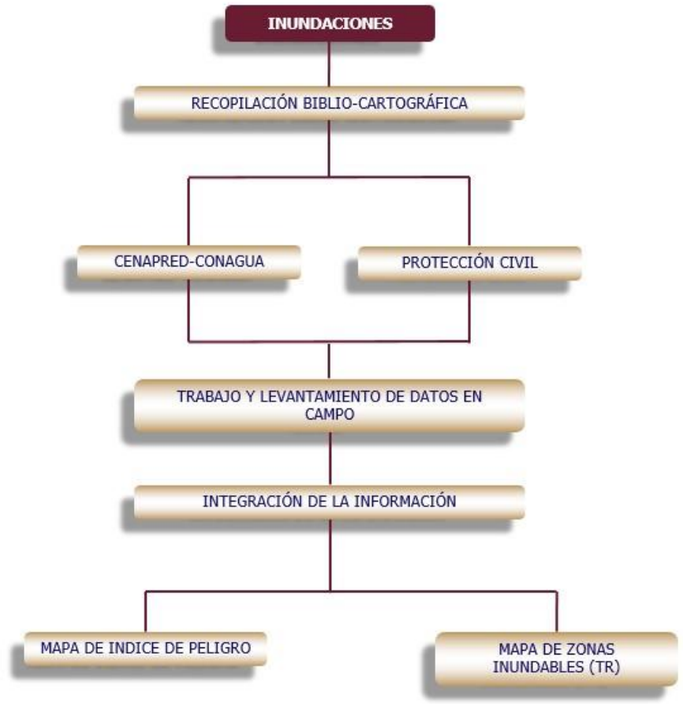


Figura II.2.8.1 *Metodología de trabajo para inundaciones.*

Análisis de la información

El personal de Protección Civil indicó mediante inspecciones detalladas áreas que tienen identificadas como zonas críticas de riesgo por el fenómeno de inundación, así como a zonas previamente afectadas por este tipo de evento hidrometeorológico. Posteriormente se realizaron recorridos en campo de acuerdo a los polígonos de inundación proporcionados por el CENAPRED, en total se verificaron 28 localidades de las cuales se identificaron 20 con riesgo por inundación por desborde o avenidas en zonas de escurrimiento (**Tabla II.2.8.1**.) Además, se abordó específicamente la problemática de la Presa Francisco I. Madero y Javier Rojo Gómez (Metethé) que se detalla en el apartado de riesgo para una mejor comprensión de la situación.

Tabla II.2.8.1 *Sitios verificados en campo por el fenómeno de inundación.*

LOCALIDAD	AFECTACIÓN
Bondojito	Desborde
Dothí	Escurrimiento con arrastre de material
Ejido de Huichapan	Desborde
El Apartadero	Escurrimiento con arrastre de material
El Carmen	Escurrimiento con arrastre de material/ Desborde
El Saucillo	Desborde
Huichapan	Escurrimiento con arrastre de material
Jonacapa	Escurrimiento con arrastre de material/Desborde
La Cruz	Desborde
Llano Largo	Escurrimiento con arrastre de material
Mamithí	Escurrimiento con arrastre de material
Maney	Escurrimiento con arrastre de material
Pedregoso	Desborde
Sabina Grande	Desborde
San José Atlán	Escurrimiento con arrastre de material
Santa Bárbara	Escurrimiento con arrastre de material
Taguí	Desborde
Tlaxcalilla	Escurrimiento con arrastre de material/ Desborde
Xajay	Desborde
Zothé	Escurrimiento con arrastre de material/ Desborde

En el municipio, la inundación más común se debe al desbordamiento de arroyos, ríos principales, presas y bordos, además de las zonas afectadas por las avenidas en las áreas de escurrimiento. Los ríos principales que atraviesan el municipio son el Arroyo Hondo y el Río Pathecito, ambos fluyen de sur a norte.

Durante los recorridos de verificación, se identificaron 9 localidades con probabilidades de inundaciones por desbordamientos (**Tabla II.2.8.1**). Entre estas, Tlaxcalilla se destaca por tener la mayor densidad de población.

La localidad de Tlaxcalilla, se registró un desborde del arroyo que atraviesa el centro de la localidad, ocasionando daños a la infraestructura del puente, como se puede apreciar en la **fotografía II.2.8.1**. Además, la zona comercial del centro, que se

encuentra a menos de 10 metros del cauce del arroyo, también sufrió daños significativos por perdida de mercancía.

En la zona aguas arriba de la localidad, al suroeste, existe un área de escurrimiento que se dirige hacia el centro de la localidad. En el año 2021, el flujo del agua en esta zona alcanzó tal fuerza que arrastró varios metros aguas abajo los vehículos de los habitantes (**Fotografía II.2.8.2**).

Fotografía II.2.8.1 *Puente afectado tras desborde del arroyo que atraviesa la localidad de Tlaxcalilla. (El Bocón, 2017)*

Fotografía II.2.8.2 *Calles de Tlaxcalilla afectadas por escurrimiento proveniente zonas de cultivo ubicados aguas arriba al suroeste de la localidad (El Bocón, 2017).*

La localidad de El Carmen se presentaron afectaciones por desborde de un canal rudimentario que se encuentra aguas arriba de la calle Bugambilias. Como resultado, el escurrimiento que generó arrastre de material aguas abajo, esta calle no es pavimentada, por lo que se la calle quedo en muy malas condiciones. (**Fotografía II.2.8.3**).

Otras localidades que enfrentan un problema similar de desborde debido a actividades humanas incluyen Pedregoso (**Fotografía II.2.8.4**) y San José Atlán.

Fotografía II.2.8.3 *Localidad El Carmen (El Bocón , 2017).*

Fotografía II.2.8.4 Localidad Pedregoso. Dirección de flujo.

Las localidades afectadas por avenidas en zonas de escurrimiento son 11 **(Tabla II.2.8.1)** la localidad con más densidad de población afectada es la cabecera municipal.

En la cabecera municipal, los flujos de agua procedentes de los barrios más elevados se concentran en la calle Francisco I. Madero (se pueden observar en las **fotografías II.2.8.1 y II.2.8.2**), así como en Abasolo. Además, existe un canal que cumple la función de corredor, conocido como la calle Río de las Avenidas.

Fotografía II.2.8.5 *Escurrimiento en la calle Francisco I. Madero en la cabecera municipal de Huichapan durante La Feria de El Calvario. (Portillo,2022).*

Fotografía II.2.8.6 *El escurrimiento en la calle Francisco I. Madero durante recorrido de verificación, en la cabecera municipal de Huichapan es notable, a pesar de que la lluvia que ocurrió en ese momento no fue intensa.*

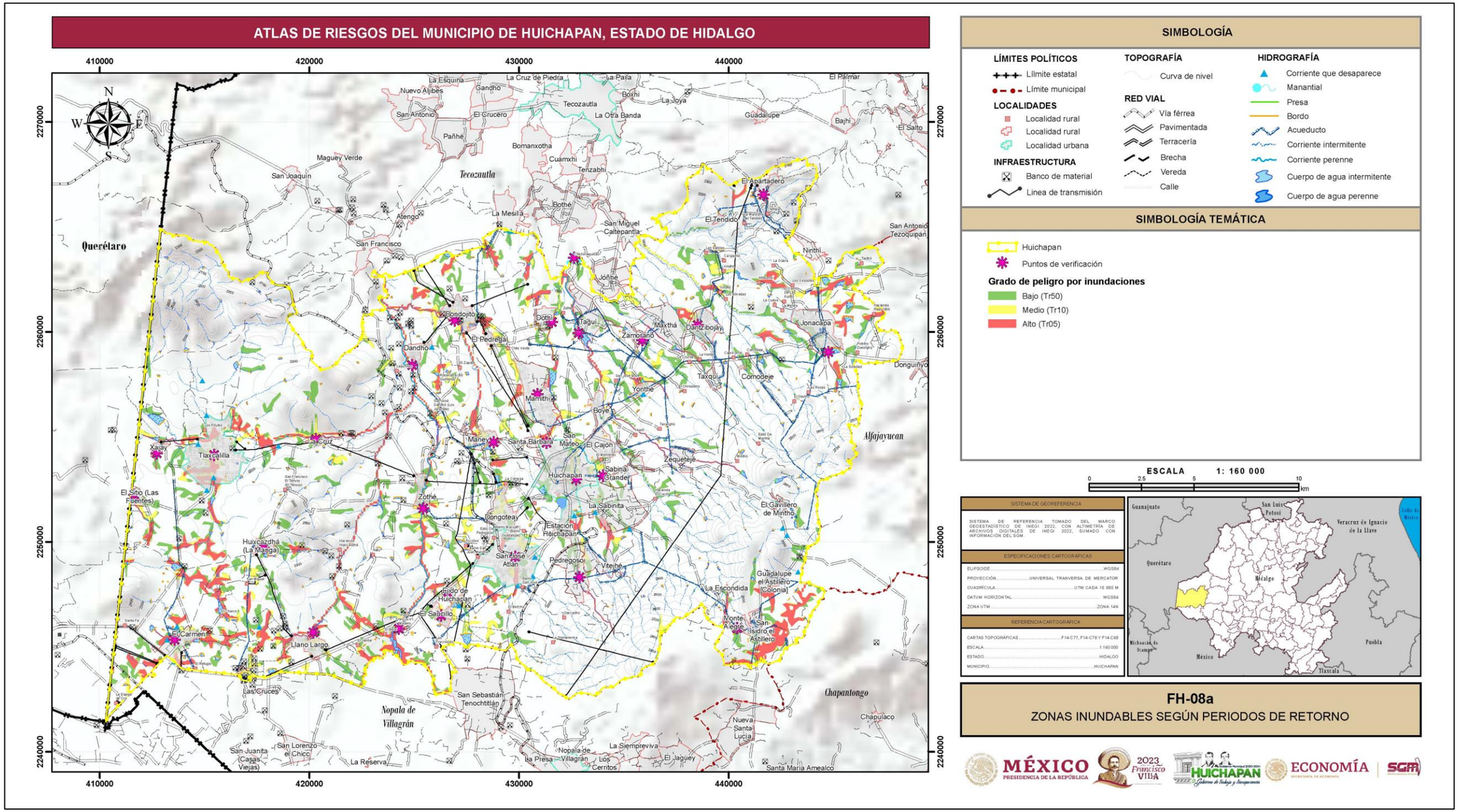


Figura II.2.8.2 *Zonas inundables en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con información de ANR y la CONAGUA.*

La CONAGUA elaboró el Atlas Nacional de Riesgo por Inundación (ANRI), el cual se encuentra disponible en el ANR y muestra las zonas que se verían afectadas por inundaciones de acuerdo a un periodo de retorno de 5, 10 y 50 años. El periodo de retorno de 5 años representa las zonas que están en un peligro alto, el periodo de retorno a 10 años representa un peligro medio, mientras que el periodo de retorno de 50 años representa un peligro bajo. En la **Figura II.2.8.2** se puede observar que los puntos prospectados en campo se encuentran en alguna de estas dos zonas, existen localidades que se localizan en las zonas inundables y que no se encuentran consideradas en la **Tabla II.2.8.1**, esto es porque en la información recabada éstas no han presentado afectaciones, pero no significa que estén exentas de este peligro. Además, de acuerdo a las condiciones observadas en el terreno y localidades en las prospecciones de campo, se realizaron modificaciones a las zonas de periodos de retorno inferidas en el ANRI, obteniendo resultados más cercanos a la realidad.

Conclusiones

Los polígonos con grado de peligro alto por inundación se localizan en áreas despobladas próximas a ríos, arroyos, presas y bordos, así como en las áreas de escurrimiento que alimentan estos cuerpos de agua cercanos, sin embargo, existen cinco localidades que cuentan con este grado de peligro (El Apartadero, Santa Bárbara, Tlaxcalilla, Huichapan, Pedregoso). El resto de las localidades verificadas presentan un grado de peligro medio y bajo.

II.2.9 Tornados

Los tornados se presentan en cualquier época y hora del año. En México su probabilidad de ocurrencia se extiende por todo el territorio nacional, sin embargo, los más fuertes han sido en el norte del país.

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice. Se origina en la base de una nube de tormenta cuando dos masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad chocan entre sí formando un embudo que llega a la tierra, si toca un cuerpo de agua (rio, lago, canal o el mar) se forma una tromba (CENAPRED, 2019).

Conceptos básicos

Los tornados según su origen se pueden clasificar en:

- Tornados superceldas: tienen su origen en una tormenta severa de larga duración cuyo viento se encuentra en rotación, conocida como mesociclón o supercelda. Se forma cuando una columna de nube cumulonimbus genera corrientes ascendentes dentro de ella misma, puede llegar a extenderse hasta algunos kilómetros de diámetro, lo que origina un tipo de tormenta convectiva con ciertas condiciones que pueden generar fuertes vientos, grandes granizadas y tornados violentos que puede devastar sobre una larga trayectoria.

- Tornados no-superceldas: suelen ser de menor magnitud a diferencia de los tornados superceldas. Este tipo de tornados se forma cuando una nube en rápida formación, atrae el aire que circula lentamente y de manera giratoria en los niveles inferiores de la superficie de la tierra. La rotación lenta preexistente del aire en los niveles bajos puede ser causada por las corrientes formadas por las montañas de los alrededores o por la convergencia de brisas marinas o de frentes de rachas de aire y en líneas de tormentas o sistemas frontales, a menudo en serie y con menos organización que los tornados de supercélulas (CENAPRED, 2010).

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale), elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971.

Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Existen seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor (**Tabla II.2.9.1)**.

Tabla II.2.9.1 *Escala Fujita usada para categorizar tornados.*

NÚMERO EN LA ESCALA	DENOMINACIÓN DE INTENSIDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO (km/h)	TIPO DE DAÑOS
F0	Vendaval	60-100	Daños en chimeneas, rotura de ramas, árboles pequeños rotos, daños en señales y rótulos.
F1	Tornado moderado	100-180	Desprendimiento de algunos tejados, mueve coches y campers, arranca algunos árboles pequeños.
F2	Tornado importante	180-250	Daños considerables: Arranca tejados y grandes árboles de raíz, casas débiles destruidas, así como objetos ligeros que son lanzados a gran velocidad.
F3	Tornado severo	250-320	Daños en construcciones sólidas, trenes afectados, la mayoría de los árboles son arrancados.
F4	Tornado devastador	320-420	Estructuras sólidas seriamente dañadas, estructuras con cimientos débiles arrancadas y arrastradas, coches y objetos pesados arrastrados.
F5	Tornado increíble	420-550	Edificios grandes seriamente afectados o colapsados, coches lanzados a distancias superiores a 100 m, estructuras de acero sufren daño.

Fuente: Elaboración propia usando datos del CENAPRED, 2010.

En México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidrometeorológico, sin embargo, existe instrumentación capaz de detectar superceldas y, tal vez, tornados, como es el caso del radar Doppler "Mozotal", recientemente instalado en el estado de Chiapas y que es operado por el Servicio Meteorológico Nacional (CENAPRED, 2010).

En el territorio nacional la velocidad promedio de los tornados es de alrededor de 16 a 32 kilómetros por hora, a pesar de que han sido registradas ráfagas con velocidades de hasta 113 kilómetros por hora, la mayoría de los tornados documentados no llega muy lejos, es rara la ocasión en la que llegan a desplazarse 10 km.

Antecedentes

En nuestro país se presentan las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados superceldas y no-superceldas. En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente.

Durante el periodo del 2000 a 2012, los registros que se lograron recabar para conocer la frecuencia e intensidad de estos fenómenos, además de su localización geográfica, fueron pocos, remitiéndose a una recopilación de información existente entre testimonios históricos, notas periodísticas e información popular obtenida en trabajo de campo (Avendaño, 2006) algunos ejemplos de estos se encuentran en la **tabla II.2.9.2**. Del 2013 se mencionan algunos eventos de investigadores institucionales los que llevan un registro no homologado.

El 11 de junio del 2020 el Dr. José León Cruz en el marco del Seminario Nacional "La Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) frente al Covid-19, compartió que los primeros estudios de tornados en México registran alrededor de 12 eventos por año en el periodo del año 2000 a 2012, En el periodo de 2014 a 2020 se cuenta con el registro de 350 eventos de tornados y trombas, esto arroja un promedio de casi 47 tornados por año. por lo que se debe poner atención en áreas susceptibles a la presencia de este fenómeno (Hermida, 2020). La mayoría de los eventos registrados no reúne elementos suficientes para clasificarlos en alguna de las categorías de la escala Fujita, se debe subrayar el hecho de que enfrentamos una ausencia metodológica en el registro de daños. A pesar de los múltiples esfuerzos desarrollados por diversas instituciones para tratar de cubrir estos aspectos ha resultado clara la necesidad de establecer una coordinación con las dependencias y entidades de las administraciones públicas de los tres niveles de gobierno, para sistematizar y estandarizar este rubro (CENAPRED, 2010).

Tabla II.2.9.2 *Eventos de tornados registrados en diversas partes de la república mexicana.*

FECHA	LUGAR	COMENTARIOS
Junio 16 de 2001	***Teapan, Sierra de Tabasco***	***Un tornado acaba con plantíos de plátano y papaya en Tabasco, se perdieron 25 hectáreas de estos cultivos.***
Julio 30 de 2002	***Los Mogotes, Coyuca de Benítez, Guerrero***	***Un tornado derribó techos y árboles en Guerrero. Dejó a un turista lesionado, 11 viviendas sin techo, 30 árboles derribados, una barda de 300 metros derrumbada y ocho automóviles con daños en los parabrisas y láminas.***
Junio 15 de 2004	***San Antonio del Río, Municipio de San José Gracia Aguascalientes.***	***Se observó la formación de extrañas nubes en forma de embudo y dejaron consecuencias en San José de Gracia. Se formó tornado de categoría mínima, que entre la gente del campo es mejor conocido como culebra.***
Marzo 2 de 2005	***Huamantla, Tlaxcala***	***Tornado daña casas y derriban árboles y postes. El viento arrancó los techos de lámina y dañó la estructura de la tienda del ISSSTE.***
Junio 7 de 2007	***Las Choapas, Veracruz***	***Tromba y granizo, afecta a 120 casas. Otras 40 viviendas fueron dañadas en el municipio de Las Choapas. Durante su trayectoria destechó viviendas, derribó postes de telefonía y energía eléctrica y arrancó árboles de raíz.***
Agosto de 2007	***Apan, Hidalgo***	***Víbora de agua arrasó con 25 árboles en Apan. Ocasionó el desprendimiento de al menos 25 árboles pequeños y la techumbre de un corral, así como inundaciones en los campos de cultivo de la comunidad de Cocinilla.***
Mayo 25 de 2015	***Ciudad Acuña, Coahuila***	***El fenómeno alcanzó categoría 3 en la escala Fujita. Secretaría de Gobernación informó de forma oficial que el tornado dejó un saldo de 14 personas fallecidas y 229 lesionados, cerca de 1000 viviendas dañadas con al menos 110 de ellas con pérdidas totales.***
Mayo 15 de 2016	***Chihuahua, Chihuahua***	***Tornado desprendió techos de 12 viviendas, además de resultar 5 muros y 4 bardas caídas. El fenómeno duró aproximadamente 1 hora y lesionó a 4 adultos y una menor de edad.***
Julio 31 de 2018	***Villa de Corona, Jalisco***	***El tornado arrancó varios árboles, hizo volar tambos y letreros, daño 2 camionetas y arrancó las tejas de varias fincas de la zona. No hubo lesionados.***
Octubre 10 de 2018	***Apan, Hidalgo***	***El tornado afectó en la localidad de El Tigre a un total de 18 casas, también se llevó láminas de la iglesia de la localidad, así como láminas de corrales y algunos árboles fueron tirados a su paso.***
Abril 06 de 2021	***Apan, Hidalgo***	***El tornado afectó 4 el techo de 4 casas de lámina, también algunos corrales, árboles y dos bardas se vinieron abajo, en la comunidad de Lomas de Pedregal.***

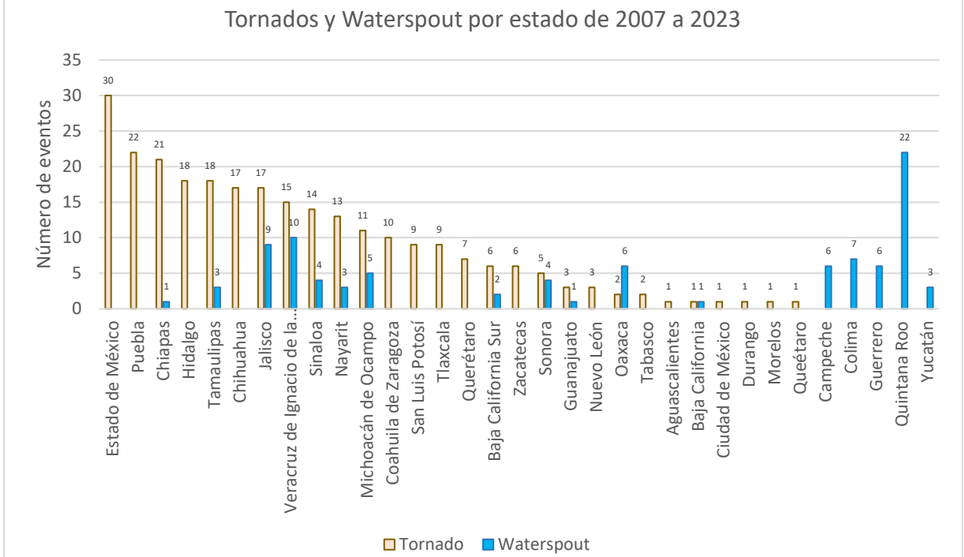
Fuente: Elaboración propia usando datos de Avendaño, 2006.

La variación de ocurrencia de tornados por mes, arroja información interesante ya que el mayor número de eventos sucede de mayo a agosto, la actividad de tornados es más frecuente entre las 15:00 y las 21:00 horas, el mes de mayo es el mes con más registros; noviembre y diciembre son los meses con menor registro. En el caso de las trombas marinas son más comunes en el mes de junio (León-Cruz, et al, 2022).

De acuerdo a la base de datos del Dr. José León con intervalo de información de 2007 a 2020, la entidad que ostenta el mayor número de registros de tornados es el Estado de México (30), muchos de ellos se han observado en las cercanías de la Ciudad de México, el segundo lugar corresponde al estado de Puebla (22), ocupando el tercer lugar el estado de Chiapas con (21), el estado de Hidalgo se encuentra en la cuarta posición con 18 eventos al igual que el estado de Tamaulipas (**Gráfica II.2.9.1**).

Los waterspout (trombas marinas) en México se presentan con más frecuencia en el estado de Quintana Roo (22), seguida de Veracruz (10) y en tercer lugar Jalisco con nueve registros (**Gráfica II.2.9.1**).

Gráfica II.2.9.1 *Número de tornados y waterspout por entidad federativa.*



Fuente: *Elaboración propia con información de León-Cruz, et al, (2022) e información periodística.*

Método de trabajo

En el municipio de Huichapan no se cuenta con un registro formal del fenómeno, por lo que para el análisis de este nivel de información se desarrolló el método de trabajo para determinar la amenaza, como se establece en los Términos de Referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016, de la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU, 2016) (**Figura II.2.9.1**).

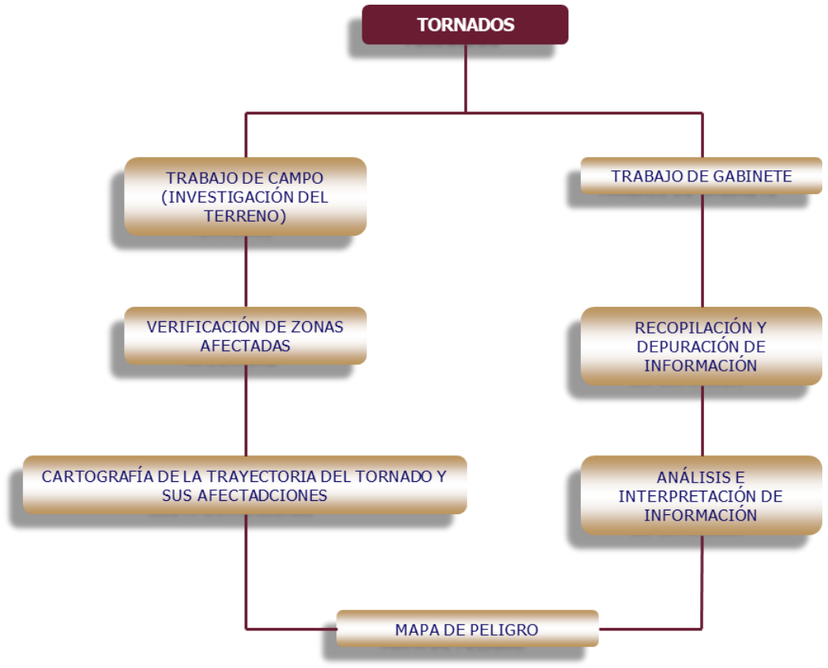


Figura II.2.9.1 Metodología de trabajo para tornados
Fuente: *Elaboración propia con datos de SEDATU, 2016.*

El método se encuentra dividido en dos etapas, la primera está relacionada al trabajo de gabinete, y consiste en la recopilación y depuración de información principalmente en la consulta del Atlas Nacional de Riesgos, (2022) con el objetivo de identificar la existencia de registros del fenómeno, investigar con Protección Civil municipal, inclusive con pobladores de las localidades del municipio; en caso de tener conocimiento de algún evento se procede a la segunda etapa (campo), que consiste en recuperar y georreferenciar las trayectorias de los eventos conocidos, así como la zonificación de las afectaciones originadas y con ello generar el mapa de amenaza por este tipo de fenómeno.

Análisis de información

La consulta del mapa “Presencia de tornados en municipios de México” del ANR el cual tiene registro de los años 2000 a 2008 y 2015 a 2018, este indica que los municipios en los que se tiene registrado la ocurrencia de tornados son: Ixmiquilpan, Acatlán, Tula de Allende y Apan.

Se investigaron los registros en años más actuales por medio de fuentes periodísticas, Protección Civil municipal y usando la base de datos del Dr. León-Cruz, los eventos más recientes siguen ocurriendo en los mismos municipios que menciona el ANR, sumándose los municipios de Almoloya, Alfajayucan, Cuautepec de Hinojosa, Mineral de la Reforma, Tolcayuca y Chapantongo a los municipios que registran este fenómeno **Figura II.2.9.2**, a la fecha un total de 29 tornados son los que se han presentado en el Estado de Hidalgo **Tabla II.2.9.3.**

Tabla II.2.9.3 *Eventos de tornados registrados en el Estado de Hidalgo.*

FECHA	LUGAR	COMENTARIOS
1 de agosto de 2007	*Cocinilla, Apan*	*Víbora de agua arrasó con 25 árboles en Apan. Ocasionó el desprendimiento de al menos 25 árboles pequeños y la techumbre de un corral, así como inundaciones en los campos de cultivo de la comunidad de Cocinilla, (Mota, 2007).*
14 de abril de 2015	*Peñuela, Acatlán*	*Tornado Causa destrozos en la comunidad de Acatlán, Hidalgo, (Noticieros Televisa, 2015).*
6 de abril de 2021	*Lomas de pedregal, Apan*	*Se registró un tornado en la colonia Lomas del Pedregal, en el municipio de Apan, (La Jornada, 2021).*
10 de octubre de 2018	*El Tigre, Apan*	*Acompañado de lluvias torrenciales y vientos fuertes, un tornado destruyó a la comunidad El Tigre, (Salas, 2018).*
29 de abril de 2021	*El Espíritu, Ixmiquilpan*	*Tornado y granizada azota la comunidad de Ixmiquilpan, (Sánchez, 2021).*
2012	*Buenavista, Acatlán*	*Información de Protección Civil Acatlán.*
11 de septiembre de 2014	*Cocinilla, Apan*	*Se dio a conocer que se registró un nuevo tornado en la zona del altiplano, en la comunidad de Cocinillas en el municipio de Apan, el cual destruyó al menos 10 invernaderos, (*SUN, 2014).
18 de agosto de 2014	*Huimiyuca, Almoloya*	*Tornado registrado en comunidad de Huimiyuca, Almoloya, con saldo de 6 lesionados leves y afectaciones en por lo menos 17 viviendas. También caída de postes y líneas eléctricas, vehículos dañados y animales muertos, (*Milenio, 2014).
29 de junio de 2017	*Tula de Allende*	*Captan impresionante tornado en Tula, no reportan daños, (*Grito Informativo, 2017)
8 de julio de 2014	*Mineral de la Reforma*	*Eventos registrados en base de datos de León-Cruz, et al, (2022).*
17 de agosto de 2014	*Almoloya*	
10 de septiembre del 2014	*Apan*	
24 de marzo de 2015	*Almoloya*	
14 de abril del 2015	*Acatlán*	
21 de abril de 2016	*Cuautepec de Hinojosa*	
22 de marzo de 2017	*Alfajayucan*	
24 de mayo de 2017	*Apan*	
6 de marzo de 2018	*Chapantongo*	
6 de junio de 2018	*Ixmiquilpan*	
7 de septiembre de 2018	*Apan*	
22 de marzo de 2019	*Tolcayuca*	
18 de abril de 2020	*Zapotlán de Juárez*	
2021	*Actopán*	
2021	*Apan*	
7 de abril del 2021	*Zempoala*	
17 de marzo del 2022	*Zempoala*	
19 de mayo del 2022	*Apan*	
14 de marzo de 2023	*Zempoala*	*Captan tornado en localidad de Zempoala, Hidalgo (TornadosMexico, 2023)*
7 de mayo de 2023	*Huichapan*	*Dos tornados sorprenden a habitantes de Tlaxcalilla, Hidalgo (Trejo, 2023)*

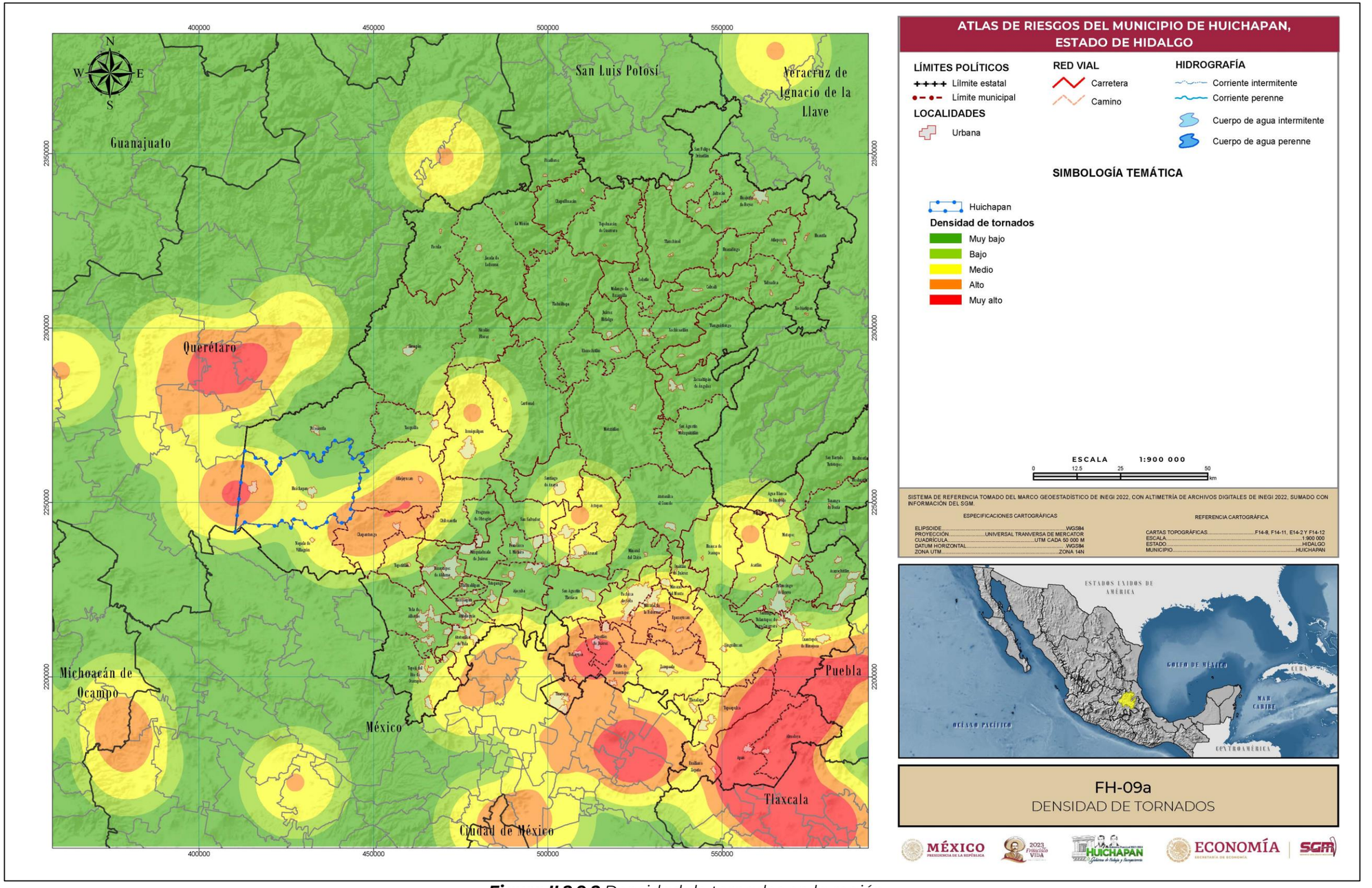


Figura II.2.9.2 *Densidad de tornados en la región.*
Fuente: *Elaboración propia con información periodística y León-Cruz, et al, 2022.*

De acuerdo con los testimonios y registros de los pobladores de diversas localidades y municipios cercanos, se reportó la aparición de dos tornados en el municipio de Huichapan, específicamente cerca de la localidad de Tlaxcalilla, el 8 de mayo de 2023. Asimismo, en el municipio de San Juan del Río, estado de Querétaro, se observó otro tornado ese mismo día. Todos de tipo no supercelda (**Fotografía II.2.9.1**).

La formación reciente de estos dos tornados, fue posible a los factores del clima (corrientes de aire y humedad), condiciones atmosféricas (formación de tormentas) y topografía. En el municipio la topografía de llanuras solo se encuentra en la región oeste, no obstante, el centro del municipio clasificado como lomeríos, en la realidad su relieve no es abrupto, y en algunas zonas se percibe plano como llanura al igual que una zona al sureste del municipio, que, aunque ya fuera del municipio cercano a esa zona se han registrado presencia de tornados.

Para calcular la amenaza en el municipio de Huichapan se tomó en cuenta que la presencia de tornados de tipo no supercelda, son los más comunes en todo el Estado de Hidalgo por lo que, los criterios que se usaron fueron: el relieve de la zona, y la densidad de presencia de tornados calculada anteriormente, el resultado se aprecia en la **Figura II.2.9.3**.

Los niveles altos de peligro, se ubican al este del municipio, en la zona de llanura los niveles van desde bajo a muy alto, y aunque no es un factor determinante, la vegetación consta de pastizales y agricultura, por lo que no hay vegetación alta que sea un obstáculo para la formación de tornados. El resto del Municipio tiene un nivel de peligro muy bajo en su mayoría, subiendo al nivel bajo al sureste.

Fotografía II.2.9.1 Tornado captado en localidad de Tlaxcalilla, Huichapan.
Fuente: *Camacho, (2023).*

Conclusiones

El municipio tiene probabilidades altas de que se sigan formando tornados en la zona oeste del municipio gracias a la zona de llanura y a la probabilidad alta de tormentas que se pueden formar en el municipio. El fenómeno pudo ser captado gracias al auge de las redes sociales y uso de los teléfonos celulares, esto es relevante porque en México no existe un programa de detección e intervención oportuna de estos fenómenos debido a que la tecnología y las bases de datos son insuficientes, es por ello resulta de vital importancia dar impulso a la cobertura de monitoreo mediante el uso de radares meteorológicos para tener un mejor nivel de análisis, predicción y pronóstico.

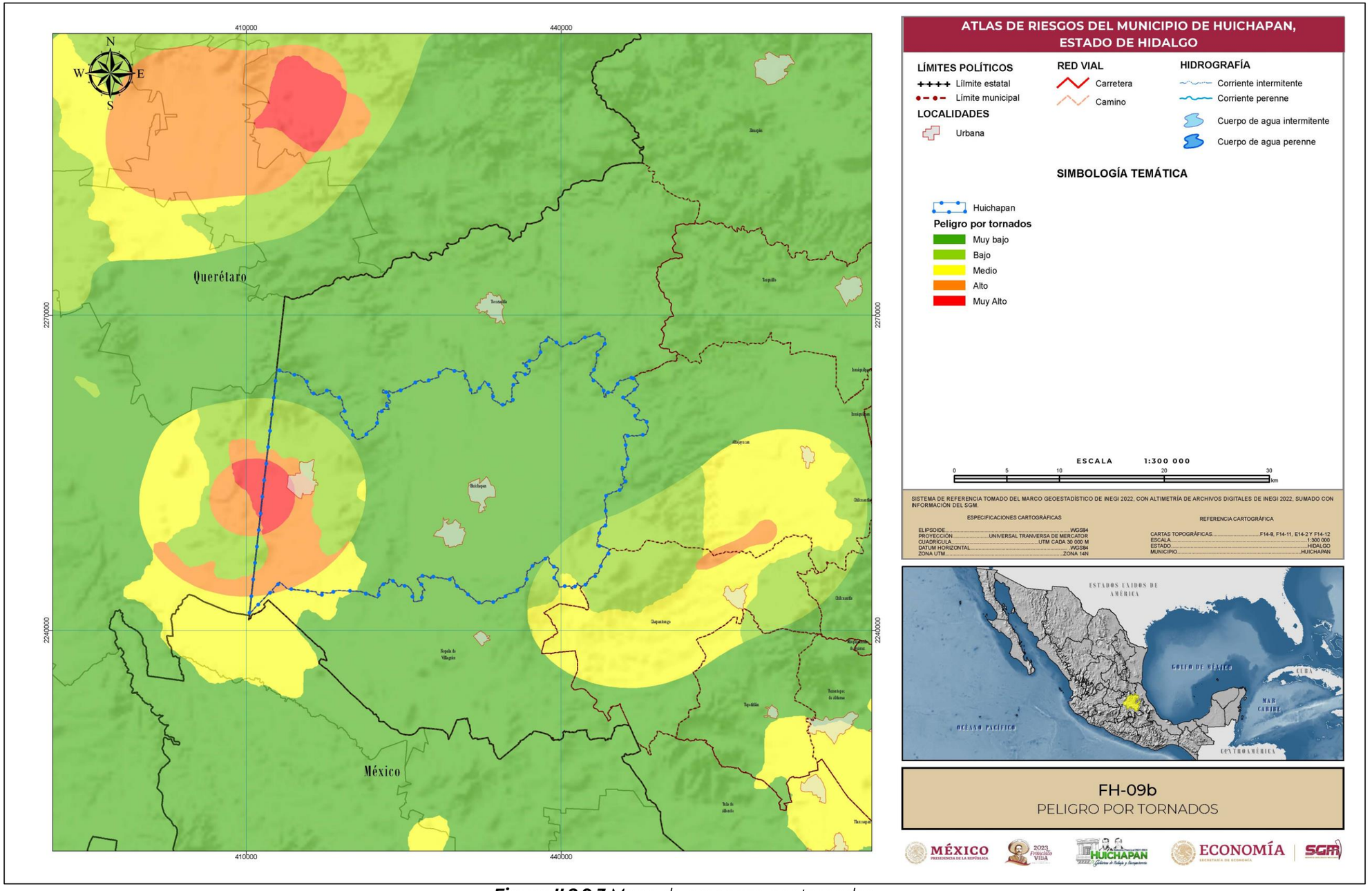


Figura II.2.9.3 *Mapa de amenaza por tornados.*
Fuente: *Elaboración propia con información del ANR, 2000-2008; 2015-2018 León-Cruz, et al, 2022.*

II.2.10 Tormentas de polvo

Los procesos de calentamiento global y cambio climático han incrementado el poder destructivo de los fenómenos hidrometeorológicos, evidenciándose la necesidad de profundizar los estudios de peligro de desastres naturales, en este sentido, las fuertes ráfagas de viento pueden provocar daño a los habitantes y perjudicar sus bienes materiales.

Las tormentas de arena y polvo constituyen peligros meteorológicos comunes en las regiones áridas y semiáridas son causadas cuando la velocidad del viento se incrementa en una amplia zona y arrastrando grandes cantidades de arena y polvo de suelos desnudos y secos a la atmósfera siendo trasportado a miles de kilómetros de distancia (WMO, 2019).

Las tormentas de polvo son un fenómeno meteorológico de mesoescala (de uno a cientos de kilómetros) que puede llegar a recorrer grandes distancias en el aire (**Fotografía II.2.10.1**), reducen considerablemente la visibilidad y pueden ocasionar daños en la salud debido a que el polvo generado en estos eventos puede trasportar alérgenos y patógenos a grandes distancias de la fuente, especialmente peligrosas para las personas con sistemas respiratorios comprometidos o sistemas inmunológicos debilitados (ONEMI, 2021).

Fotografía II.2.10.1 Tormenta de polvo.
Fuente: *WMO, 2019.*

Conceptos básicos

Las tormentas de polvo son eventos atmosféricos los cuales ocurren principalmente como consecuencia de la erosión de los suelos en ambientes desérticos y semidesérticos donde existe abundancia de sedimentos o partículas (finas) sueltas, baja humedad superficial y planicies extensas con poca o nula vegetación (Goudie y Middleton, 2006).

Las partículas de polvo suspendidas en la atmosfera se encuentran dentro de las fracciones de limos y arcillas (menor a 0.0625 mm de diámetro) y pueden incorporar tanto elementos biológicos, como no biológicos. Dentro del grupo de las partículas no-biológicas predominan las de origen mineral, las cuales en su mayoría están formadas por los sedimentos sueltos de origen geológico/natural. Como parte de las partículas de origen biológico se pueden encontrar alérgenos como el polen, semillas e inclusive algunos patógenos como virus y bacterias (Tormentas y tolvaneras, 2015).

Para la formación de este tipo de fenómenos es necesario que exista un contraste térmico entre el suelo y las capas medias y altas de la atmósfera. Debe existir un sistema frontal en una zona que tenga la superficie cálida y árida, el sistema de aire frontal, al estar frío, desplaza el aire cálido que se encuentra en el lugar, haciendo que el gradiente de presión aumente, de esta manera, la velocidad del viento también se incrementa, situándose entre 80 y 160km/h, causando turbulencias. Las temperaturas cálidas en superficie provocan corrientes de convección. De este modo las partículas pueden permanecer suspendidas en el aire por mucho tiempo (Sánchez, 2021). La velocidad mínima del viento para levantar partículas de polvo y posteriormente generar tormentas de polvo es de 21.6 km/h (Álvarez-Báez, 2017),

Antecedentes

El fenómeno en México se presenta en distintas zonas del desierto Chihuahuense, incluyendo áreas de San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Coahuila, las zonas urbanas de México no son ajenas a los efectos del fenómeno también llamado tolvaneras, se ha localizado la formación de tormentas de polvo que logran afectar las zonas urbanas del centro y noroeste del país. En el Noroeste del país existe un fenómeno meteorológico conocido como los vientos de Santa Ana, ocurre durante las épocas de otoño e invierno afectado al suroeste de Estados Unidos como al noroeste de México (Álvarez-Báez, 2019).

En el caso de las tormentas de polvo en el centro del país se registran en Texcoco y la Zona del Metropolitana del Valle de México, un ejemplo del impacto de este

fenómeno es la ocurrida el 28 de marzo de 2021, cuando el desplazamiento de la masa de aire que impulsó el frente frío No. 46 y las altas temperaturas registradas en el centro del país generaron vientos provenientes del norte del Valle, estos vientos provocaron, en consecuencia, las tolvaneras que se observan la **Figura II.2.10.1,** (Arenas, 2021).

Figura II.2.10.1 *Imagen satelital del 28 de marzo del 2021, se observa nube de polvo en la Zona Metropolitana del Valle de México.*
Fuente: *Arenas, 2021.*

En el municipio de Huichapan no se tienen registro por parte de las autoridades de Protección Civil del municipio de la existencia de tormentas de polvo, sin embargo, debido a las características del municipio como: topografía que presenta relieves de lomeríos moderados, llanuras; ausencia de vegetación; y la precipitación media anual en el municipio ronda los 430mm en la porción central (cabecera municipal) a 500mm en la porción oriente y 600mm en la porción sur-poniente (característicos de un clima semi-seco), se puede concluir que es probable la formación de tormentas de polvo, debido a esto se pidió al Servicio Meteorológico Nacional por contacto vía e-mail SMN (2023), información de la estación meteorológica Huichapan (EMA), para determinar la dirección del viento, velocidad y humedad relativa, para completar los criterios necesarios para la formación de tormentas de polvo.

Del promedio obtenido del periodo 2010 a 2023 de los datos proporcionados del SMN, se tiene que la humedad relativa en la estación Huichapan, registra 61.2%, la dirección del viento es preferente al SE y en menor proporción al SW de acuerdo a la **gráfica II.2.10.1**, la velocidad promedio del viento es de 10 km/h, y la velocidad promedio de las ráfagas del viento son de 17.5 km/h, por lo que la probabilidad de formación de tormentas de polvo en el municipio es baja ya que la velocidad mínima para formar tormentas de polvo es de 21.6 km/h.

Gráfica II.2.10.1 *Dirección predominante del viento en el municipio de Huichapan*

Fuente: *Elaboración propia con datos del SMN, 2023.*

Conclusiones

El municipio de Huichapan tiene las condiciones topográficas climatológicas, erosivas y edafológicas para la generación de tormentas de polvo sin embargo la velocidad del viento, no alcanza la velocidad mínima para su formación.

II.2.11 Tormentas Eléctricas

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas cumulunimbus y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos, pero en ocasiones puede ser nieve, hielo o granizo (OMM, 1993).

Los daños que provocan las tormentas eléctricas según el CENAPRED (2010) son desde herir (quemaduras, dolores de cabeza, parálisis, pérdida de la audición y de la memoria) o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta hasta dañar la infraestructura de la población, que provocaría la suspensión de la energía eléctrica y en ocasiones, las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado.

Conceptos Básicos

Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantar a éste, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas contienen rayos, los cuales son una descarga electrostática que resulta de la acumulación de cargas positivas y negativas dentro de una nube de tormenta. Cuando las cargas adquieren la suficiente fuerza aparecen los rayos cuya manifestación visible es el relámpago, es decir, un destello de luz que se produce dentro de las nubes o entre éstas y el suelo (CENAPRED, 2010).

El ciclo de duración de una tormenta eléctrica es de solo una o dos horas, son de carácter local y se reducen casi siempre a solo unas decenas de kilómetros cuadrados (García et al., 2007). El estado de madurez de una tormenta está asociado con grandes cantidades de precipitación y rayos.

Antecedentes

Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (UNAM, 2007). El promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 principalmente sobre las Sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal (CENAPRED, 2012).

En México la Secretaría de Salud registra desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos, en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. En los últimos años se ha observado un decremento en las defunciones probablemente porque la gente conoce mejor el fenómeno y sus consecuencias, así como las medidas de protección (CENAPRED, 2010).

Método de Trabajo

Para desarrollar el presente nivel de información se estableció un método de trabajo basado en los Términos de Referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos de la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU). Este método consiste en analizar las estaciones climatológicas que influyen en el municipio de Huichapan, extrayendo los días con registro de tormentas eléctricas, para posteriormente generar el mapa de distribución y así obtener el grado de peligro de acuerdo al número de eventos registrados a lo largo de un determinado periodo de tiempo. En la **Figura II.2.11.1** se muestra el método de trabajo empleado para el análisis de frecuencia de eventos por tormentas eléctricas.

Figura II.2.11.1 *Método de trabajo para tormentas eléctricas.*

Análisis de la información

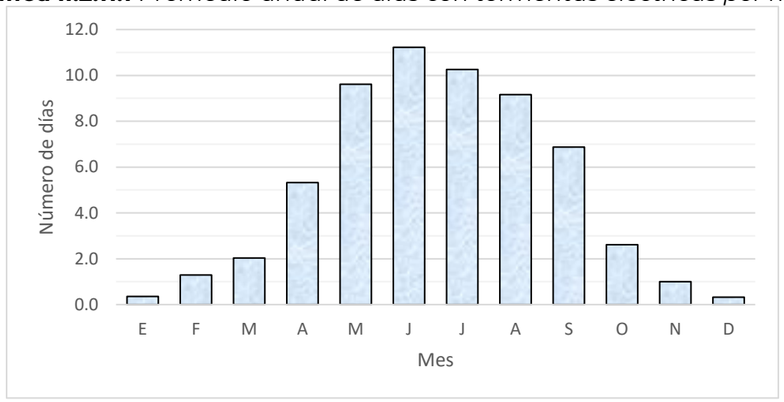
El análisis consiste en sumar el número de eventos (tormentas eléctricas) por mes, para cada año registrado en cada una de las seis estaciones climatológicas seleccionadas, con estos datos se obtiene el promedio anual de cada una de las estaciones y los resultados obtenidos se interpolan en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para obtener el mapa de distribución de días con tormentas eléctricas. En la **Tabla II.2.11.1** se observan las estaciones consultadas, así como el número de días con registro de tormentas eléctricas en un periodo de 31 años (1986 al 2016) y en la **Figura II.2.11.2** se observa la distribución del promedio anual de los días con eventos en cada una de las estaciones climatológicas.

Tabla II.2.11.1 *Promedio de días con tormentas eléctricas.*

Estación	Nombre	Días con T.E.	Prom Días con T.E.
13012	Huichapan	557	18.0
13064	Chapantongo	306	9.9
13081	Presa Golondrinas	102	3.3
13156	Tlaxcalilla	338	10.9
15192	Taxhie	508	16.4
22003	Centro Experimental Cadereyta	51	1.6
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.			

Las tormentas eléctricas se desarrollan con más frecuencia entre los meses de mayo y agosto, donde se tienen los mayores registros (**Gráfica II.2.11.1**), se realizó una interpolación para estimar el número de días con tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan, obteniendo un promedio de 11 tormentas eléctricas al mes.

Gráfica II.2.11.1 *Promedio anual de días con tormentas eléctricas por mes.*



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.

Para determinar el índice o grado de peligro se consideró el promedio de días con tormentas eléctricas ponderando los valores como se muestran en la **Tabla II.2.11.2**.

Tabla II.2.11.2 *Ponderación de valores.*

DÍAS	ÍNDICE	CATEGORÍA
0	0.00	Muy bajo a nulo
1 a 9	0.25	Bajo
10 a 19	0.50	Medio
20 a 29	0.75	Alto
> 30	1	Muy alto
Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2012.		

La distribución de los valores obtenidos en la tabla anterior se observa en la **Figura I II.2.11.3**, la cual representa el Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas (IPTE) para el municipio de Huichapan, el cual representa un índice de peligro medio.

El resultado obtenido por medio del análisis de las estaciones climáticas se comparó con la información generada por el CENAPRED en el Atlas Nacional de Riesgo a nivel estatal observando similitud entre ambos (**Figura II.2.11.4**).

Periodos de Retorno

El cálculo de los periodos de retorno para 5, 10, 15 y 20 años se realizó mediante la distribución de Gumbel, esta función ha sido utilizada para calcular valores extremos de días promedio con registro de tormentas eléctricas. En la **Tabla II.2.11.3** se encuentran los valores máximos calculados de días con tormentas eléctricas para cada una de las estaciones climatológicas.

Tabla II.2.11.3 *Periodos de retorno para tormentas eléctricas.*

Estación	Nombre	Prom Días con T.E.	Tr5	Tr10	Tr15	Tr20
13012	Huichapan	18.0	27.9	35.9	40.5	43.7
13064	Chapantongo	9.9	17.5	23.7	27.2	29.7
13088	Tasquillo	3.3	8.2	12.1	14.4	15.9
13156	Tlaxcalilla	10.9	16.8	21.6	24.2	26.1
15190	Presa San Idelfonso	16.4	26.8	35.3	40.1	43.5
22003	Centro Experimental Cadereyta	1.6	4.9	7.5	9.0	10.0
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.						

En las **Figuras II.2.11.5** a la **II.2.11.8** se observa la distribución de los valores máximos calculados para los periodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años. Para un TR5 se espera un rango de 16 a 26 días con tormentas eléctricas al año, aumentando gradualmente para un TR10 entre 22 y 34 días con tormentas eléctricas, para un TR15 se esperan entre 26 y 40 días con tormentas eléctricas y finalmente para un TR20 alcanzaría un rango de 28 a 42 días con tormentas eléctricas.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis se considera que Huichapan está expuesta a un riesgo medio por presencia de tormentas eléctricas. Por ello es importante que la población se mantenga informada de las condiciones meteorológicas con el fin de identificar la temporada donde el fenómeno es recurrente y así tomar las medidas necesarias de prevención y mitigación.

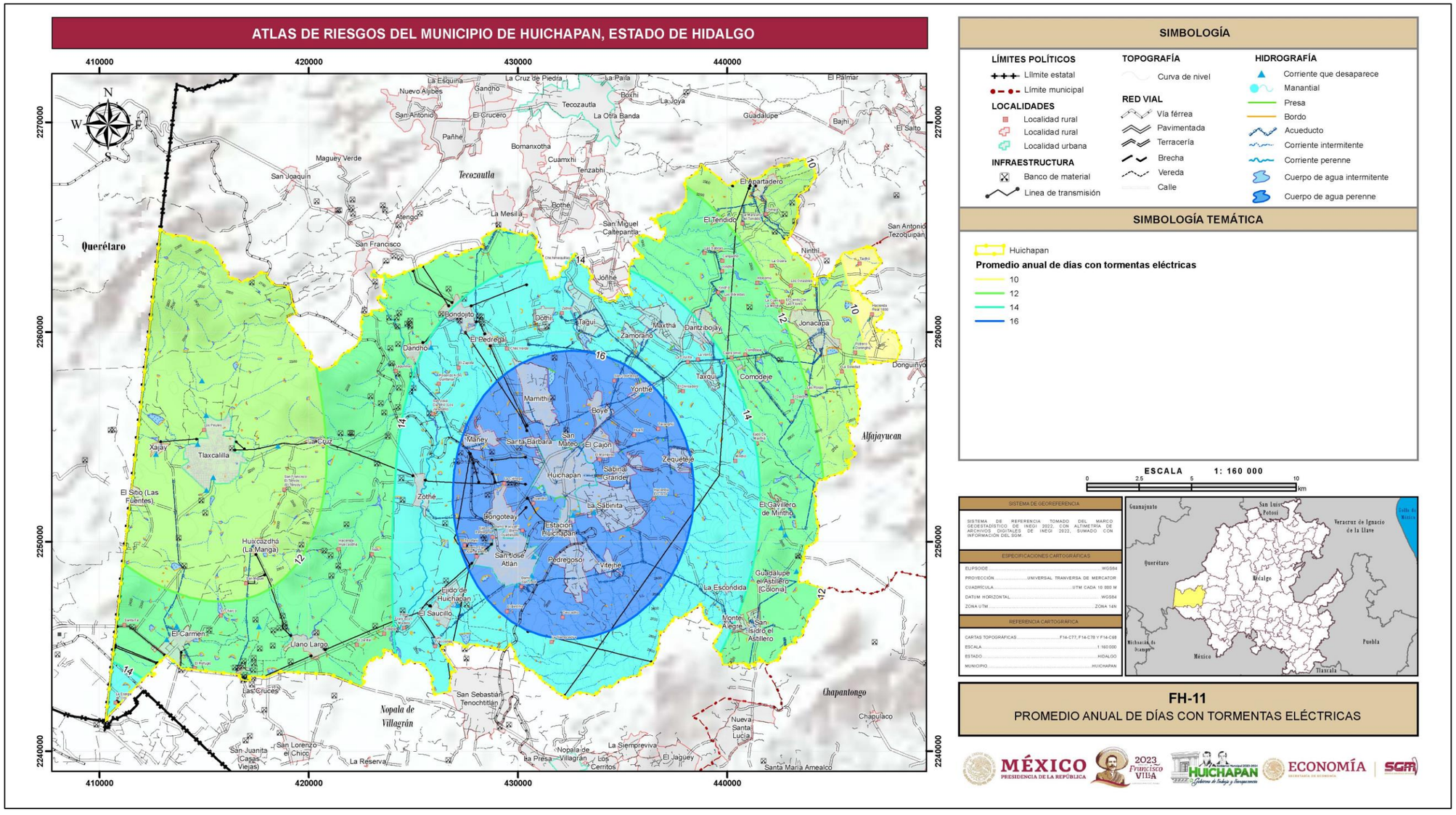
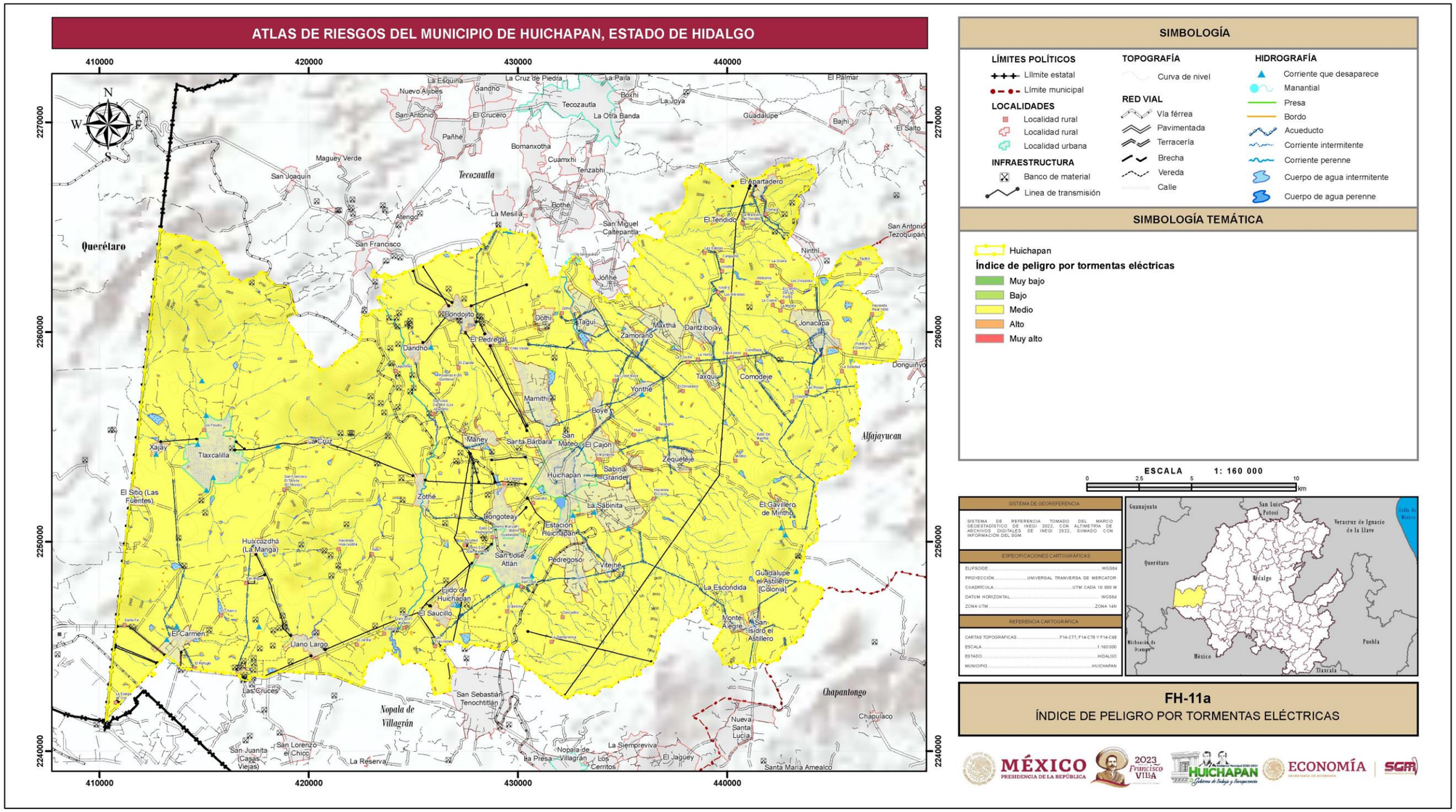


Figura II.2.11.2 *Promedio anual de días con tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Índice de peligro por tormentas eléctricas
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C88
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

FH-11a
ÍNDICE DE PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS

Figura II.2.11.3 *Índice de peligro por tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

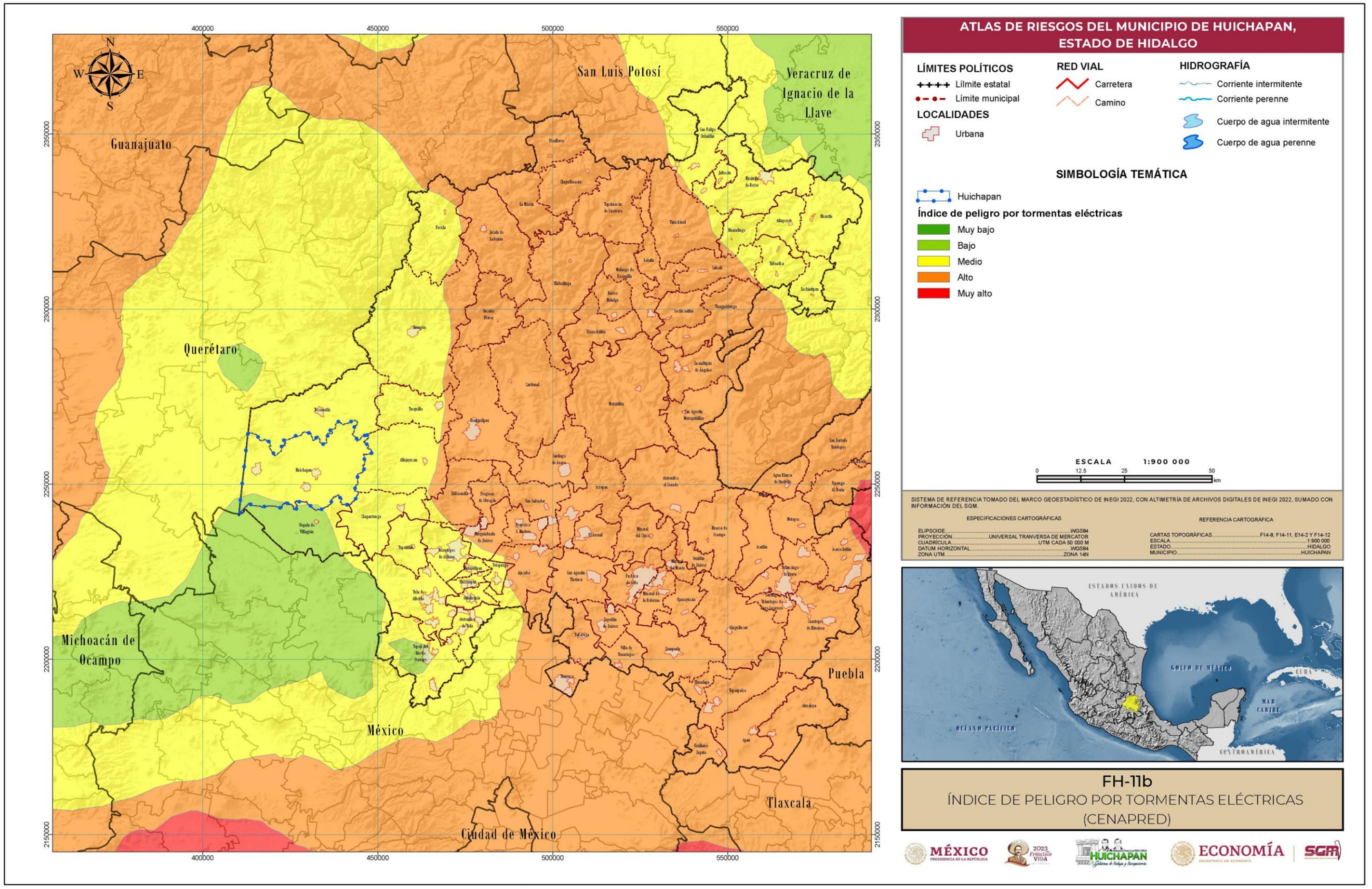


Figura II.2.11.4 *Índice de peligro por tormentas eléctricas a nivel estatal.*
Fuente: *Elaboración propia con información de ANR, 2023.*

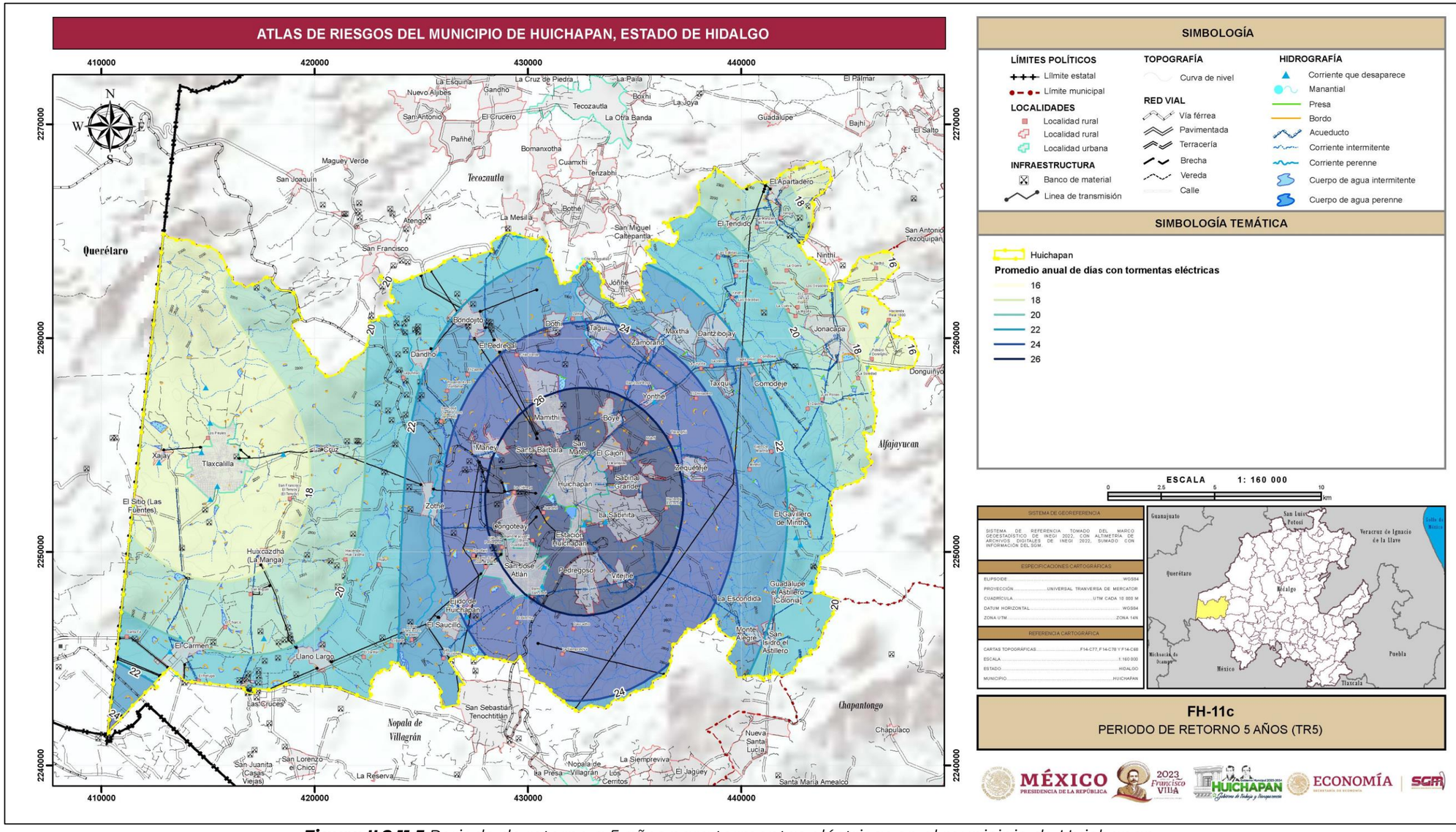


Figura II.2.11.5 *Periodo de retorno a 5 años para tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

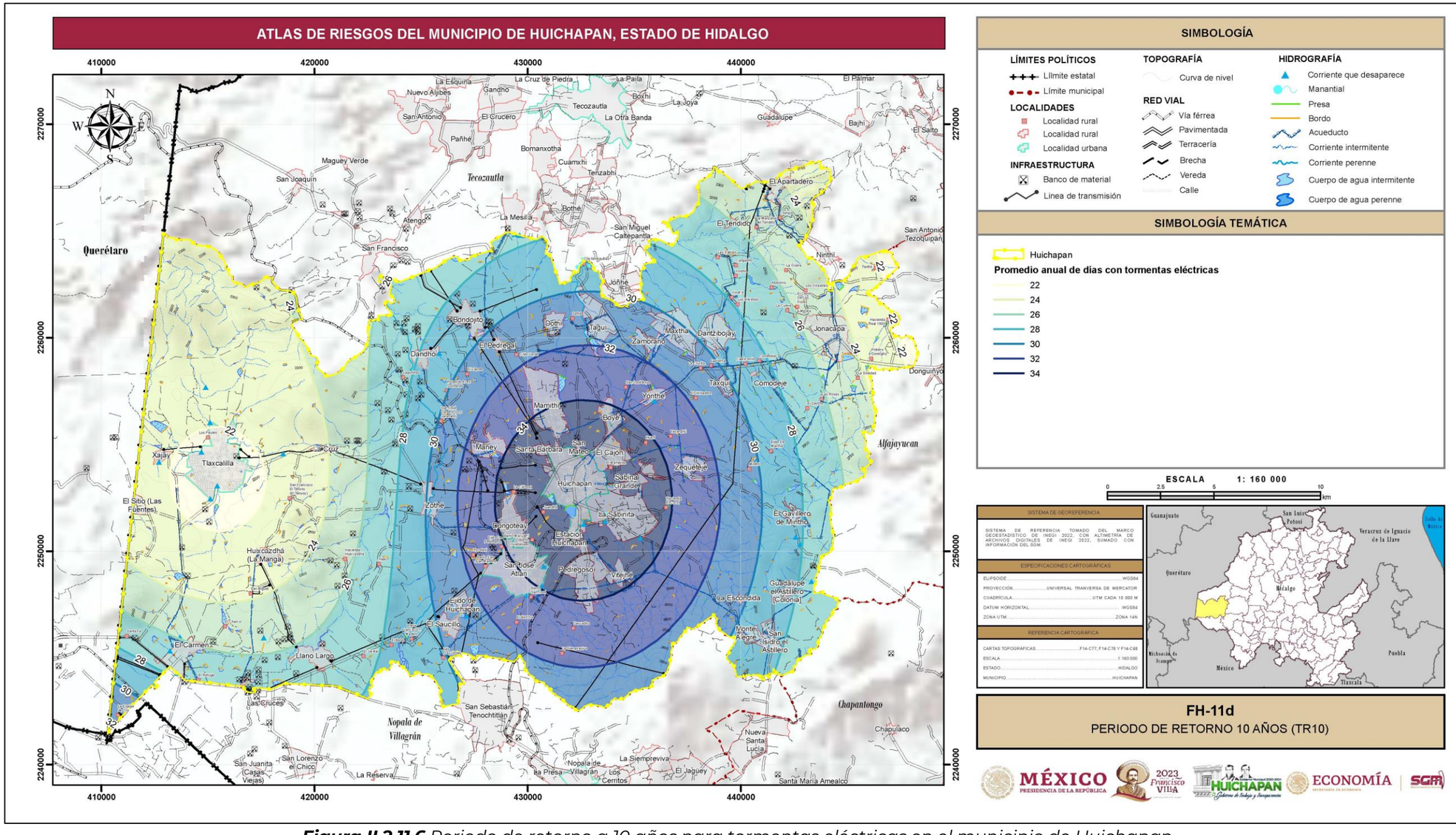


Figura II.2.11.6 *Periodo de retorno a 10 años para tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

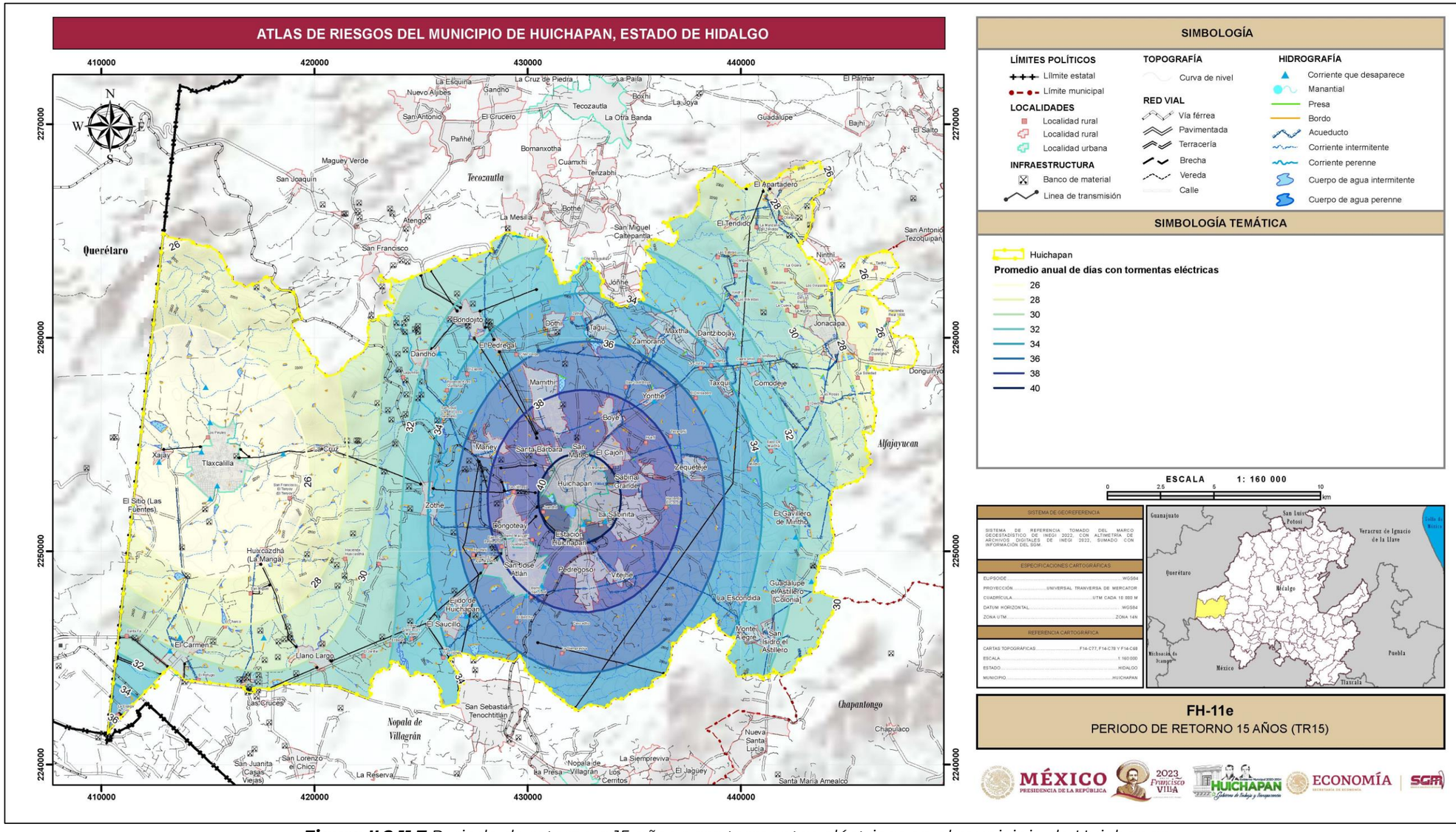


Figura II.2.11.7 *Periodo de retorno a 15 años para tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

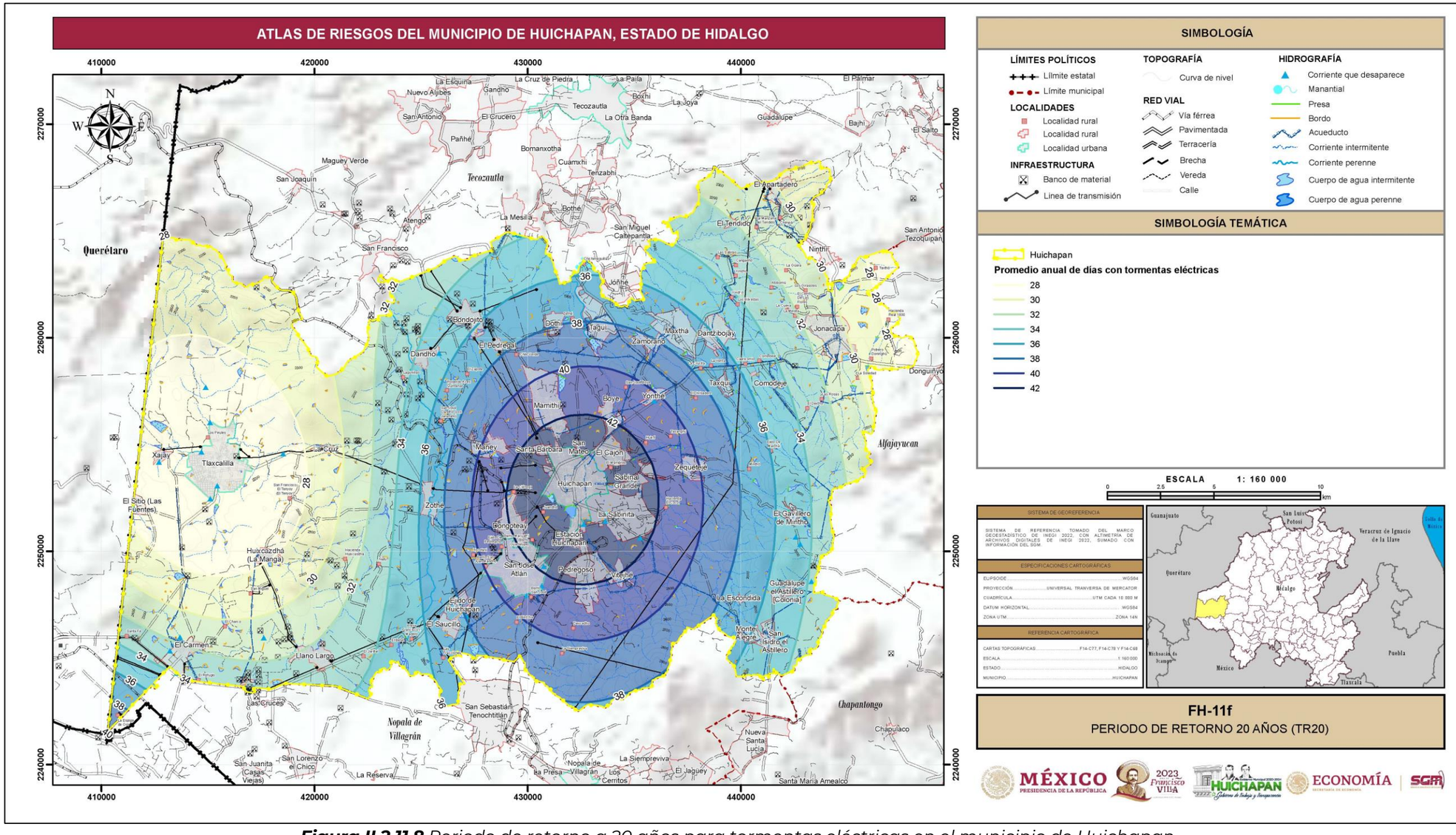


Figura II.2.11.8 *Periodo de retorno a 20 años para tormentas eléctricas en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de la CONAGUA, 2023.*

II.3 FENÓMENOS QUÍMICOS TECNOLÓGICOS

Introducción

El avance tecnológico de las sociedades demanda un constante incremento del volumen y la diversidad de productos químicos que son producidos, almacenados, transportados y utilizados, algunos de ellos muy peligrosos (Arcos e Izcapa, 2003).

Se considera una sustancia química peligrosa a aquellas que, por sus propiedades físicas y químicas, al ser transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de riesgos a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o peligros especiales y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones (CENAPRED, 2021).

Un accidente químico se puede definir como la ocurrencia de un evento mayor ya sea fuga, derrame, incendio o explosión de una o más sustancias químicas peligrosas como resultado de una situación fuera de control dentro de las actividades industriales normales que ocasionan un daño serio a las personas, el ambiente o las instalaciones. La afectación debido a un accidente químico depende de diversos factores como: la sustancia química involucrada, la cantidad de sustancia liberada, la distancia y distribución de los asentamientos humanos alrededor de la empresa, la dirección y velocidad del viento, las condiciones climatológicas, la existencia y efectividad de equipo de control y combate de la emergencia y la existencia de personal capacitado para atender el evento (Arcos e Izcapa, 2003).

Por lo anterior el CENAPRED (2021) menciona la importancia de poder estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo o un incendio, considerando el personal expuesto y las características de las instalaciones y procesos existentes.

II.3.1 Almacenamiento de sustancias peligrosas

Las principales sustancias químicas peligrosas almacenadas en mayor volumen en México son: los hidrocarburos, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, amoniaco, cloro, solventes, alcoholes, gas LP, nitrógeno e hidrógeno, entre otras. En específico, el estado de Hidalgo, la sustancia química peligrosa almacenada en mayor volumen es el hidróxido de sodio; y los combustibles almacenados en mayor volumen son la gasolina y el petróleo (Arcos e Izcapa, 2003).

Los tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas pueden ser de los siguientes tipos: de acuerdo a su ubicación, en tanques aéreos o superficiales y subterráneos; y de acuerdo a la presión, en tanques atmosféricos y a presión. Su tamaño, diseño, materiales forma e instrumentación dependen del producto y la cantidad a almacenar (CENAPRED, 2021).

La norma NOM-018-STPS-2000 establece la forma de identificación y clasificación de las sustancias químicas. Las propiedades que toma en cuenta son daños a la salud, inflamabilidad, reactividad y especiales dándole valores en una escala de 0 a 4 para indicar el grado de peligro que presentan. Esta norma establece dos opciones de identificación, una en forma de rombo y otra de rectángulo (**Figura II.3.1.1**). Los siguientes colores y criterios se emplean para ambas formas (CNPC, 2015):

Salud (azul)

4. Demasiado peligroso
3. Muy peligroso
2. Peligroso
1. Ligeramente peligroso
0. Como material corriente

Inflamabilidad (rojo)

4. Extremadamente inflamable – Debajo de los 25°C
3. Ignición a temperaturas normales – Debajo de los 37°C
2. Ignición al calentarse normalmente – Debajo de los 93°C
1. Debe precalentarse para arder – Sobre los 93°C
0. No arde

Reactividad (amarillo)

4. Puede explotar
3. Puede explotar por fuerte golpe o calor
2. Posibilidad de cambio químico violento
1. Inestable si se calienta
0. Estable normalmente

Especial (blanco)

~~W.~~ Evite utilización de agua
OX. Oxidante

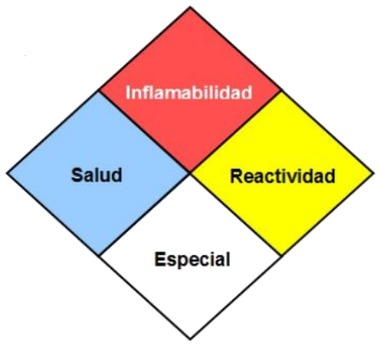


Figura II.3.1.1 *Identificación en rombo para sustancias químicas peligrosas.*

Los accidentes por escape de líquidos y gases inflamables pueden dar lugar a la formación de un charco ardiendo, a una bola de fuego o a un incendio tipo llamarada, cuando el combustible entra en contacto con un foco de ignición (**Tabla II.3.1.1**) (LEA, 2015)

Tabla II.3.1.1 *Tipos de incendios de sustancias peligrosas.*

INCENDIO	TIPO
Líquidos dentro de un tanque superficial	Incendio de tanque
Líquido dentro de un tanque subterráneo	Charco confinado (Pool fire confinado)
Líquido en un plano sin límites	Charco no confinado (Pool fire no confinado)
Gas a alta velocidad	Chorro o jet (Jet fire)
Nube de gas	Llamarada de alta velocidad (Flash fire)
Gases líquidos	Bola de fuego (BLEVE)
Fuente: Recuperado de LEA (2015) modificado por el SGM, 2023.	

En todo incendio que involucre líquidos y gases inflamables, la radiación térmica es uno de los efectos principales. La radiación térmica es una de las formas en que se transmite el calor generado por un cuerpo, se emite en forma de ondas electromagnéticas y no requiere de un medio conductor, por lo que se propaga instantáneamente por espacios libres. Se mide determinando su energía de intensidad (kW) por unidad de superficie (m^2) (LEA, 2015).

De acuerdo con LEA (2015), la gravedad de las consecuencias de la radiación térmica depende de la intensidad de la radiación (kW/m^2) y del tiempo de exposición (**Tabla II.3.1.2**). La intensidad de la radiación térmica está en función de las condiciones atmosféricas, la geometría del incendio y las características físico-químicas del producto en combustión.

Tabla II.3.1.2 *Efectos esperados de la radiación térmica.*

Intensidad de radiación térmica (kW/m^2)	Efecto esperado u observado
37.5	Suficiente para casar daño en equipos de proceso; colapso de estructuras. 100% de mortalidad en 1 minuto.
25	Intensidad de energía mínima requerida para provocar la ignición de madera en exposiciones prolongadas.
15.77	Intensidad en áreas con estructuras en donde no es deseable tener personal y en donde se cuenta con blindaje a la radiación térmica.
12.5	Máximo soportable protegido con trajes especiales por tiempo limitado.
9.5	El umbral de dolor se alcanza con 8 segundos de exposición, quemaduras de segundo grado en periodos de exposición de 20 segundos.
9.46	Exposición limitada a pocos segundos, suficiente para escapar.
6.31	Se pueden realizar acciones de emergencia con duración de hasta un minuto con equipo apropiado.
4.73	Se pueden realizar acciones de emergencia durante varios minutos con ropa apropiada.
4	Suficiente para causar dolor después de 20 segundos. Probable formación de ampollas.
1.58	Máximo soportable por personas con vestimenta normal en un tiempo prolongado.
1.4	No se presentan molestias, aunque durante largos periodos de exposición equivale a la intensidad del sol de verano a medio día.
Fuente: Recuperado de Salazar (2020) y LEA (2015), modificado por el SGM, 2023.	

En el municipio de Huichapan las sustancias almacenadas en mayor volumen son gasolina, diésel y gas LP por lo que se realizará un análisis para estimar la radiación térmica liberada en caso de fuga donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición que pueda generar un incendio.

Antecedentes

Se han presentado varios accidentes relacionados con el almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en el municipio de Huichapan, a continuación, se describe brevemente algunos de ellos.

El 11 de marzo de 2013 ocurrió un incendio en una bodega de desperdicios industriales en la planta cementera de CEMEX que dejó como saldo dos trabajadores lesionados, al sitio acudieron elementos de bomberos y Protección Civil para sofocar el fuego (García, 2013).

Nuevamente en CEMEX en noviembre del 2015 los quemadores se salieron de control y provocaron una explosión que generó una fumarola la cual arrojó cenizas

a los habitantes de la comunidad de Maney quienes fueron los principales afectados (Villeda, 2015).

El 10 de diciembre de 2018 una casa habilitada como depósito clandestino de huachicol en la comunidad de Maney, ardió en llamas debido a la acumulación de gases que emiten los combustibles. La explosión envolvió en su totalidad la casa consumiéndola en cenizas, afortunadamente los habitantes lograron ponerse a salvo. Personal contra incendios de la planta de CEMEX y Protección Civil acudieron al lugar para sofocar las llamas (Pérez, 2018).

El 4 de julio de 2022 mientras una revolvedora de material cargaba gasolina caminaba por la vía pública una mujer fumando un cigarro lo cual detonó la explosión, las llamas se originaron de inmediato y le provocaron serias heridas a la mujer, quien posteriormente falleció en el lugar. Al sitio acudieron elementos de emergencia, quienes trasladaron a la mujer a un hospital donde se confirmó su deceso (Magallán, 2022).

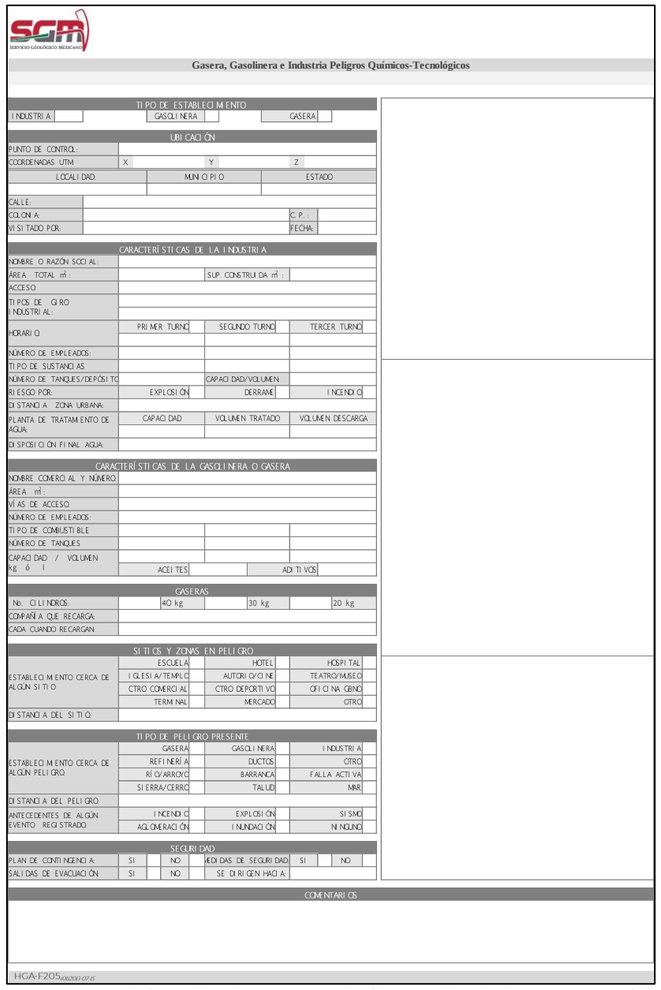
Método de trabajo

La metodología utilizada para el fenómeno de peligro por almacenamiento de sustancias peligrosas (**Figura II.3.1.2**) incluye la búsqueda y recopilación de antecedentes, así como la identificación de industrias o establecimientos que almacenen alguna sustancia peligrosa.

Posteriormente se realizan recorridos en campo en las instalaciones seleccionadas para el llenado de la ficha técnica HGA-F205 del SGM (**Figura II.3.1.3**) donde se recopilan datos importantes para el análisis como: ubicación, el tipo de combustible almacenado, el volumen o capacidad de almacenamiento, número de tanques de almacenamiento, accesos principales y establecimientos cercanos (escuelas, hospitales, templos, hoteles, etc.).

Con los datos recopilados en campo se realiza un análisis utilizando el software ALOHA (Aerial Locations of Hazardous Atmospheres) el cual es un programa diseñado para evaluar el impacto que tienen derrames de materiales peligrosos procedentes de tanques de almacenamiento, así como fugas de gases tóxicos a la atmósfera permitiendo definir radios de afectación con base en la radiación térmica liberada. Finalmente, con los radios obtenidos se realizan los mapas de riesgo por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

Figura II.3.1.2 *Método de trabajo para el almacenamiento de sustancias peligrosas.*



Gasera, Gasolinera e Industria Peligros Químicos-Tecnológicos

TIPO DE ESTABLECIMIENTO
INDUSTRIA | GASOLINERA | GASERA

UBICACIÓN
PUNTO DE CONTROL:
COORDENADAS UTM: X | Y | Z
LOCALIDAD | MUNICIPIO | ESTADO
CALLE:
COLONIA: | C.P.:
VISITADO POR: | FECHA:

CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA
NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:
ÁREA TOTAL m²: | SUP. CONSTRUIDA m²:
ACCESO:
TIPOS DE GIRO INDUSTRIAL:
HORARIO: PRIMER TURNO | SEGUNDO TURNO | TERCER TURNO
NÚMERO DE EMPLEADOS:
TIPO DE SUSTANCIAS:
NÚMERO DE TANQUES/DEPÓSITO: | CAPACIDAD/VOLUMEN:
RIESGO POR: EXPLOSIÓN | DERRAME | INCENDIO
DISTANCIA ZONA URBANA:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA: CAPACIDAD | VOLUMEN TRATADO | VOLUMEN DESCARGA
DISPOSICIÓN FINAL AGUA:

CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINERA O GASERA
NOMBRE COMERCIAL Y NÚMERO:
ÁREA m²:
VÍAS DE ACCESO:
NÚMERO DE EMPLEADOS:
TIPO DE COMBUSTIBLE:
NÚMERO DE TANQUES:
CAPACIDAD / VOLUMEN kg ó l: ACEITES | ADITIVOS

GASERAS
No. CILINDROS: 40 kg | 30 kg | 20 kg
COMPAÑÍA QUE RECARGA:
CADA CUANDO RECARGAN:

SITIOS Y ZONAS EN PELIGRO
ESTABLECIMIENTO CERCA DE ALGÚN SITIO: ESCUELA | HOTEL | HOSPITAL; IGLESIA/TEMPLO | AUTOPISTA/CARRETERA | TEATRO/MUSEO; CTRO. COMERCIAL | CTRO. DEPORTIVO | OFICINA GBNO; TERMINAL | MERCADO | OTRO
DISTANCIA DEL SITIO:

TIPO DE PELIGRO PRESENTE
ESTABLECIMIENTO CERCA DE ALGÚN PELIGRO: GASERA | GASOLINERA | INDUSTRIA; REFINERÍA | DUCTOS | OTRO; RÍO/ARROYO | BARRANCA | FALLA ACTIVA; SIERRA/CERRO | TALUD | MAR
DISTANCIA DEL PELIGRO:
ANTECEDENTES DE ALGÚN EVENTO REGISTRADO: INCENDIO | EXPLOSIÓN | SISMO; AGLOMERACIÓN | INUNDACIÓN | NINGUNO

SEGURIDAD
PLAN DE CONTINGENCIA: SI | NO | MEDIDAS DE SEGURIDAD: SI | NO
SALIDAS DE EVACUACIÓN: SI | NO | SE DIRIGEN HACIA:

COMENTARIOS

HGA-F205

Figura II.3.1.3 *Ficha técnica para Peligros Químicos-Tecnológicos.*

Trabajo en campo

En el municipio de Huichapan las principales instalaciones con almacenamiento en gran volumen de sustancias químicas peligrosas son cinco estaciones de servicio (gasolineras), tres estaciones de carburación (gaseras) y una industria cementera. En la **Figura II.3.1.4** se observa la ubicación geográfica de estas instalaciones, la mayoría se concentra cerca de la cabecera municipal, a continuación, se describe cada una de ellas.

HQT-01 Estación de servicio Emajufh (Número comercial: ES 08072).
Ubicada en la localidad de Jonacapa, el acceso a esta estación es por la carretera Ixmiquilpan-Querétaro en el kilómetro 29.5. Cuenta un área total de 3 640 m² y tiene dos tanques de almacenamiento, uno de diésel con 100 mil litros de capacidad y el segundo está dividido para gasolina regular (magna) con 60 mil litros de capacidad y gasolina Premium con 40 mil litros de capacidad (**Fotografías II.3.1.1 y II.3.1.2**).

Fotografía II.3.1.1 *Bombas de distribución en la estación de servicio Emajufh.*

Fotografía II.3.1.2 *Vista del acceso sobre la carretera Ixmiquilpan-Querétaro.*

HQT-02 Estación de carburación Hidalgas.
Ubicada en la cabecera municipal de Huichapan en la colonia San Mateo, el acceso a esta estación es por la carretera Libramiento Huichapan en el kilómetro 43.5. Cuenta con un área total de 4 190 m² y tiene dos tanques de almacenamiento, ambos de gas LP con capacidad de 5 mil litros (**Fotografías II.3.1.3 y II.3.1.4**).

Fotografía II.3.1.3 *Bomba de distribución en la estación de carburación Hidalgas.*

Fotografía II.3.1.4 *Entrevista con el encargado para llenado de la ficha técnica.*

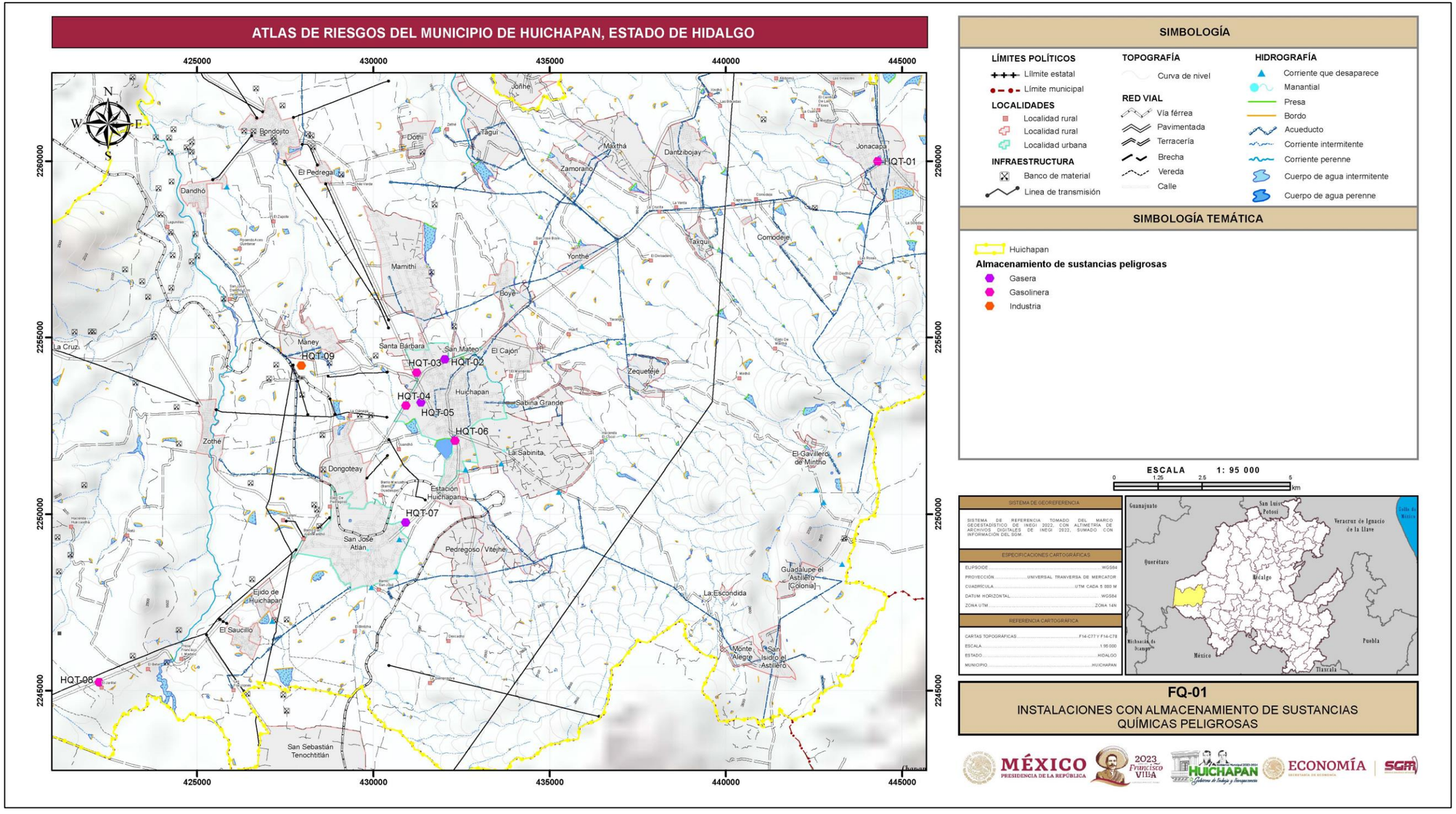


Figura II.3.1.4 *Mapa de instalaciones con almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

HQT-03 Estación de servicio Parador Santa Bárbara (Número comercial ES 12621). Ubicada en la cabecera municipal de Huichapan en la colonia Santa Bárbara, el acceso a esta estación es por la carretera Huichapan-Tecozautla en el kilómetro 2.3. Cuenta con un área total de 3 190 m² y tiene tres tanques de almacenamiento, uno de diésel con 40 mil litros de capacidad, el segundo para gasolina regular (magna) con 60 mil litros de capacidad y el último para gasolina Premium con 40 mil litros de capacidad (**Fotografías II.3.1.5 y II.3.1.6**).

Fotografía II.3.1.5 *Vista del acceso sobre la carretera Huichapan-Tecozautla.*

Fotografía II.3.1.6 *Válvulas de los tanques de almacenamiento y tubos de venteo.*

HQT-04 Estación de servicio Las mejores estaciones (Número comercial BP MS90). Ubicada en la cabecera municipal de Huichapan en la colonia Abundio Martínez, el acceso a esta estación es por la carretera Libramiento Huichapan en el kilómetro 45.8. Cuenta con un área total de 4 365 m² y tiene cuatro tanques de almacenamiento, dos de diésel con capacidad de 50 mil litros, uno para gasolina regular (magna) con capacidad de 50 mil litros y el último para gasolina Premium con capacidad de 50 mil litros (**Fotografías II.3.1.7 y II.3.1.8**).

Fotografía II.3.1.7 *Bombas de distribución de la estación de servicio BP MS90.*

Fotografía II.3.1.8 *Vista del acceso sobre la carretera Libramiento Huichapan.*

HQT-05 Estación de carburación Sonigas
Ubicada en la cabecera municipal de Huichapan en la colonia Abundio Martínez, el acceso a esta estación es por la calle Jorge Rojo Lugo No.138. Cuenta con un área total de 1 000 m² y tiene un tanque de almacenamiento de gas LP con capacidad de 4 913 litros (**Fotografías II.3.1.9 y II.3.1.10**).

Fotografía II.3.1.9 *Vista del acceso sobre la calle Jorge Rojo Lugo.*

Fotografía II.3.1.10 *Bomba de distribución y tanque de almacenamiento en la estación de carburación Sonigas.*

HQT-06 Estación de servicio Las mejores estaciones (Número comercial ES 05352). Ubicada en la cabecera municipal de Huichapan en la colonia Javier Rojo Gómez, el acceso a esta estación es por la avenida Pedro María Anaya No.56. Cuenta con un área total de 1 500 m² y tiene dos tanques de almacenamiento, uno de gasolina regular (magna) con capacidad de 41 mil litros y el segundo de gasolina Premium con capacidad de 41 mil litros (**Fotografías II.3.1.11 y II.3.1.12**).

Fotografía II.3.1.11 *Vista del acceso sobre la avenida Pedro María Anaya.*

Fotografía II.3.1.12 *Bombas de distribución de la estación de servicio ES05352.*

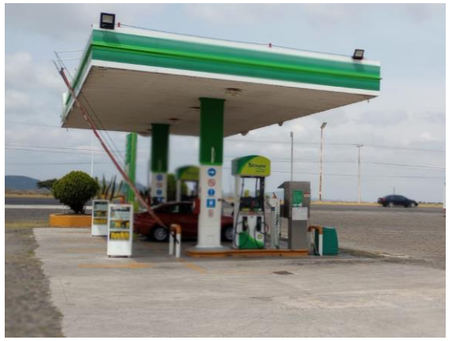
HQT-07 Estación de carburación Gas Exprés Nieto.
Ubicada en la localidad de San José Atlán, el acceso a esta estación es por la carretera Huichapan-Querétaro en el kilómetro 4.2. Cuenta con un área total de 2 900 m² y tiene un tanque de almacenamiento de gas LP con capacidad de 5 mil litros (**Fotografías II.3.1.13 y II.3.1.14**).

Fotografía II.3.1.13 *Tanques de gas para servicio a domicilio de la estación Gas Exprés Nieto.*

Fotografía II.3.1.14 *Bomba de distribución y tanque de almacenamiento de la estación Gas Exprés Nieto.*

HQT-08 Estación de servicio Las mejores estaciones (Número comercial BP 0842).
Ubicada en la carretera Ixmiquilpan Palmillas en el kilómetro 58.5, la localidad más cercana es Llano Largo. Cuenta con un área total de 5 900 m² y tiene cuatro tanques de almacenamiento, dos de diésel uno con capacidad de 60 mil litros y otro con capacidad de 40 mil litros, uno de gasolina regular (magna) con capacidad de 60 mil litros y el último para gasolina Premium con capacidad de 60 mil litros (**Fotografías II.3.1.15 y II.3.1.16**).

Fotografía II.3.1.15 *Estación de servicio ubicada en la carretera Ixmiquilpan-Palmillas.*



Fotografía II.3.1.16 *Bombas de distribución en la estación de servicio BP 0842.*

HQT-09 Industria CEMEX SAB de CV.
Ubicada en Rancho La Sala s/n, en el Ejido de Maney, nos recibió el Director de Operaciones el Ing. Rigoberto Sánchez, sin embargo, nos dijo que no podía darnos información de las sustancias químicas utilizadas en la planta. A pesar de lo anterior se pudo entrevistar a extrabajadores de la planta los cuales nos mencionaron que tienen un tanque de diésel de 15 000 litros utilizado en los hornos cementeros (**Fotografías II.3.1.17 y II.3.1.18**). También mencionó que la cantidad de combustible que almacena es poco debido a que a partir del 2013 la planta de CEMEX sustituyó la utilización de combustibles fósiles por FIRSU (Fracción Inorgánica del Residuo Sólido Urbano) como combustible alterno.

Cárdenas (2013) menciona que los hornos cementeros alcanzan temperaturas de hasta 2 000 °C, operan con un avanzado sistema de control y cuentan con un potente sistema de filtrado y neutralizado de gases, lo que les permite aprovechar los residuos sólidos que ya no tienen posibilidad de reciclarse directamente.

Fotografía II.3.1.17 *Acceso principal a la industria CEMEX SAB de CV.*

Fotografía II.3.1.18 *Instalaciones de CEMEX SAB de CV.*

En la **Tabla II.3.1.3** se resumen los datos más importantes de cada una de las estaciones de carburación, de servicio e industrias en el municipio de Huichapan, estos datos se utilizarán para realizar los modelos de simulación.

Tabla II.3.1.3 *Estaciones de servicio y de carburación en el municipio de Huichapan.*

Clave	Nombre	Ubicación	Tipo	Combustible	Volumen Total Almacenado
HQT-01	Estación de Servicio Emajufh	Jonacapa	Gasolinera	Gasolina-Diésel	200 000 litros
HQT-02	Hidalgas	San Mateo	Gasera	Gas LP	10 000 litros
HQT-03	Servicio Parador Santa Bárbara	Santa Bárbara	Gasolinera	Gasolina-Diésel	140 000 litros
HQT-04	Las mejores estaciones (BP)	Abundio Martínez	Gasolinera	Gasolina-Diésel	150 000 litros
HQT-05	Sonigas	Abundio Martínez	Gasera	Gas LP	4 913 litros
HQT-06	Las mejores estaciones (Flash)	Javier Rojo Gómez	Gasolinera	Gasolina-Diésel	82 000 litros
HQT-07	Gas Exprés Nieto	San José Atlán	Gasera	Gas LP	5 000 litros
HQT-08	Las mejores estaciones (BP)	Llano Largo	Gasolinera	Gasolina-Diésel	220 000 litros
HQT-09	CEMEX	Ejido Maney	Industria	Diésel	15 000 litros

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Análisis de la información

Se utilizó el software ALOHA para realizar los modelos de simulación en caso de una fuga donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición, para esto primero se establecieron:

Valores atmosféricos:

- Velocidad del viento: 3.5 m/sec
- Dirección del viento: Az 162 (SE)
- Temperatura del viento: 20°C

Obtenidos de la Estación Meteorológica Automática (EMA) de Huichapan.

Tipo de combustible:

- N-Octano; para gasolina y diésel
- Propileno; para gas LP

Volumen:

Se consideró un solo tanque con el volumen total y almacenamiento al 100% de su capacidad

Dimensiones del tanque:

Se considera un tanque cilíndrico horizontal de dimensiones variables en función al volumen.

Para las estaciones de servicio (gasolineras) con claves HQT-01, HQT-03, HQT-04, HQT-06 y HQT-08 se considera una fuga por una tubería o válvula en un tanque cilíndrico horizontal donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición generando un incendio tipo charco (pool fire) con un radio máximo de 5 metros. Se obtuvieron tres radios (**Figura II.3.1.5**):

- De 22 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 33 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 54 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Para las estaciones de carburación (gaseras) con claves HQT-02, HQT-05 y HQT-07 se considera una fuga por una tubería o válvula en un tanque cilíndrico horizontal donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición generando un incendio tipo chorro o jet (jet fire). Se obtuvieron tres radios de diferentes medidas para cada una de estas estaciones (**Figura II.3.1.6**):

Estación HQT-02:

- De 86 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 127 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.

- De 201 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Estación HQT-05:

- De 72 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 107 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 170 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Estación HQT-07:

- De 78 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 116 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 184 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Para la industria cementera (CEMEX) con clave HQT-09 se considera una fuga por una tubería o válvula en un tanque cilíndrico vertical donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición generando un incendio tipo charco o (pool fire) con un radio máximo de 5 metros. Se obtuvieron tres radios (**Figura II.3.1.7**):

- De 22 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 33 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 54 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Conclusiones

El riesgo por almacenamiento de sustancias peligrosas está condicionado a un evento de incendio, fuga o explosión durante su manejo, para evitar estos eventos se tienen medidas de seguridad para la operación segura y eficiente, aunado a esto también es necesario dar adecuado mantenimiento a los equipos e instalaciones, cumplir con normas de construcción y diseño para el almacenamiento de sustancias peligrosas, así como contar con personal capacitado para el manejo de las mismas.

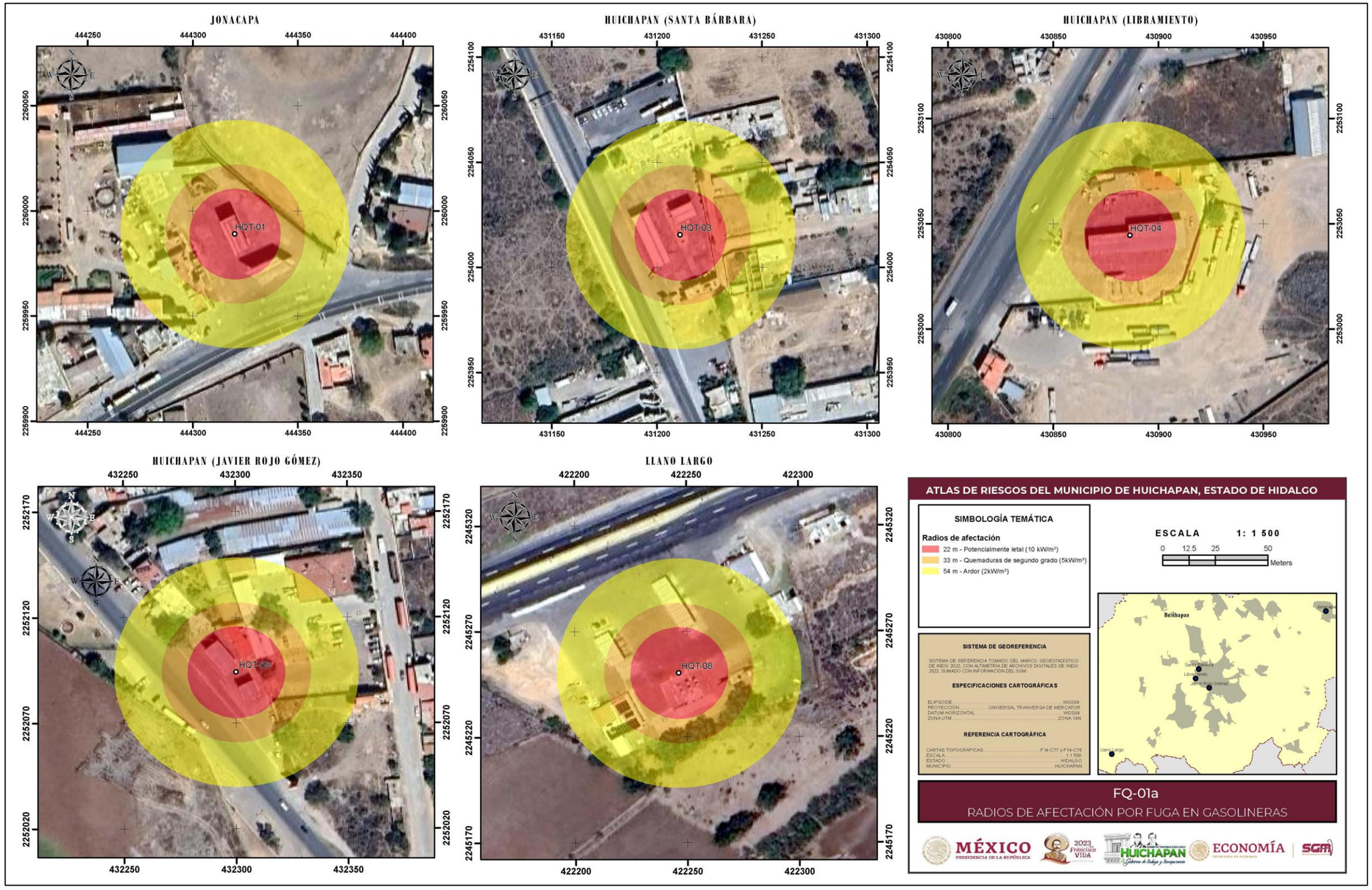


Figura II.3.1.5 *Radios de afectación por fuga en gasolineras.*
Fuente: *Elaboración propi, 2023.*

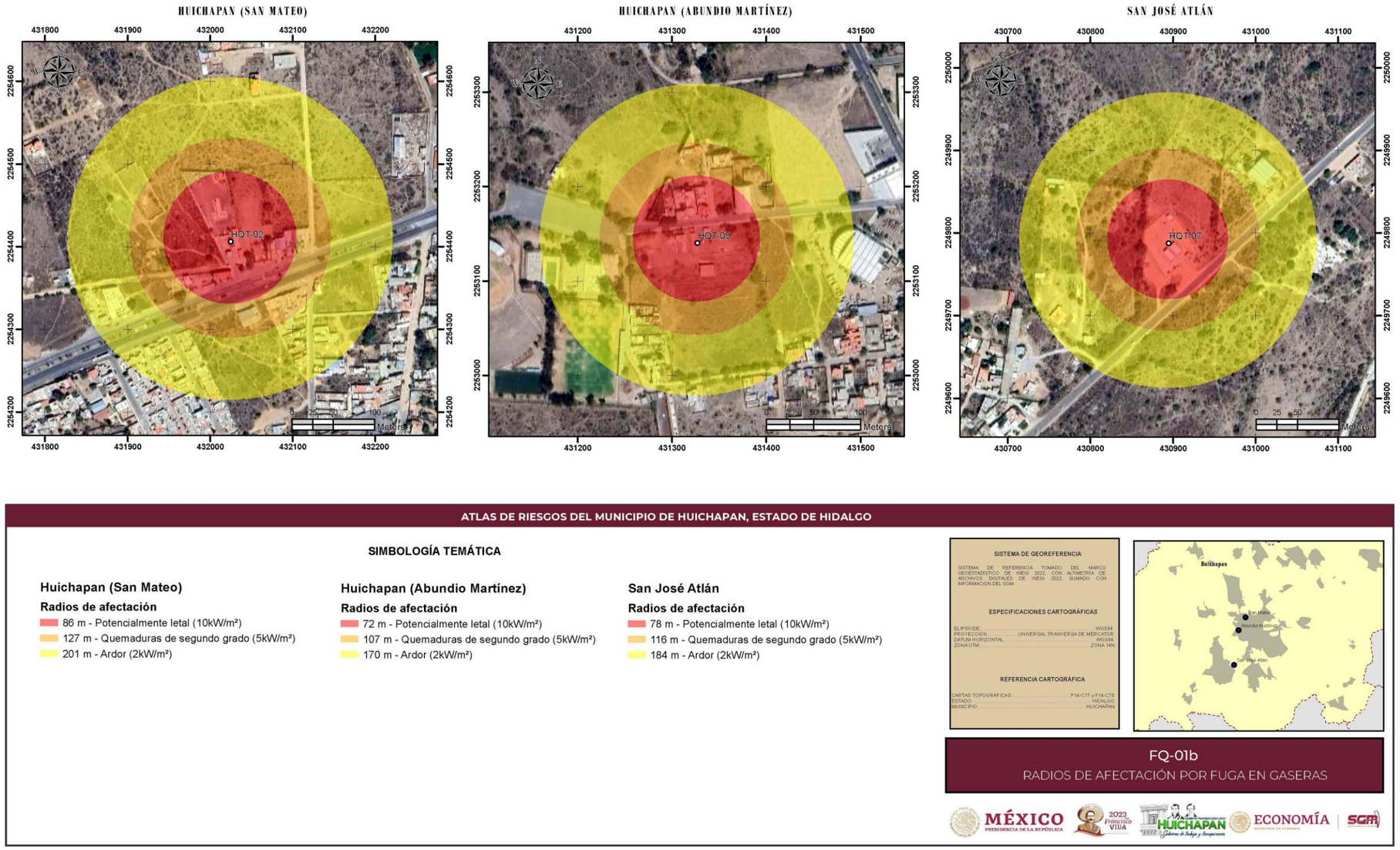


Figura II.3.1.6 *Radios de afectación por fuga en gaseras.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

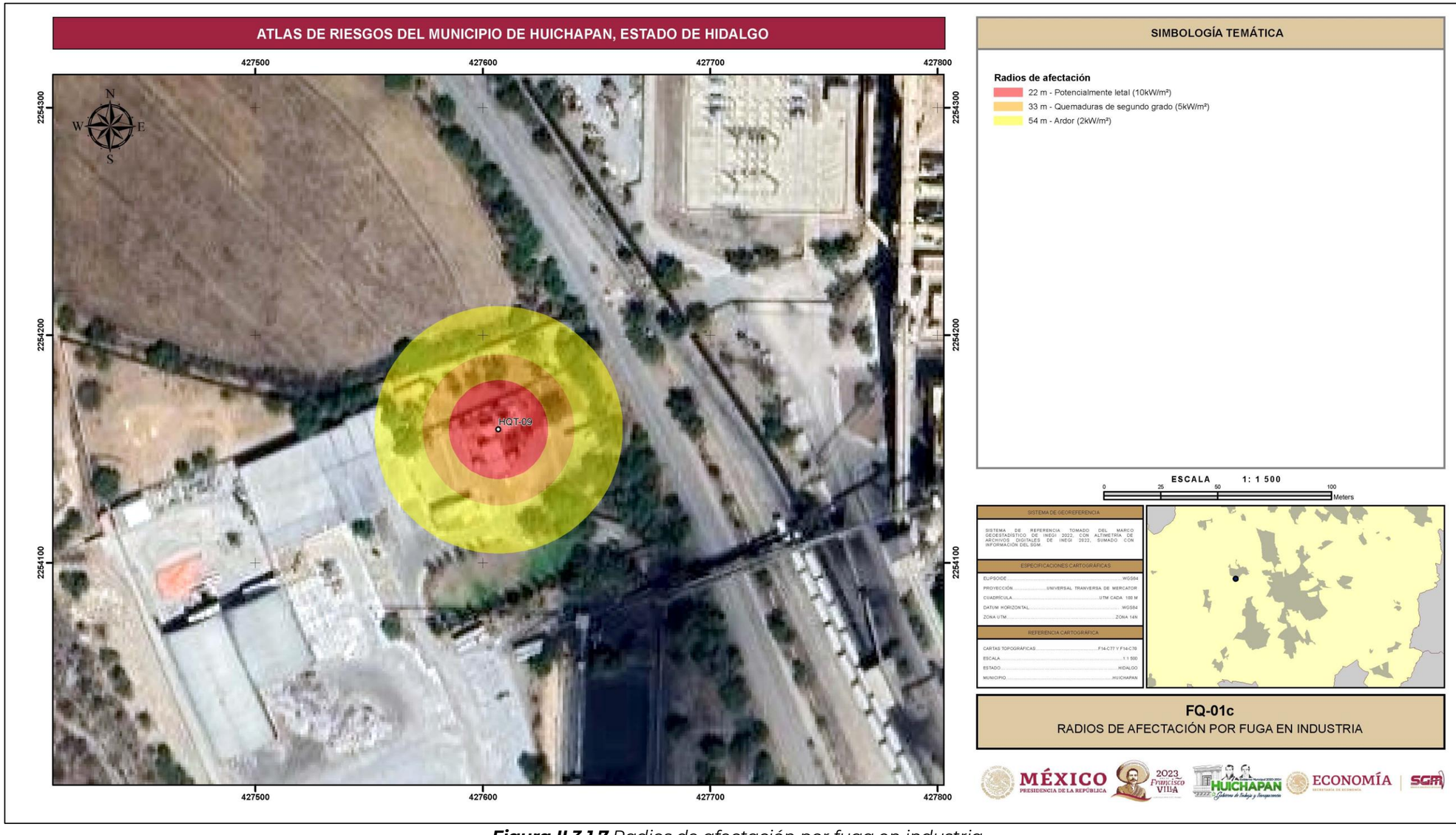


Figura II.3.1.7 *Radios de afectación por fuga en industria.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

II.3.2 Transporte terrestre de sustancias peligrosas

El transporte carretero es el medio más importante debido a la gran cantidad de pasajeros y carga transportados, por ello es necesario establecer medidas de seguridad para reducir la incidencia de accidentes, ya que estos afectan al autotransportista, a particulares, a la infraestructura y al ambiente (De la Cruz y Alcántara, 2001).

En México el desarrollo petrolero y el crecimiento de grandes ciudades ha propiciado que actualmente se ubiquen centros de distribución de energéticos en áreas densamente pobladas Los materiales y residuos peligrosos presentan un riesgo potencial en todas las etapas en las que se utilizan: generación, recolección, transporte y almacenamiento, así como en su tratamiento y disposición final, siendo el transporte una actividad de alto riesgo que puede ocasionar daños a las comunidades y al ambiente. (De la Cruz y Alcántara, 2001).

Algunos riesgos derivados del manejo inadecuado durante el transporte por carretera de materiales y residuos peligrosos son los incendios, explosiones, fugas o derrames, razón por la cual se han elaborado leyes, reglamentos y normas para su manejo, uno de ellos es el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (DOF, 2006), el cual establece la clasificación de las sustancias peligrosas considerando sus características (**Tabla II.3.2.1**):

Tabla II.3.2.1 *Clasificación de las sustancias peligrosas.*

CLASE	DENOMINACIÓN
1	Explosivos
2	Gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión
3	Líquidos inflamables
4	Sólidos inflamables
5	Oxidantes y peróxidos orgánicos
6	Tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos
7	Radioactivos
8	Corrosivos
9	Varios

Fuente: Elaboración propia con datos del DOF, 2006.

La anterior clasificación se complementa con la NOM-004-SCT-2008 la cual establece que las unidades de transporte, camiones, autotanques, carrotanques, etc., deberán portar carteles de identificación como señalamientos de seguridad, para advertir que los productos que transportan son peligrosos y presentan riesgos.

Los carteles deben tener forma de rombo con dimensiones mínimas de 250 x 250 mm, en la parte superior se colocará el símbolo internacional de la sustancia o material que se transporte de acuerdo a la clasificación de riesgo, en el vértice inferior el número correspondiente a su clase o división de riesgo y en su parte media, en un rectángulo se colocará el número de identificación de la sustancia o material peligroso asignado por la Organización de las Naciones Unidas (**Figura II.3.2.1**).

Figura II.3.2.1 *Carteles de identificación destinadas al transporte de materiales peligrosos.*
Fuente: *Recuperado de DOF, 2008, modificado por SGM, 2023.*

En el municipio de Huichapan el transporte terrestre de sustancias peligrosas es en su mayoría hidrocarburos (gasolina y diésel) y gas LP, que corresponden respectivamente a la clase 3 Líquidos inflamables y 2 Gases licuados. En el caso del transporte de hidrocarburos se consideran tres vialidades: la carretera federal libre Portezuelo-Palmillas, la carretera estatal libre Huichapan-Tecozautla y el

Libramiento Huichapan, las cuales son las rutas principales de acceso para el abastecimiento de estaciones de servicio (gasolineras).

Antecedentes

En el portal Datos Viales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2023) se puede consultar el Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA) del 2022 de la Red Nacional de Carreteras Pavimentadas de donde se obtuvieron los datos de las carreteras por donde se transportan sustancias químicas peligrosas **Tabla II.3.2.2**.

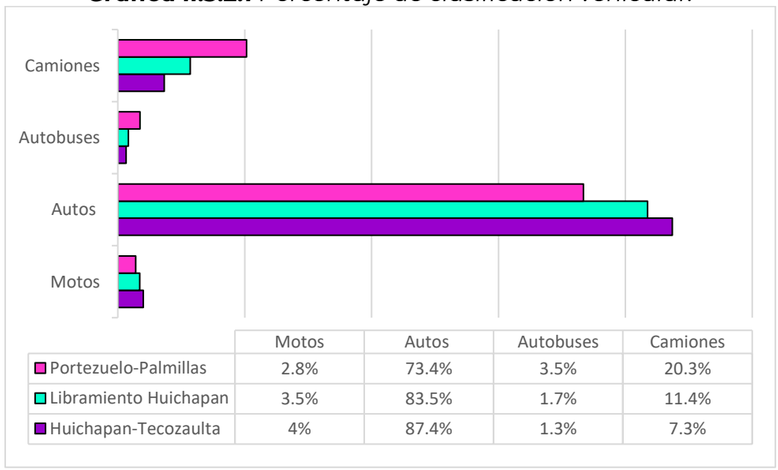
Tabla II.3.2.2 *Tránsito Diario Promedio Anual 2022 de las carreteras pavimentadas de Huichapan.*

CARRETERA	CLAVE	PUNTO GENERADOR	KM	TDPA
Portezuelo-Palmillas	00194	Jonacapa	29.41	5 834
		Huichapan	45.1	4 517
		T. Izq. Nopala	56.15	6 471
Libramiento Huichapan		T.C. Huichapan-Tecozautla	2	4 393
		T.C. Portezuelo-Palmillas Oeste	9	4071
Huichapan-Tecozautla	13030	Huichapan	0	6 665

Fuente: Elaboración propia con datos de SCT, 2023.

De igual forma se obtuvo del portal de Datos Viales (SCT, 2023) la clasificación vehicular agregada para cada una de las carreteras antes mencionadas, los autotanques utilizados para el transporte terrestre de sustancias peligrosas se incluye en el porcentaje correspondiente a los camiones.

Gráfica II.3.2.1 *Porcentaje de clasificación vehicular.*



	Motos	Autos	Autobuses	Camiones
Portezuelo-Palmillas	2.8%	73.4%	3.5%	20.3%
Libramiento Huichapan	3.5%	83.5%	1.7%	11.4%
Huichapan-Tecozaulta	4%	87.4%	1.3%	7.3%

Fuente: *Recuperado de SCT, 2023, modificado por SGM, 2023.*

En el municipio de Huichapan no se tienen registrados accidentes carreteros relacionados con el transporte de sustancias químicas peligrosas, sin embargo, de acuerdo al Anuario estadístico de colisiones en carreteras 2021 (Cuevas *et al.*, 2022) la carretera federal libre Portezuelo-Palmillas tuvo 27 colisiones a lo largo de sus 82.6 km, dejando como saldo un total 12 lesionados y 5 personas fallecidas en el sitio.

De estas 27 colisiones, 11 ocurrieron en el tramo carretero ubicado entre los kilómetros 43.7 y 71.4, es decir desde la localidad de Boye hasta la localidad de Santa Anita en el estado de Querétaro, dejando un saldo total de 5 lesionados y 4 personas fallecidas en el sitio (Cuevas *et al.*, 2022).

Las causas de las colisiones son de carácter multicausal, es decir, varias causas asociadas con un mismo evento, pudiendo ser el factor humano (velocidad excesiva, estado inconveniente, imprudencia, etc.), las condiciones del vehículo (malas condiciones mecánicas, luces, frenos, etc.), las condiciones del camino (mojado, objetos en el camino, falta de señalamientos, etc.) y agentes naturales (lluvia, niebla, etc.), por lo que es importante seguir el reglamento de tránsito al conducir y mantener el vehículo en buenas condiciones para reducir la probabilidad de un accidente.

Metodología

La metodología utilizada para el fenómeno de peligro por transporte terrestre de sustancias peligrosas (**Figura II.3.2.2**) incluye la búsqueda y recopilación de antecedentes, así como la identificación de los tipos de transporte de sustancias peligrosas que transitan por las calles y carreteras del municipio de Huichapan.

Posteriormente se realiza un análisis utilizando el software ALOHA (Aerial Locations of Hazardous Atmospheres) el cual es un programa diseñado para evaluar el impacto que tienen derrames de materiales peligrosos procedentes de camiones, autotanques y carrotanques utilizados en el transporte de sustancias peligrosas permitiendo definir radios de afectación con base en la radiación térmica liberada. Finalmente, con los radios obtenidos se realizan los mapas de riesgo por transporte terrestre de sustancias químicas peligrosas.

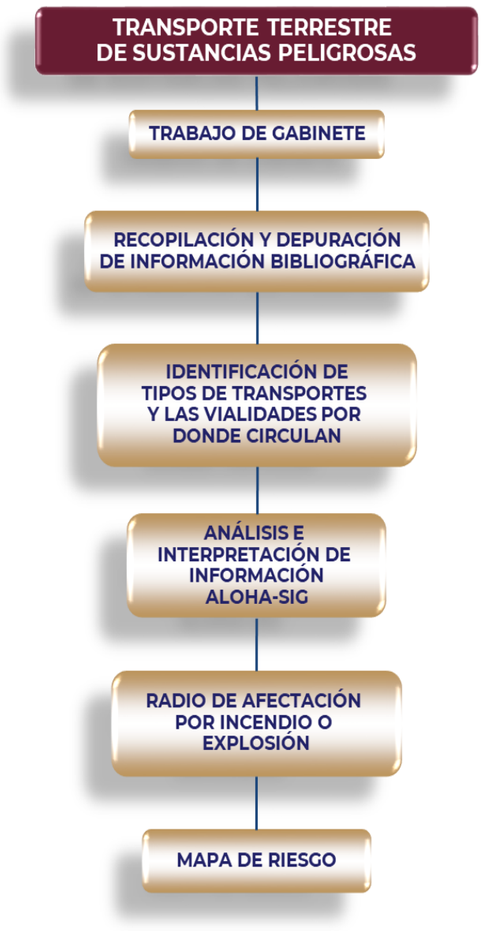


Figura II.3.2.2 *Metodología para el transporte terrestre de sustancias peligrosas.*

Análisis de la información

Se realizó un análisis en el software ALOHA en caso de una fuga en el transporte terrestre de hidrocarburos (gasolina y diésel) donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición, para esto se estableció el siguiente escenario:

Tabla II.3.2.3 *Valores utilizados en el modelo de simulación por fuga e incendio en el transporte terrestre de hidrocarburos.*

Valores atmosféricos	**Velocidad del viento**	**3.5 m/sec**
	Dirección del viento	**Az 162 (SE)**
	Temperatura del viento	**20°C**
Combustible	**Tipo**	**N-Octano (gasolina y diésel)**
	Volumen	**31 500 L**
Tanque	**Tipo**	**Cilíndrico horizontal**
	Diámetro	**2.7 m**
	Longitud	**5.5 m**
Fuente: Elaboración propia, 2023.		

Como resultado de la simulación de fuga de un tanque cilíndrico al 95 % de su capacidad se obtuvo que la sustancia química derramada forma un charco de 13.9 m de diámetro el cual entra en contacto con un foco de ignición provocando un incendio de tipo charco no confinado (pool fire no confinado) generando tres radios de riesgo:

- De 31 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 46 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 75 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Al no tener la certeza de donde o cuándo ocurrirá un accidente en el transporte de sustancias peligrosas se consideraron tomas las distancias de los radios obtenidos en el software de simulación y aplicarlo a las carreteras por donde circulan los autotanques de distribución, mencionadas anteriormente (**Figura II.3.2.3**).

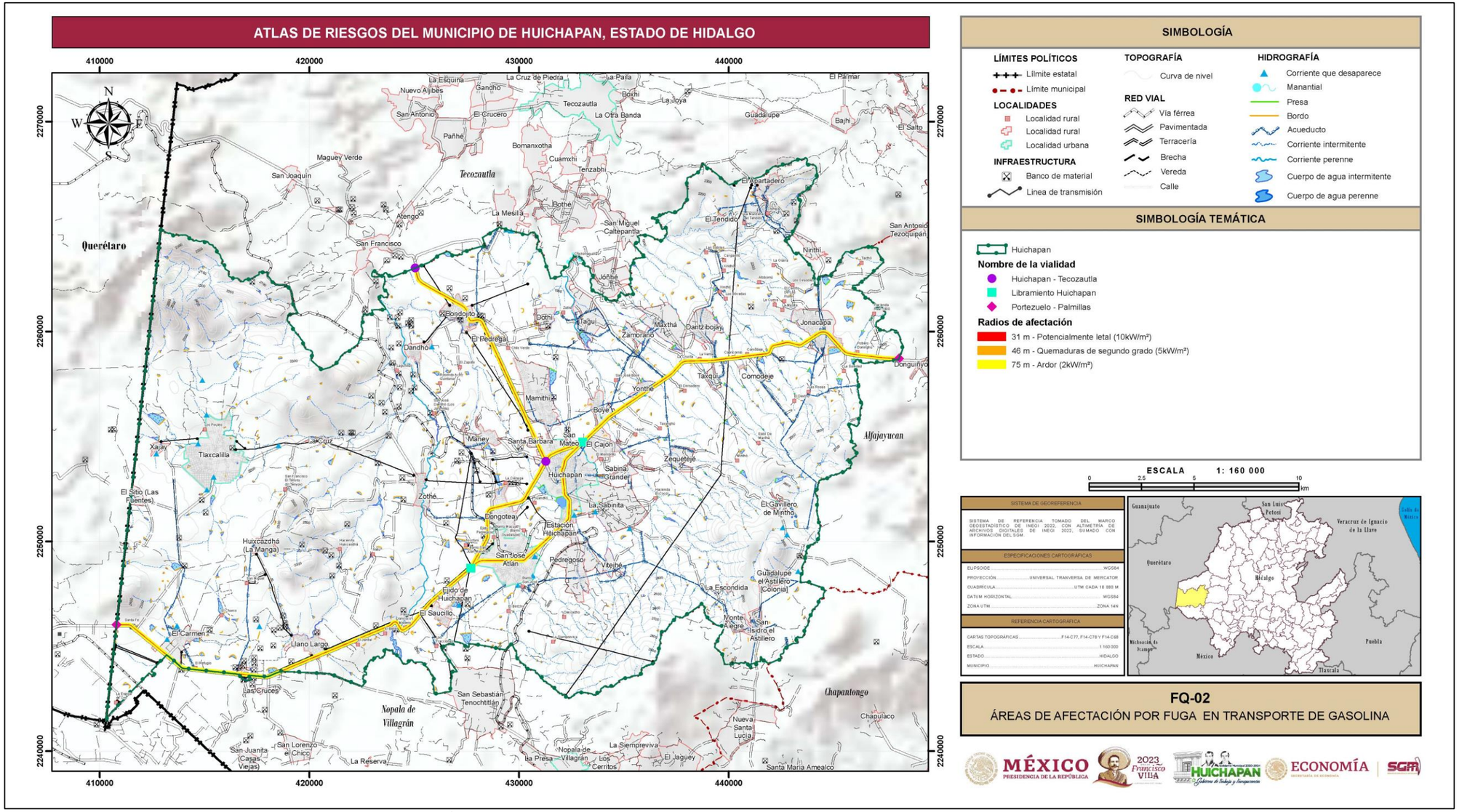


Figura II.3.2.3 *Áreas de afectación por fuga e incendio en transporte terrestre de hidrocarburos.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

En el caso de fuga en el transporte terrestre de gas LP donde el combustible entre en contacto con un foco de ignición, se estableció el siguiente escenario:

Valores atmosféricos	**Velocidad del viento**	**3.5 m/sec**
	Dirección del viento	**Az 162 (SE)**
	Temperatura del viento	**20°C**
Combustible	**Tipo**	**Propileno (gas LP)**
	Volumen	**1 700 L**
Tanque	**Tipo**	**Cilíndrico horizontal**
	Diámetro	**1 m**
	Longitud	**2.16 m**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como resultado de la simulación de fuga de un tanque cilíndrico al 90 % de su capacidad se obtuvo que la sustancia química derramada en contacto con un foco de ignición provocando un incendio tipo chorro (jet fire) generando tres radios de peligro:

- De 48 m de radio con 10 kW/m² de radiación térmica (potencialmente letal), considerado la zona de máximo riesgo.
- De 71 m de radio con 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado) el cual delimita la zona de intervención de bomberos equipados.
- De 111 m de radio con 2kW/m² (ardor) considerada una zona de alerta, es decir, el límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial.

Esta simulación se realizó tomando como ejemplo los autotanques (pipas) que abastecen gas LP a domicilio para tanques estacionarios Al no tener la certeza de donde o cuándo ocurrirá un accidente en el transporte de sustancias peligrosas se elaboraron mapas en tres sitios, cada uno en las localidades urbanas San José Atlán, Tlaxcalilla y la cabecera municipal de Huichapan teniendo en cuenta que este fenómeno podría ocurrir en cualquier calle o carretera por el que circulen autotanques (pipas) (**Figura II.3.2.4**).

Conclusiones

Los accidentes en el transporte terrestre de sustancia peligrosas se refieren a cualquier evento que interrumpe el traslado y puede provocar una pérdida en la contención del recipiente, los factores involucrados en la ocurrencia de accidentes pueden ser de tipo humano, asociados al vehículo, por las condiciones del camino o por agentes naturales.

Por lo anterior es importante establecer medidas de seguridad para su transporte y determinar las acciones de emergencia a seguir en caso de que sea necesario. Las herramientas que establecen las medidas de seguridad están descritas en leyes, reglamentos y normas disponibles para la consulta pública como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, así como diferentes Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) las cuales tienen como finalidad establecer las condiciones óptimas para el transporte de sustancias químicas peligrosas.

El transporte de sustancias peligrosas en el municipio de Huichapan se incrementa debido al flujo de tránsito por su carretera federal en dirección a Querétaro, lo que implica la necesidad de implementar medidas de seguridad adicionales dado a la mayor probabilidad de accidentes en ese tramo. También es importante fortalecer la infraestructura en señalamientos e iluminación, mantener en buenas condiciones la carretera y tener un protocolo de respuesta ante emergencias para proteger a las personas, comunidades circundantes y el ambiente.

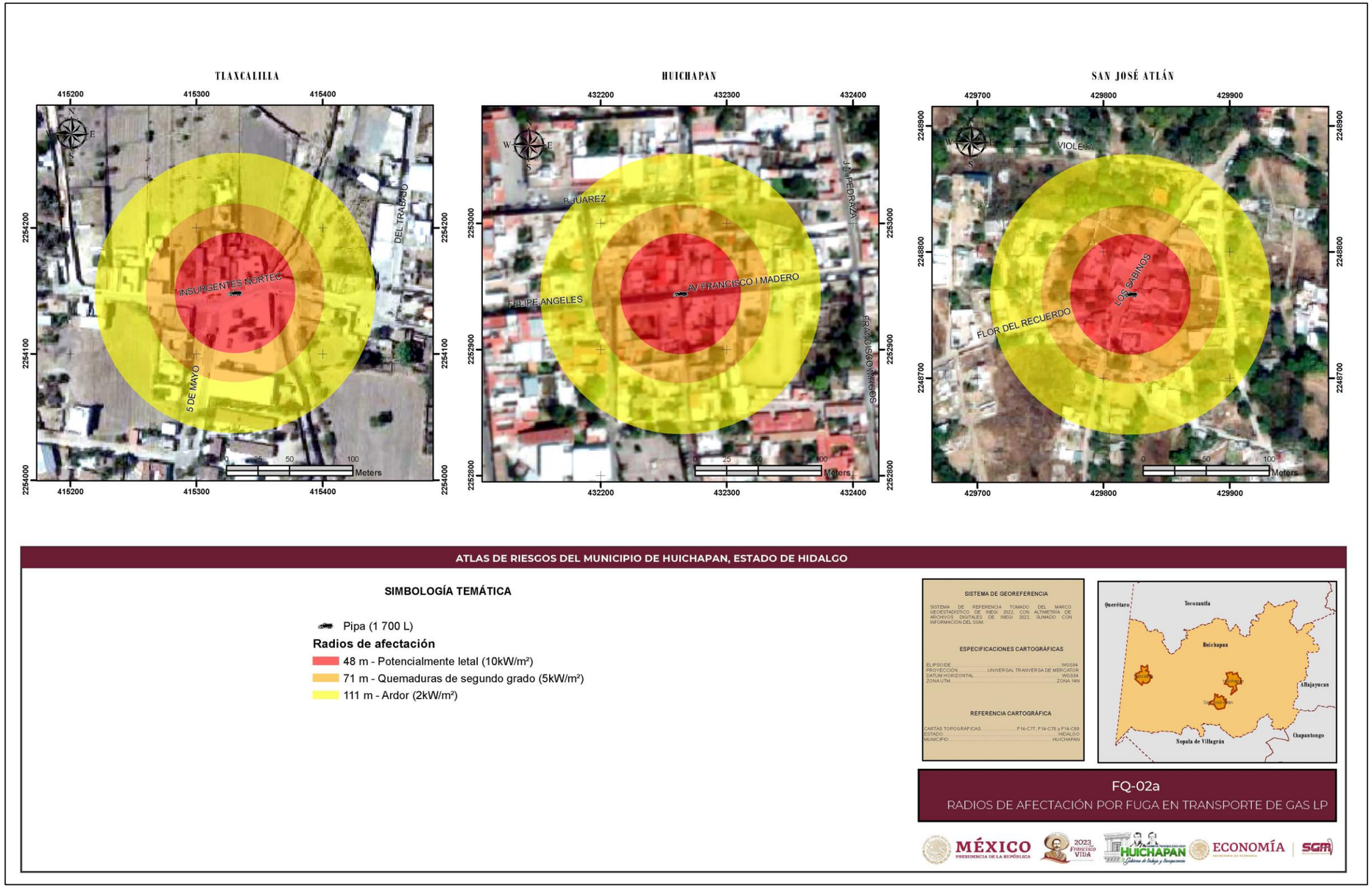


Figura II.3.2.4 *Radios de afectación por fuga e incendio en transporte terrestre de gas LP.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

II.3.3 Transporte por ductos de sustancias peligrosas

El transporte de sustancias peligrosas por tubería (ductos), es un medio seguro, económico y confiable para la distribución de gas natural, aceites, gasolinas, gas LP amoniaco, petróleo crudo, combustóleo entre otras (CENAPRED, 2021). La red de ductos en Hidalgo es importante para la distribución de gas en el centro del país, específicamente para su traslado a las refinerías de Tula y Salamanca. La red forma parte de una logística fundamental para la economía de México esencial para satisfacer las demandas energéticas y químicas del país.

En el caso específico del municipio de Huichapan con la presencia de un gaseoducto y oleoductos con dirección a la refinería de Salamanca se requiere una atención cuidadosa en el contexto de la señalización y gestión de riesgos.

En México las normas oficiales mexicanas que se encargan de señalizar las instalaciones fijas como lo son los ductos, son NRF-030-PEMEX-2009 y la NOM-026-STPS-2008 que remplazo a la NRF-009-PEMEX-2012 en 2019 según el DOF.

Según la NOM-026-STPS-2008 las identificaciones de riesgos por fluidos conducidos en tuberías deben cumplir con un color de seguridad, en este caso el amarillo que identifica un fluido peligroso. El color se seguridad puede aplicarse en distintas formas, como pintar toda la tubería de color amarillo, con bandas de identificación o con etiquetas indelebles. En el caso de los fluidos peligrosos se pueden identificar con bandas con franjas amarillas y negras.

Según la NRF-030-PEMEX-2009 se deben instalar señalamientos informativos para identificar y localizar las instalaciones (**Figura II.3.3.1**), así como la implementación de señalamientos restrictivos para limitar las actividades que puedan representar un riesgo para la seguridad de las personas e instalaciones (**Figura II.3.3.2**). También son necesarios los señalamientos preventivos para alertar al público sobre las condiciones de riesgos durante la ejecución de trabajos de construcción y mantenimiento (**Figura II.3.3.3**).

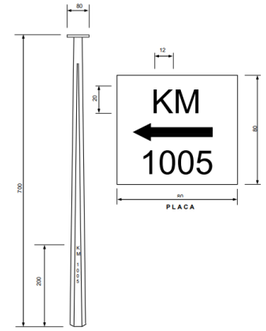


Figura II.3.3.1 *Señalamiento informativos destinados a indicar la posición de los ductos.*
Fuente: *Tomado de PEMEX, 2009.*

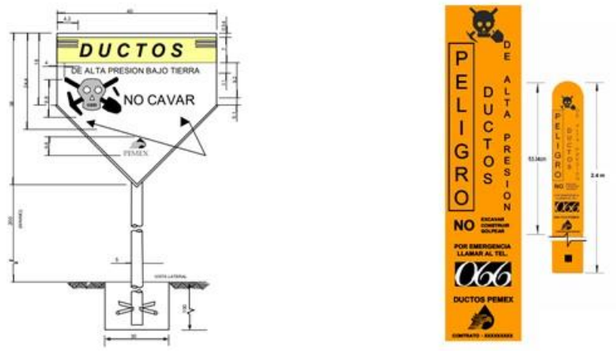


Figura II.3.3.2 *Señales de restricción de actividades que pongan en riesgo la seguridad de las personas y las instalaciones de PEMEX.*
Fuente: Tomado de, PEMEX, 2009.

Figura II.3.3.3 *Indica acerca de las condiciones de riesgo en la ejecución de trabajos de construcción y de mantenimiento.*
Fuente: Tomado de PEMEX, 2009.

Antecedentes

De acuerdo con Molina y Rodríguez (2023) el número de tomas clandestinas a los ductos de Petróleos Mexicanos (Pemex) creció 26.5% en el 2022 ya que el ese año se reportaron 13 832 tomas ilegales a los ductos, mientras que para el 2021 la cifra fue de 10 929.

Para el 2023 de acuerdo con datos del IGAVIM (2023) los estados con mayor número de tomas clandestinas por robo de hidrocarburo en ductos de PEMEX son Hidalgo con 2 981, Jalisco con 1 708, el Estado de México con 1 083 y Tamaulipas con 749. Cabe señalar que el estado de Hidalgo agrupa el 33.02 % de total de tomas clandestinas.

De las 2 981 tomas clandestinas en el estado de Hidalgo, los municipios con más tomas son Cuautepec de Hinojosa con 389, Tula de Allende con 361, Atotonilco de Tula con 283, Singuilucan con 254 y Tepeapulco con 187; Huichapan con 33 tomas clandestinas ocupa el lugar 19 de 22 municipios con tomas clandestinas en el estado de Hidalgo (IGAVIM, 2023).

En el caso de tomas clandestinas de gas LP en ductos de PEMEX los estados con mayor número de tomas son Veracruz con 990, Puebla con 613, el Estado de México con 259 y Tlaxcala con 216. El estado de Hidalgo solo cuenta con 11 tomas clandestinas en ductos de gas LP siendo el octavo estado con mayor número de tomas clandestinas (IGAVIM, 2023).

Aunado a lo anterior, Flores Hernández (2018) reportó que personal especializado del sector Ductos Salamanca, en coordinación con Protección Civil municipal de Huichapan, atendieron un incendio provocado por una toma clandestina en el tramo del poliducto Tula – Salamanca en inmediaciones de la comunidad Llano Largo. El incendio se provocó en un área despoblada sin que se reportaran afectaciones a la población, sin embargo, el siniestro provocó que los cables de energía eléctrica se reventaran dejando sin luz a las comunidades aledañas, también la circulación vial se vio afectada de Huichapan en dirección a San Juan del Río.

Por todo lo anterior es importante conocer los peligros asociados al transporte por ductos de sustancias químicas peligrosas, así como establecer zonas de seguridad y protocolos de actuación en caso de emergencia.

Método de trabajo

La metodología utilizada para el fenómeno de peligro por transporte por ductos de sustancias peligrosas (**Figura II.3.3.4**) incluye la búsqueda y recopilación de antecedentes, así como la digitalización de la red de ductos del municipio de Huichapan en el portal de internet Cartocrítica.

Posteriormente se realizan recorridos en campo en para verificar las líneas de los ductos y de ser necesario hacer las modificaciones pertinentes., así como obtener datos sobre la sustancia transportada.

Con los datos recopilados en campo se realizó un radio de amortiguamiento de acuerdo con las especificaciones de la Norma de Referencia Federal NRF-030-PEMEX-2009. Finalmente, con los radios obtenidos se realizan los mapas de riesgo por transporte por ductos de sustancias químicas peligrosas.

Figura II.3.3.4 *Metodología para el transporte por ductos de sustancias peligrosas.*

Trabajo en campo

De acuerdo con el portal Cartocrítica en el municipio de Huichapan cruzan dos oleoductos al suroeste del municipio y al norte un gasoducto. Por lo que se levantaron 11 puntos durante el recorrido en campo (**Tabla II.3.3.1**) para la verificación la línea de tubería y señalamientos, observando lo siguiente:

Tabla II.3.3.1 *Puntos de verificación en campo para transporte por ductos.*

CLAVE	LOCALIDAD	COORDENADAS
HD-01	Llano Largo	X: 419653 Y:2244382
HD-02	Camino a Tlaxcalilla	X:413131 Y:2247925
HD-03	El Carmen	X: 419803 Y:2244325
HD-04	Carretera Portezuelo-Palmillas	X: 414979 Y: 2243843
HD-05	Carretera Portezuelo-Palmillas	X:417723 Y: 2243546
HD-06	Jonacapa	X: 444288 Y: 2261670
HD-07	Dantzibojay	X: 439128 Y: 2261327
HD-08	Bondojito	X: 425114 Y: 2262659
HD-09	San Francisco (Tecozautla)	X: 422076 Y: 2262315
HD-10	Brecha a San Francisco	X: 418333 Y: 2260663
HD-11	Brecha a San Francisco	X: 419363 Y: 2261424

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En los puntos HD-01 y HD-02 se observa una válvula de seccionamiento del oleoducto Nuevo Teapa – Tula – Salamanca. Las válvulas de seccionamiento son accesorios que se utilizan para limitar el riesgo y daño ocasionado por rotura del ducto, proporcionan un sello seguro en ambos extremos, así como seccionar tramos de tubería para reparación, mantenimiento o emergencia del ducto (**Fotografías II.3.3.1 y II.3.3.2**).

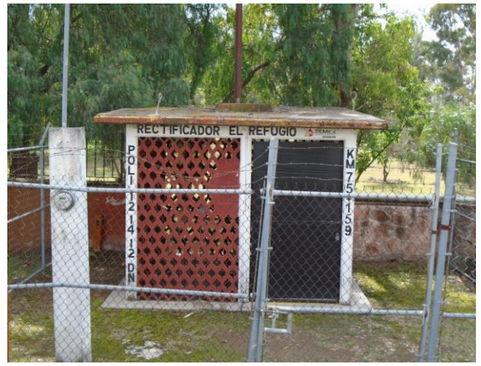
Fotografía II.3.3.1 *Válvula de seccionamiento observada cerca de la localidad Llano Largo.*

Fotografía II.3.3.2 *Válvula de seccionamiento Xajay, cerca de la localidad de Tlaxcalilla.*

En el punto HD-03 solo se observaron señalamientos de restricción al costado de la carretera Portezuelo – Palmillas, sin embargo, los letreros no mencionaban de manera escrita los metros correspondientes al derecho de vía. Metros más adelante,

sobre la misma carretera en el punto HD-04 se observó un rectificador de corriente, utilizado para la inspección de la protección catódica el cual mitiga la corrosión (**Fotografías II.3.3.3 y II.3.3.4**).

Fotografía II.3.3.3 *Señalamiento restrictivo cerca de la localidad en Carmen, a un costado de la carretera Portezuelo-Palmillas.*



Fotografía II.3.3.4*. Rectificador El Refugio observado sobre la carretera Portezuelo-Palmillas.*

En el punto HD-05 a un costado de la carretera Portezuelo-Palmillas se observa la proximidad del señalamiento restrictivo a la barda de una vivienda, (**Fotografía II.3.3.5**). En el punto HD-06 se observa al norte del municipio, cerca de la localidad de Jonacapa un señalamiento restrictivo de 10 m de derecho de vía para un ducto que transporta gas natural (**Fotografía II.3.3.6**).

Fotografía II.3.3.5 *Señalamiento restrictivo a escasos metros de la barda de una vivienda.*

Fotografía II.3.3.6 *Señalamiento restrictivo para un ducto de gas natural cerca de la localidad de Jonacapa.*

En el punto HD-08 cerca de la localidad de Bondojito se observó un rectificador de corriente para la inspección de la protección catódica para la mitigación de la corrosión perteneciente a la Transportadora de Gas Natural de la Huasteca (TGNH) correspondiente al gasoducto Tamazunchale – El Sauz (**Fotografías II.3.3.7 y II.3.3.8**)

Fotografía II.3.3.7 *Cartel de información en el rectificador.*

Fotografía II.3.3.8 *Rectificador observado cerca la localidad Bondojito.*

En los puntos HD-09 y HD-11 se observaron señalamientos restrictivos a lo largo de la brecha que va hacia la localidad de San Francisco en el municipio de Tecozautla, correspondientes al gasoducto Tamazunchale – El Sauz (**Fotografías II.3.3.9 y II.3.3.10**)

Fotografía II.3.3.9 *Señalamiento restrictivo observado en el punto HD-09.*

Fotografía II.3.3.10 *Señalamiento restrictivo observado en el punto HD-11.*

Análisis de la información

La Norma de Referencia Federal NRF-030-PEMEX-2009 establece los requisitos técnicos para la contratación del diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres. Entendiendo como ducto al sistema de tubería con diferentes componentes tales como: válvulas, dispositivos de seguridad o alivio, entre otros, por medio del cual se transportan los hidrocarburos (líquidos o gases).

En el apartado 8.1 de esta norma, se establecen los requisitos para el diseño y selección de materiales de los ductos para recolección y transporte de hidrocarburos considerando las condiciones de operación, requisitos particulares del derecho de vía y de la construcción. Estos criterios están establecidos para protegen al ducto cuando se encuentre expuesto a actividades que pueden originarle daños.

Debido a que el diseño, materiales y la construcción de los ductos son responsabilidad d de terceros, como población solo nos reta respetar el derecho de vía, para evitar accidentes ocasionados por fuga, derrame o incendio en ductos de transporte de sustancias peligrosas.

El derecho de vía se refiere a la franja de terreno donde se alojan los ductos, requerida para la construcción, operación, mantenimiento e inspección de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos. El ancho mínimo del derecho de vía debe ser de 10 a 25 m (PEMEX, 2009) (**Figura II.3.3.5**).

Conclusiones

El sistema de ductos desempeña un papel importante en el sector privado e industrial, ya que representan el medio más importante y eficiente de transporte de hidrocarburos, pero también representa un riesgo latente para la población y el ambiente.

Por lo anterior es importante que las empresas responsables de los ductos realicen inspecciones frecuentes para asegurar el correcto funcionamiento de los mismos, así como realizar mantenimientos preventivos y correctivos o en su defecto reemplazar, reparar o retirar el tramo de tubería que presente una condición insegura.

En el municipio de Huichapan, se debe poner especial atención en las localidades de Dantzibojay, Maxthá y Taguí ya que el gasoducto atraviesa zonas pobladas en estas localidades, de igual forma se recomienda establecer restricciones para el desarrollo urbano en el derecho de vía del gasoducto para que la obras no interfieran con los ductos y prevenir riesgos.

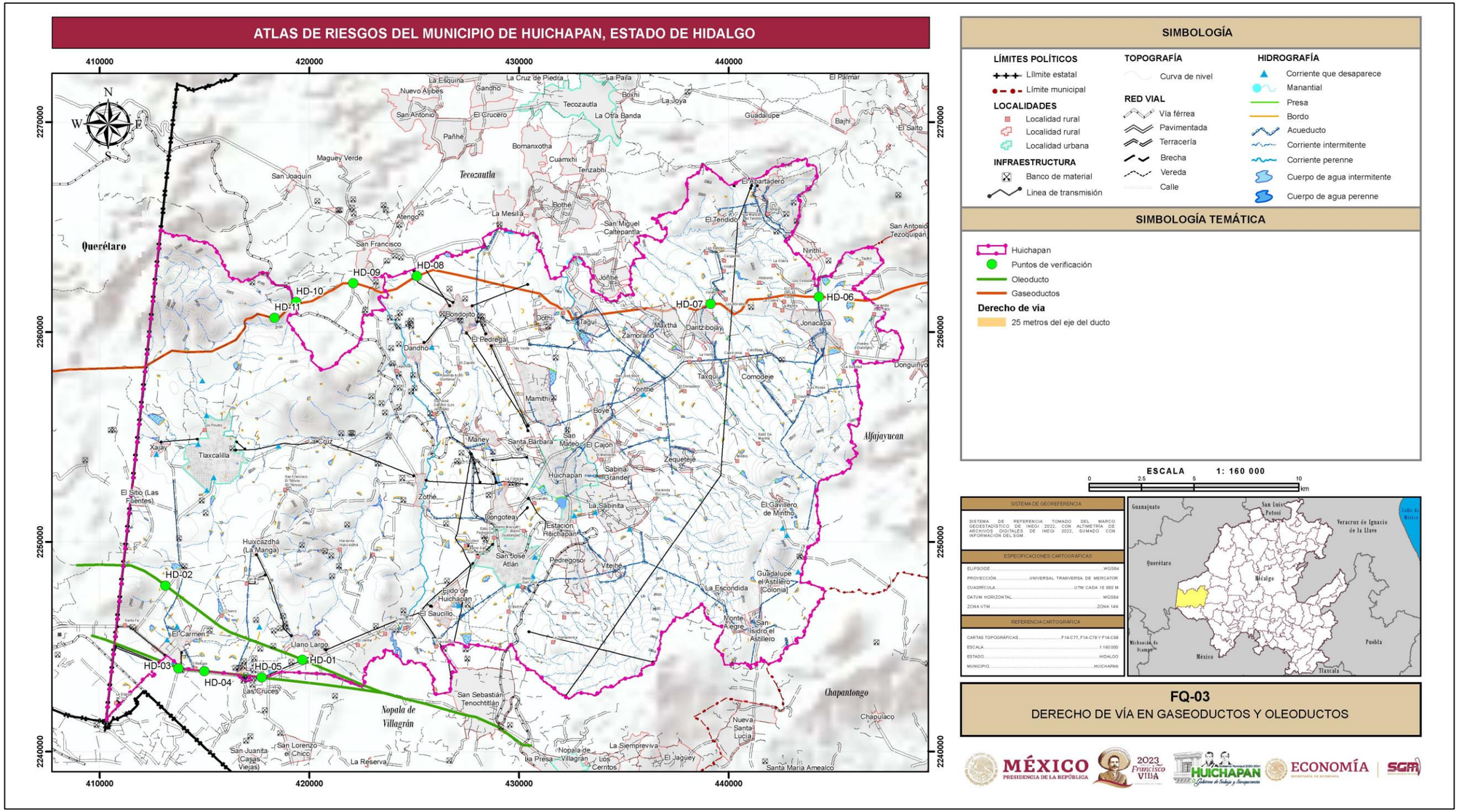


Figura II.3.3.5 *Derecho de vía en gasoductos y oleoductos en el municipio de Huichapan.*
Fuente: Elaboración propia, 2023.

II.3.4 Incendios forestales

México es uno de los países con mayor extensión territorial en el mundo de gran diversidad biológica y climática, por lo que en el país existen dos temporadas de incendios forestales, de enero a junio en las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste; y de mayo a septiembre en el noroeste del país. Ambas coinciden con la época de mayor estiaje (sequía) en el territorio nacional. (SEMARNAT, 2023).

Se calcula que las actividades humanas ocasionan el 99% de éstos incendios y sólo el resto tiene como causa fenómeno naturales como descargas eléctricas y la erupción de volcanes. De acuerdo con el promedio de los últimos años, casi la mitad de estos incendios se producen por actividades agropecuarias y de urbanización, junto con las acciones intencionadas y los descuidos de personas que no apagan bien sus cigarros o fogatas. También algunas prácticas de los cazadores furtivos y de quienes llevan a cabo cultivos ilícitos pueden causar un siniestro (CONAFOR,2010).

De acuerdo a comentarios de personal de Protección Civil y Bomberos. En el municipio de Huichapan, cada año se suscitan un sin número de incendios forestales, la mayoría de origen antrópico, principalmente durante la época de sequía.

Conceptos Básicos

Al referirse a incendios forestales, es importante tener en cuenta algunos conceptos básicos, que nos permitan conocer los principales factores que influyen en la causa y el comportamiento de este fenómeno que cada vez es más recurrente.
Un incendio forestal ocurre cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta los bosques, las selvas, o la vegetación de zonas áridas y semiáridas (CONAFOR, 2010), para que se genere un incendio se necesitan 3 elementos: calor, oxígeno y combustibles, que constituyen el llamado triángulo del fuego (**Figura II.3.4**; CENAPRED, 2008).

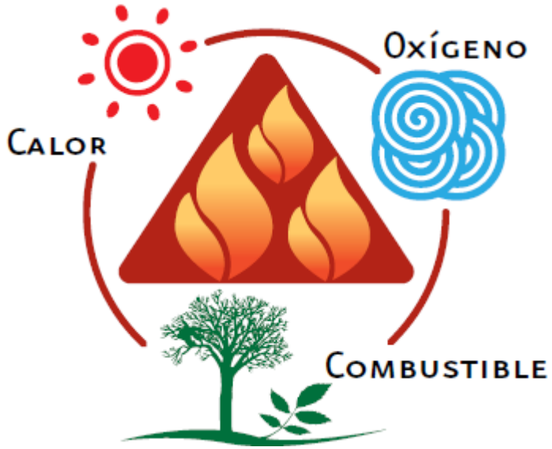


Figura II.3.4.1 *Triangulo del fuego.*
Fuente: *CONAFOR, 2010.*

1. Oxígeno (agente oxidante).
2. Calor (agente catalítico). Que puede propagarse por conducción, convección y radiación.
3. Combustible (agente reductos) Que puede ser de tipo vegetal, químico o cualquier otro, susceptible de encenderse.

Existen tres modos de propagación del fuego: conducción, convección y radiación. Además, en un incendio forestal las pavesas (chispas, troncos y/o cono encendidos que ruedan) representan un riesgo latente de propagación (CENAPRED, 2008).

La cantidad de combustible como es el factor principal que determina la magnitud del incendio, (CENAPRED, 2022). Para que se genere un incendio forestal debe haber una fuente de ignición, y se pueden tener diferentes orígenes, accidentales, negligencias intencionales y naturales.

Accidentales: relacionados con accidentes automovilísticos, ferroviarios, aéreos y con ruptura de líneas eléctricas.

Negligencias: Las quemas agropecuarias y de basura no controlados, fogatas de excursionistas, fumadores, limpieza de vías en carreteras y uso de juego, entre otras actividades productivas dentro de las áreas forestales.

Intencionales: se refiere a las quemas que se realizan en el contexto de conflictos entre personas o comunidades, tala ilegal p litigios entre otros.

Naturales: caídas de rayos o erupciones volcánicas. CENAPRED, 2022b.

Cualquiera de los factores anteriores podría dar lugar al inicio a incendios forestales que puede ser clasificados en diferentes tipos de incendios.

Tipos de incendios

Incendios de Copa o Aéreos involucran la combustión de toda la vegetación. Aunque inician en la superficie, las llamas avanzan verticalmente escalando la vegetación hacia las copas de los árboles, propagándose por continuidad vertical.

Incendios Superficiales impactan los combustibles vivos y muertos, como pastizales, hojas, ramas, arbustos y pequeños árboles, así como troncos y humus, entre otros elementos.

Incendios Subterráneos, se quema la materia orgánica acumulada, las raíces e incluso puede llegar a afectar afloramientos rocosos. Estos incendios suelen carecer de llamas visibles y emiten poco humo.

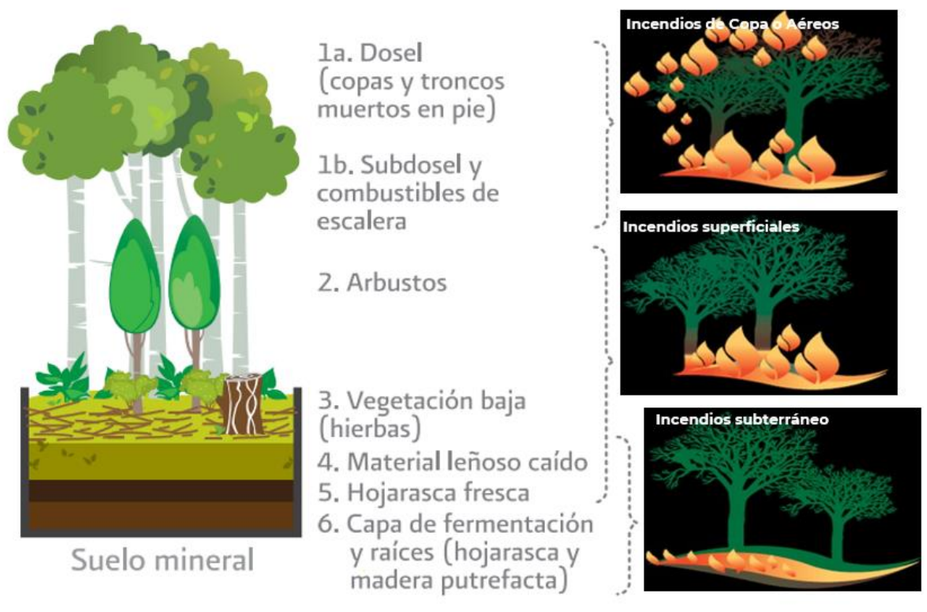


Figura II.3.4.2 *Tipos de incendios.*
Fuente: *Recuperado de Morfin-Ríos, 2012, modificado por SGM, 2023.*

El CENAPRED identifica tres factores que intervienen en el comportamiento del fuego una vez que un incendio forestal comienza y determinan el comportamiento del fuego a estos se les conoce como la gran triada.

Combustible: La cantidad, tipo y disposición de materiales combustibles en la zona afectada, como hierbas, arbustos, árboles y hojarasca.

Topografía: La forma del terreno, incluyendo la pendiente y la orientación de la ladera, que afecta la velocidad y dirección de propagación del fuego.

Meteorología: Las condiciones atmosféricas, como velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y patrones climáticos, que influyen en la intensidad y dirección del fuego.

En un incendio forestal, conocer la velocidad de propagación es crucial para su control (**Tabla 2.101**). Aquí, se distinguen tres aspectos clave:

Propagación Lineal: Mide el avance en una dirección, esencial para estimar el tiempo de llegada a recursos amenazados. Se expresa en metros por minuto o kilómetros por hora.
Propagación Perimetral: Cuantifica el aumento del contorno, importante para calcular la longitud de la brecha de control. Se determina en metros por minuto o kilómetros por hora.
Propagación Superficial: Evalúa el área afectada en hectáreas por hora, proporcionando una medida del ritmo del daño.

Tabla II.3.4.1 *Velocidad de propagación de incendio.*

COMBUSTIBLE	BAJO (M/MIN)	MEDIO (M/MIN)	ALTO (M/MIN)
Pastizal Velocidad de viento Baja	0 - 10	10 - 25	25 -
Pastizal Velocidad de viento Alta	0 - 25	25 - 50	50 -
Desechos de Aprovechamiento Velocidad de viento Baja	0 - 5	5 - 7	7 -
Desechos de Aprovechamiento Velocidad de viento Alta	0 - 5	5 - 10	10 -
Promedio	0 - 11	11 - 23	23 -
Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2008.			

El peligro de incendio está determinado por los combustibles forestales, esto es, por el tipo, la cantidad o carga, distribución horizontal y vertical, inflamabilidad, compactación y tamaño del material que puede encenderse y mantener la propagación del fuego. El riesgo de incendio se refiere a la probabilidad de ignición (natural y antropogénica) y la propagación del fuego, determinada principalmente por las condiciones del estado del tiempo (**Morfin-Ríos, 2012**).

Antecedentes

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reporta que, en el periodo en el periodo entre 2005 y 2023, se han registrado un total de 1546 incendios forestales en el estado de Hidalgo. Para el municipio únicamente se registró un incendio ocurrido el 21 de enero de 2011. La causa de este único incidente fue atribuida a actividades productivas, siendo clasificado como un incendio superficial que afectó un área de 10 hectáreas de matorral.

Es relevante señalar que, según el reporte de Protección Civil municipal a pesar de que año tras año se atienden varios casos de incendios forestales, la información detallada no ha sido proporcionada debido a cuestiones administrativas.

Metodología de trabajo

El método de trabajo que se llevó acabo para el desarrollo de este tema, fue divido en dos etapas, 1) Trabajo de gabinete y 2) Recorridos de verificación en campo, que a continuación se describen.

Etapa de Gabinete:

Durante la fase de gabinete, se llevó a cabo una exhaustiva recopilación, revisión y depuración de diversas fuentes de información relacionadas con el nivel de conocimiento sobre incendios forestales. Se consultaron libros, tesis, revistas, periódicos y artículos de investigación provenientes de diferentes países, incluyendo México (INEGI, CONAGUA, INIFAP, CONAFOR, SEMARNAT Hidalgo y Protección Civil y Bomberos). Posteriormente, se identificaron las variables que inciden en los incendios forestales, a aspectos bióticos (cobertura vegetal), meteorológicos (temperatura máxima, velocidad y dirección del viento) y sociales (vías de comunicación terrestre y centros de población. Se realizó una matriz de ponderación donde se le dio peso a cada uno de estos atributos para que nos genere zonas con más propensas a incendios.

Etapa de campo. Se realizaron recorridos en campo con el propósito de confirmar el tipo de camas combustibles que puede haber en el municipio.

Basándonos en los datos recopilados durante etapa de gabinete y su posterior confirmación en el terreno, se han evaluado los criterios más significativos en el municipio que podrían contribuir a la generación de incendios forestales entre los aspectos considerados como más relevantes se encuentran las camas de combustibles, las pendientes del terreno, la radiación solar y diversos factores humanos. A continuación, se proporciona un desglose detallado de cada uno de estos aspectos.

Combustibles

Los combustibles forestales están formados por la biomasa de plantas vivas o muertas en los distintos estratos de la cubierta vegetal, desde el dosel al sotobosque, y sus restos en el mantillo y la fracción orgánica del suelo.

Las **camas de combustibles** se refieren a unidades del paisaje que son relativamente homogéneas y representan diferentes ambientes de combustión en un área forestal. Estas unidades del paisaje se caracterizan por la presencia de biomasa combustible, que es la materia orgánica susceptible de arder.

La clasificación de las camas de combustibles en el territorio nacional se basa en la combinación de mapas de vegetación actual (INEGI Serie V) y zonas bioclimáticas (Jardel et al. 2017). Este catálogo presenta 26 clases de camas de combustibles en México, mapeadas a una escala de 1:250 000. En el municipio de Huichapan existen seis clases que se describen a continuación y se observan la **figura II.3.4.1.**

- **GSA:** Se relaciona con los pastizales bajos en zonas semiáridas, donde el fuego se extiende principalmente a través del estrato herbáceo compuesto por pastos (**Fotografía II.3.4.1**).

Fotografía II.3.4.1 *Pastizales en el municipio de Huichapan correspondientes a la clave GSA de camas combustibles.*

- **SWS:** Designa Pastizales y matorrales de zonas semiáridas, donde el fuego se propaga en el estrato compuesto por pastos y arbustos combinados. (**Fotografía II.3.4.2**).

Fotografía II.3.4.2 *Matorrales –Pastizales en el municipio de Huichapan correspondientes a la clave SWS de camas combustibles.*

- **QTS:** Se refiere al mantillo acolchado de latifoliadas esclerófilas en zonas subhúmedas a húmedas, específicamente en **bosques de encino**. En esta unidad el fuego se propaga principalmente bajo el dosel arbóreo (**Fotografía II.3.4.3**).

Fotografía II.3.4.3 *Bosque de encino en el municipio de Huichapan correspondientes a la clave QTS de camas combustibles.*

- **AGR/URB**: Incluye coberturas no forestales como zonas de agricultura y áreas urbanas (**Fotografía II.3.4.4**).

Fotografía II.3.4.4 *Zona de cultivo en el municipio de Huichapan correspondiente a la clave AGR/URB de camas forestales.*

- **AGU:** Representa cuerpos de agua (**Fotografía II.3.4.5**).

Fotografía II.3.4.5 *Bordo en la localidad de Sabina Grande en el municipio de Huichapan correspondiente al a clave AGU de camas forestales.*

Topografía:

La configuración de la superficie terrestre desempeña un papel crucial en la modificación de los componentes clave de la "gran triada", especialmente en relación con los incendios forestales. Los factores topográficos que influyen en el comportamiento del fuego incluyen:

Pendiente del terreno: donde pendientes pronunciadas aceleran la propagación del fuego y afectan la forma del incendio.
Altitud o elevación: divide el área en tres zonas con características distintas, influenciando la temperatura, la disponibilidad de combustible y la velocidad de propagación del fuego. En el tercio inferior, altas temperaturas, más combustibles y resistencia al control; en el tercio intermedio, menos disponibilidad de combustible, pero con un cinturón térmico nocturno; y en el tercio superior, cambios bruscos de viento y menos combustible que reducen la propagación del fuego.
Exposición: relacionada con la orientación de una ladera con respecto al sol, impacta en la temperatura y humedad de la vegetación.
Configuración del terreno: ya sea plano, ondulado o escarpado, afecta tanto la propagación del fuego como la resistencia a su control.

Para el caso de la topografía en el municipio de Huichapan se detalla la geomorfología del municipio en el **tema I.6.2** del presente proyecto. En ese tema los factores que interesan es que el municipio está compuesto por 3 topoformas llanuras, lomeríos y sierras. En cuanto a pendientes el 82.86% del territorio presenta ángulos de inclinación entre 0 y 14° quiere decir que la mayoría del terreno tiene pendientes muy bajas. Y para los fines de la metodología se ocupa solo el factor que incide directamente en la propagación del fuego que son las **pendientes.**

Meteorología: Siendo el factor más variable y de mayor impacto en el desarrollo de un incendio, requiere una observación cuidadosa y la realización de pronósticos meteorológicos. Sus elementos clave son la temperatura, la humedad relativa y el viento.

Temperatura: calienta tanto los combustibles como las capas de aire cercanas al suelo. El viento, a su vez, puede extraer humedad de los combustibles, elevando la temperatura a un punto propicio para la ignición. Esta temperatura es crucial, ya que determina la capacidad de un cuerpo para iniciar y mantener su combustión sin requerir otra fuente de calor. Diferentes tipos de combustibles tienen diferentes temperaturas de ignición. En el caso de los incendios forestales, se combinan el oxígeno encontrado en la atmósfera, el calor que proviene de la radiación solar y el combustible para generarse un incendio forestal.

En el caso específico de Huichapan, las temperaturas máximas registradas en el municipio, según el apartado II.2.1 de la Fase II del proyecto, oscilarán entre 37.5 y 43.5 °C. En relación con la radiación solar en Huichapan durante el período de incendios forestales, que abarca de enero a junio, se observó una variación en el rango de **502.9 a 1130 Kj/m².**

Viento: Este factor, cambiante y violento, puede soplar en cualquier dirección y favorecer la emisión de pavesas que pueden originar nuevos focos de fuego. El viento es esencialmente aire en movimiento, respondiendo a cambios de temperatura: el aire caliente tiende a ascender, mientras que el aire frío tiende a descender. En áreas con combustibles uniformes, el viento dirige la dirección del fuego y determina la configuración del incendio.

Para el caso de la humedad relativa y dirección del viento en el **tema II.2.10** tormentas de polvo se detalla las condiciones de humedad y dirección del viento, los datos importantes son hablando de un histórico de humedad relativa en el municipio de Huichapan el promedio es de 61.2% en cuanto a dirección preferencial del viento es al SE.

Influencia humana: Para este criterio se consideraron las áreas contiguas a las zonas de cultivo y a las vías de comunicación ya que la actividad humana es el principal factor para detonar un incendio forestal.

Teniendo en cuenta los factores anteriores se implementó el proceso analítico jerárquico (PAJ) establecido por Leyva Fontes en 2019 para generar las zonas susceptibles a incendios forestales, la primera etapa de acuerdo al proceso se realizó una matriz de comparación pareada con los criterios generales y subdividiéndolos en atributos intrínsecos de cada criterio **(TablaII.3.4.2)**. En el caso de la dirección del viento en el municipio presenta una dirección hacia el sur en los meses de enero a junio, al ser un mismo dato para todo el municipio, este parámetro no se concediera en la matriz.

Tabla II.3.4.2 *Matriz de comparación pareada con los criterios*

		Actividad Humana	CAMAS COMBUSTIBLES			NIVEL DE RADIACIÓN			GRADO DE PENDIENTE				
		Agricultura y vías de comunicación	Pastizal	Pastizal - Matorral	Bosque De Encino	712	920.9	1130	0-14	15-25	26-35	36-45	>45
ACTIVIDAD HUMANA	Agricultura y vías de comunicación	1	3	5	7	7	5	3	9	3	3	5	3
CAMAS COMBUSTIBLES	Patizal	0.3	1	5	7	3	5	7	9	7	5	3	3
	Pastizal - Matorral	0.2	0.2	1	3	5	7	9	7	5	3	3	3
	Bosque De Encino	0.1	0.1	0.3	1	3	5	7	3	3	3	3	5
NIVEL DE RADIACIÓN	711.97	0.1	0.3	0.2	0.3	1	0.3	0.2	5	5	3	3	3
	920.9	0.2	0.2	0.1	0.2	3	1	0.2	7	5	3	3	3
	1130	0.3	0.1	0.1	0.1	5	5	1	9	7	5	3	3
GRADO DE PENDIENTE	0-14	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	1	0.3	0.2	0.1	0.1
	15-25	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	3	1	0.2	0.2	0.1
	26-35	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	5	5	1	0.2	0.3
	36-45	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	7	5	5	1	0.3
	>45	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	9	7	3	3	1

La determinación de los pesos de los atributos constituye la segunda etapa, donde se ejecutan una serie de operaciones que consideran los pesos como el resultado promedio de todas las posibles comparaciones entre atributos. Este proceso da como resultado el vector de consistencia y el vector de la suma ponderada de pesos.

El vector de consistencia se obtiene dividiendo el vector de la suma de pesos entre los pesos de los atributos predefinidos. En cuanto al vector de la suma de pesos ponderada, se genera multiplicando el peso de cada atributo por las respectivas columnas de la matriz de comparaciones pareadas. Posteriormente, se suman estos valores a lo largo de los renglones.

El resultado de la obtención de los pesos se presenta en la **tabla II.3.4.3** para una mejor visualización del proceso.

Tabla II.3.4.1 *Resultado de ponderación de criterios*

Criterios	*Atributos*	*Peso*
Actividad humana	*Agricultura y vías de comunicación*	*0.21*
Camas combustibles	*Patizal*	*0.18*
	Pastizal - Matorral	*0.13*
	Bosque de Encino	*0.1*
Nivel de Radiación	*711.97*	*0.05*
	920.9	*0.06*
	1130	*0.09*
Grado de pendiente	*0-14*	*0.01*
	15-25	*0.02*
	26-35	*0.03*
	36-45	*0.05*
	>45	*0.06*
Fuente: elaboración propia SGM, 2023.		

La tercera etapa se centra en estimar el Índice de Consistencia (IC) para luego determinar la Proporción de Consistencia (PC) mediante la fórmula:

$$IC = (\lambda - n)/(n-1)$$

Donde IC representa el Índice de Consistencia, λ es la suma del vector de consistencia, y n es el número de atributos.

Posteriormente, se calcula la PC utilizando la fórmula:

$$PC = IC / IA,$$

Donde IA es el Índice de Aleatoriedad o de Inconsistencia Aleatoria, obtenido de tablas y dependiente del número de elementos (n).

Un valor de PC menor a 0.10 indica un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas, mientras que un valor superior a 0.10 sugiere inconsistencia en los juicios, requiriendo una reconsideración y revisión de los valores originales en la matriz. Para el análisis actual, el IC muestra un valor de 0.008, indicando consistencia en las evaluaciones realizadas, por lo que se procedió a la elaboración del mapa de peligro por incendios forestales, empleando los valores de la **tabla II.3.4.3**.

A cada capa en formato shapefile de cada criterio analizado fue asignado con su respectivo valor según la tabla antes mencionada, y posteriormente se utilizó el álgebra de mapas para sumar de cada capa. Cuanto más cercano esté el resultado de la suma a 1, mayor será la susceptibilidad de la zona a un incendio forestal. En contraste, a medida que la suma se acerca a 0, la zona se vuelve menos propensa a incendios forestales dando como resultado el mapa de la **figura II.3.4.5**.

Conclusiones.

Dado que el municipio presenta una extensa cobertura agrícola, cultivos y una vegetación característica de clima semiárido, se registra anualmente una serie de incendios forestales Según PC municipal sin embargo no proporcionaron el registro de estos y CONAFOR solo registra uno al sureste del municipio y aunque estos incidentes son frecuentes, no suelen ser de grandes dimensiones. Además, coincidiendo con la tendencia global, la actividad humana es la principal causa de estos incendios.

Por lo que se recomienda, limpiar y tomar acciones preventivas especialmente en las áreas periféricas de las vías de comunicación y en los bordes de las zonas agrícolas. Es en estos lugares donde las quemas agrícolas, pueden llegar a descontrolarse, y en el caso de las vías de comunicación por la basura que se genera

por el paso vehicular pueden llegar a generar un efecto lupa en la vegetación iniciando incendios o al tirar colillas de cigarros que son los casos más frecuentes de causas de incendios Cabe destacar que, en caso de un incendio, la dirección predominante del viento en la zona suele ser hacia el sur.

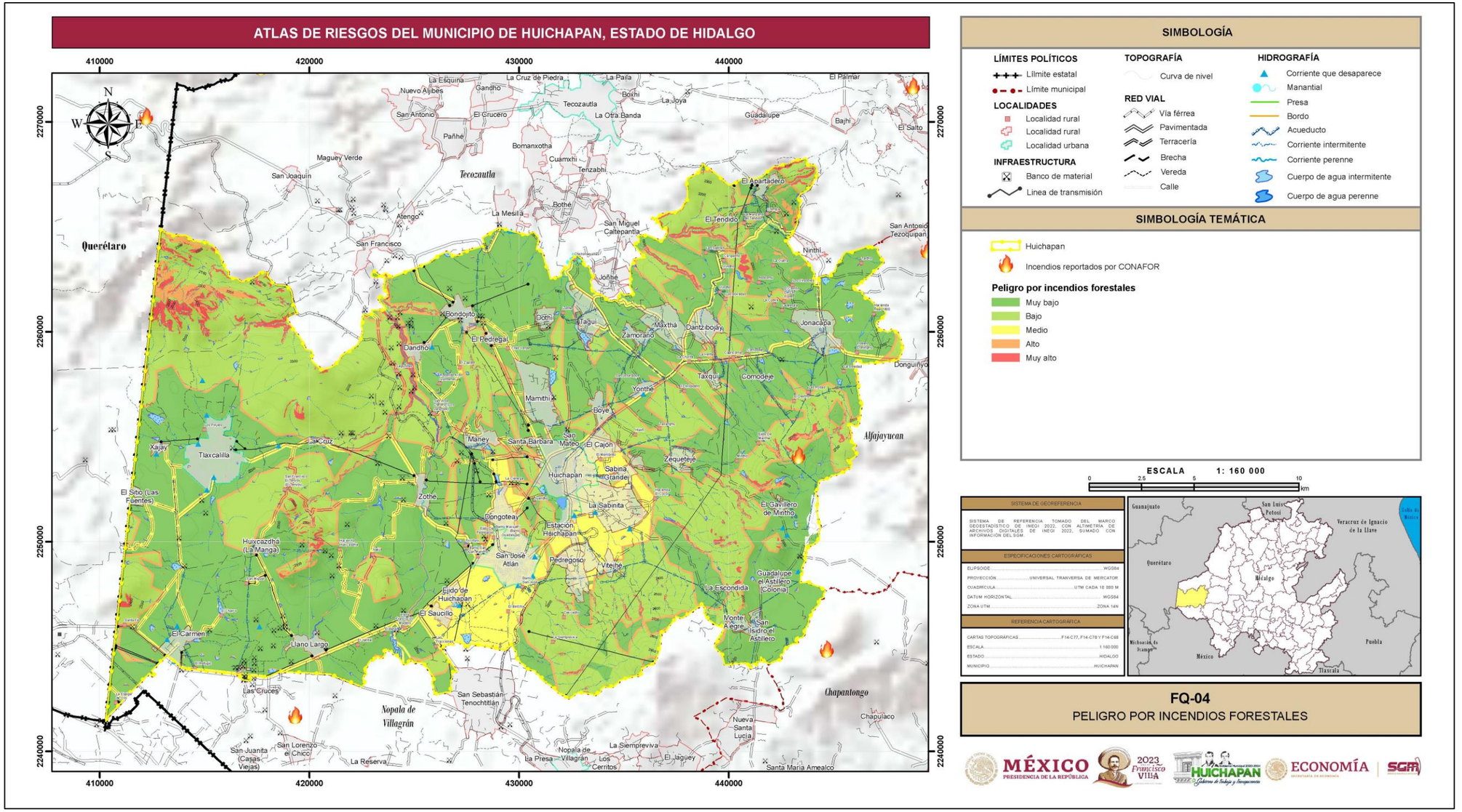


Figura II.3.4.3 *Mapa de peligro por incendios forestales en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia con datos de INEGI 2021 y CONAFOR-SSPIF 2023.*

FASE III. VULNERABILIDAD

III.1 Vulnerabilidad Social

El método de trabajo para el desarrollo de la vulnerabilidad social se basó en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, en el anexo sobre la Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social

De acuerdo al CENAPRED (2006), la vulnerabilidad social asociada a desastres naturales se define como "el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad, en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población". Algunos de los factores que influyen directamente para el incremento de la vulnerabilidad social son la pobreza, el incremento demográfico y la urbanización de la población.

La vulnerabilidad en una población depende del nivel de desarrollo, que está definido por la capacidad de acceso a los bienes y servicios básicos, como la salud, la educación, la vivienda, el empleo e ingresos y la población. Estas 5 categorías, divididas en conjunto en 18 indicadores, definen la primera de tres partes para llevar a cabo el cálculo de la vulnerabilidad en el municipio de Huichapan.

Un factor importante en este análisis es la distribución de edades de la población debido a que existen grupos de individuos con mayor vulnerabilidad ante un fenómeno natural, incluyendo el cambio de temperatura.

El grado de vulnerabilidad social para la región se determina conforme a 3 factores: indicadores socioeconómicos, capacidad de respuesta y percepción local del riesgo, con porcentajes de 50 %, 25 % y 25 %, respectivamente.

Indicadores Socioeconómicos

La primera parte la constituye la información socioeconómica del municipio de Huichapan, la cual se obtuvo del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2020 del INEGI.

Salud

Las condiciones de salud de la población reflejan su desarrollo, en este rubro la región presenta una vulnerabilidad muy baja en cuanto al número de médicos por cada mil personas, asumiendo que la Secretaría de Salud indica que lo aceptable es tener un médico para atender a mil habitantes, mismo que se refleja en las condiciones de salud de la población; aumentando la atención y generando un mejor desempeño de servicios médicos en general.

Menos de tres cuartas partes de la población, 71.6 % cuenta con el servicio de derechohabiencia, indicando una condición muy baja de vulnerabilidad. En cuanto a la mortalidad infantil, se tiene una respuesta del 7.8, lo cual significa que la posibilidad de un recién nacido de sobrevivir el primer año de vida es muy alta (**Tabla III.1.1**)

Tabla II.3.4.1 *Condición de vulnerabilidad y valor asignado para la categoría de Salud.*

Categoría	Indicador	Respuesta	Condición de Vulnerabilidad	Valor Asignado
Salud	Médicos por cada 1000 habitantes	1.6	Muy baja	0.0
	Tasa de mortalidad infantil	7.8	Muy baja	0.0
	Porcentaje de la población no derechohabiente	28.4	Muy baja	0.0
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.				

Educación

Las características educativas influyen directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población. La asistencia a la escuela de la población entre 6 y 14 años es muy alta, con un valor de 97.31 %, valor al que se le asigna una condición de vulnerabilidad muy baja. Al porcentaje de analfabetismo se le asigna una condición de vulnerabilidad muy baja debido a que el 95.1 % de la población presenta habilidades para leer y escribir, reflejando un buen desarrollo educativo para la región. El promedio de escolaridad alcanza una respuesta de 8.79 y con ello una condición de vulnerabilidad baja para este indicador (**Tabla III.1.2**).

Tabla II.3.4.2 *Condición de vulnerabilidad y valor asignado para la categoría de Educación.*

Categoría	Indicador	Respuesta	Condición de Vulnerabilidad	Valor Asignado
Educación	Porcentaje de analfabetismo	4.9	Muy baja	0.00
	Porcentaje de población entre 6 y 14 años que asiste a la escuela	97.3	Muy baja	0.00
	Grado promedio de escolaridad	8.79	Baja	0.25
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.				

Vivienda

La vivienda es el principal elemento de conformación del espacio social. En cuanto a los desastres naturales, la vivienda es uno de los sectores que recibe las mayores afectaciones y esto depende de las características constructivas y de los materiales utilizados. La condición precaria de una vivienda provoca el aumento en número e intensidad de los factores de riesgo por diversos fenómenos, y con ello las amenazas a la salud de sus habitantes.

Los servicios que cubren las necesidades básicas y saneamiento de la población para la región resultan suficientes según las fuentes consultadas. Las viviendas que no cuentan con servicio de agua entubada, de drenaje y electricidad son muy pocas, siendo el 1.22 %, 6.81 % y 0.64 % respectivamente. Los valores permiten establecer una condición de vulnerabilidad muy baja para los tres indicadores anteriores. Las carencias en agua entubada y drenaje aumentan condiciones de insalubridad y enfermedades gastrointestinales, así como la falta de energía eléctrica limita la comunicación que se traduce en una menor capacidad de respuesta.

Las características de los materiales con los que se edifican las viviendas es también determinante para la vulnerabilidad que pueda presentar ante un desastre. En las viviendas con piso de tierra se aumenta la probabilidad de contraer enfermedades y la resistencia frente a ciertos fenómenos es menor que otras construcciones. En el municipio de Huichapan se cuenta con un 2.1 % de viviendas con piso de tierra, resultando una vulnerabilidad muy baja. Durante los recorridos de campo fue posible establecer que son pocas viviendas las que basan su construcción en materiales de desecho o láminas de cartón lo que disminuye la vulnerabilidad ante cualquier fenómeno.

El déficit de vivienda es el resultado de un explosivo crecimiento demográfico, la inequitativa distribución de la riqueza y la falta de financiamiento de algunos sectores de la población para poder adquirir una vivienda, así como las condiciones de la misma. De acuerdo a lo anterior en el municipio de Huichapan se tiene un déficit de 2.3 % lo que representa tanto las viviendas nuevas que se requieren, sumado a las viviendas que necesitan mejoramiento, con esto es posible estimar una vulnerabilidad muy baja para el déficit de vivienda (**Tabla III.1.3**)

Tabla II.3.4.3 *Condición de vulnerabilidad y valor asignado para la categoría de Vivienda.*

Categoría	Indicador	Respuesta	Condición de Vulnerabilidad	Valor Asignado
Vivienda	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	1.8	Muy baja	0.00
	Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	10	Muy baja	0.00
	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	0.9	Muy baja	0.00
	Porcentaje de viviendas con materiales precarios en techos y paredes	0.20	Muy baja	0.00
	Porcentaje de viviendas con pisos de tierra	2.10	Muy baja	0.00
	Déficit de vivienda	2.30	Muy baja	0.00
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.				

Empleo e ingresos

La carencia en los recursos que posibilitan el sustento de las personas incrementa la vulnerabilidad hacia situaciones de emergencia. Las familias que están obligadas sólo a atender sus necesidades inmediatas generan incapacidad en cuestiones de planeación y prevención ante desastres. El porcentaje de la población económicamente activa y que recibe ingresos de menos de dos salarios mínimos es del 82.2 %, este dato aumenta la probabilidad de no poder satisfacer las necesidades básicas de alimentación, vivienda o salud, lo que agrava la situación de vulnerabilidad.

Otro indicador lo constituye la capacidad de dependencia, en este rubro se analiza el número de personas que resultan dependientes de otras que son económicamente activas, las cuales se consideran con mayor vulnerabilidad, para Huichapan se tiene una respuesta de 54.56 %, lo que establece una condición baja de vulnerabilidad. La tasa de desempleo abierto es de 1.83 % lo que representa una condición de vulnerabilidad muy baja. Este indicador influye sobre la capacidad de consumo de la población, así como en la capacidad de generar recursos que posibiliten la adquisición de bienes (**Tabla III.1.4**)

Tabla II.3.4.4 *Condición de vulnerabilidad y valor asignado para la categoría de Empleo e ingresos.*

Categoría	Indicador	Respuesta	Condición de Vulnerabilidad	Valor Asignado
Empleo e ingresos	Porcentaje de la PEA que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos	82.20	Alta	0.75
	Razón de dependencia	54.56	Muy baja	0.00
	Tasa de desempleo abierto	1.83	Muy baja	0.00
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.				

Población

La densidad de población para el municipio de Huichapan es de 71.8 hab/km², generando una vulnerabilidad muy baja. El 64.41 % de la población se encuentra establecida en las zonas rurales. Al tomar en cuenta este aspecto se puede modificar significativamente la condición de vulnerabilidad para los pobladores de la zona rural; por lo que se debe tomar en cuenta que resulta probable que en las localidades rurales puedan presentarse situaciones como una tasa de crecimiento elevada.

En cuanto a la población de habla indígena se obtuvo una respuesta del 29 % que se clasifica como predominantemente no indígena y nula condición de vulnerabilidad.

Con respecto a la dispersión poblacional se obtuvo una respuesta del 64.4 % lo que representa una condición de vulnerabilidad muy alta ya que mantiene congruente con el punto analizado acerca de la densidad de población en las comunidades rurales. Esta distribución genera problemas de disponibilidad de los servicios básicos (**Tabla III.1.5**)

Tabla II.3.4.5 *Condición de vulnerabilidad y valor asignado para la categoría de Población*

Categoría	Indicador	Respuesta	Condición de Vulnerabilidad	Valor Asignado
Población	Densidad de población	71.8	Muy baja	0.00
	Porcentaje de la población de habla indígena	29.00	Predominantemente no indígena	0.00
	Dispersión poblacional	64.41	Muy alta	1.00
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.				

Con el análisis realizado es posible obtener el valor asignado para cada indicador de las diferentes categorías. Estos valores determinados son promediados para obtener un valor final por categoría.

El procedimiento es el siguiente:

$$C = \frac{b}{a}$$

Donde:
a = número de indicadores por categoría,
b = calificación obtenida de la suma de los indicadores por categoría,
c = promedio.

La calificación final obtenida para esta primera parte del análisis de vulnerabilidad social es de 0.13, que representará el 50 % de la calificación final (**Tabla III.1.6**). Las características anteriores permiten establecer una estrategia clara para la creación de un plan de desarrollo urbano efectivo para el municipio de Huichapan.

Tabla II.3.4.6 *Promedios por categoría para obtener la vulnerabilidad social.*

Categoría	Promedio
Salud	0.00
Educación	0.08
Vivienda	0.00
Empleo e ingresos	0.25
Población	0.33
Calificación final	0.13
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.	

Capacidad de respuesta

En esta segunda parte se evalúa la capacidad de prevención y respuesta por parte del grupo de Protección Civil del municipio de Huichapan hacia las diferentes situaciones de emergencia causadas por los fenómenos naturales. Con ello es posible estimar la respuesta de las autoridades, su capacidad de planeación, organización y condiciones de mejora frente a los diferentes desastres que ocurren en las diferentes localidades de la región y que colocan en riesgo a la población.

Los problemas más comunes que se presentan en la región y a los que se enfrenta Protección Civil, consisten en inspección y verificación de seguridad en establecimientos, atención prehospitalaria, traslado de pacientes, combate contra incendios y recorridos preventivos en zonas vulnerables por fenómenos naturales.

Se aplicó un cuestionario de 24 preguntas que permite determinar el nivel de la capacidad de prevención y respuesta del personal de Protección Civil frente a los posibles efectos de los eventos adversos (**Figura III.1.1**). La encuesta fue realizada a seis personas incluyendo a dos responsables de turno y al Coordinador de Protección Civil, Bomberos y Gestión Integral de Riesgos, donde se determinó a través de un promedio un puntaje final.

El promedio de la sumatoria de las respuestas arroja un valor de 2.67, lo que refleja una capacidad de prevención y respuesta muy alta para PC. El valor asignado para la condición de vulnerabilidad es de 0.0 y también resulta la calificación final de la capacidad de respuesta (**Tabla III.1.7**). Este valor representa el 0.25 % del grado de vulnerabilidad social del municipio.

Capacidad de Respuesta

Se enfoca a la capacidad de prevención y de respuesta, la cual se refiere a la preparación antes y después de un evento de las autoridades y de la población, se aplica mediante cuestionario.

NO.	Pregunta	SÍ	NO
1	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0	1
2	¿Cuenta con un plan de emergencia?	0	1
3	¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para que en caso de emergencia organice y dirija las acciones de atención a la emergencia?	0	1
4	¿Existe una normatividad que regule las funciones de la unidad de Protección Civil (p.ej.manual de organización)?	0	1
5	¿Conoce los programas federales de apoyo para la prevención, mitigación y atención de desastres?	0	1
6	¿Cuenta con un mecanismo de alerta temprana?	0	1
7	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia?	0	1
8	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	0	1
9	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?	0	1
10	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	0	1
11	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	0	1
12	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	0	1
13	¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DINCOSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	0	1
14	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?	0	1
15	¿Cuenta con un número de personal activo?	0	1
16	¿El personal esta capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?	0	1
17	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	0	1
18	¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc.?	0	1
19	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	0	1
20	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	0	1
21	¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	0	1
22	¿Cuenta con algún sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS) para georeferenciar puntos críticos en su localidad?	0	1
23	¿Cuál es el grado promedio de escolaridad que tiene el personal activo?		
24	¿Qué actividades realizan normalmente?		
	Total		

Fuente: Elaboración CENAPRED

Figura II.3.4.1 *Cuestionario de capacidad de respuesta*
Fuente: *CENAPRED, 2006.*

Tabla II.3.4.7 *Resultados de la capacidad de respuesta para el municipio de Huichapan.*

Rangos con respecto a la suma de las respuestas	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición de vulnerabilidad
De 0 a 3.0	**Muy Alta**	**0.00**
De 3.1 a 6.0	Alta	0.25
De 6.1 a 9.0	Media	0.50
De 9.1 a 12.0	Baja	0.75
12.1 o más	Muy Baja	1.00
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.		

Percepción Local

El último factor a considerar para la evaluación de la vulnerabilidad social, es la percepción local de riesgo, es decir, la idea que tiene la población con respecto a las amenazas que existen en sus localidades y su grado de exposición frente a las mismas. En diversas ocasiones la población no tiene una percepción clara del peligro que representa una amenaza de tipo natural o antrópica en su localidad, lo que incide directamente en la capacidad de respuesta de la población ante un desastre.

Se aplicaron 25 preguntas a personas de diferentes localidades, con lo que es posible identificar la percepción que los pobladores de la región tienen sobre el riesgo que producen los fenómenos naturales alrededor de su entorno, así como las acciones preventivas y de respuesta en caso de enfrentar una situación de emergencia (**Figura III.1.2**).

Percepción Local

Se refiere a la percepción local de riesgo, es decir, el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las susceptibilidades que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas.

No.	Pregunta	Valores			Total
		A	B	C	
1	¿Dentro de los tipos de peligro que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su comunidad?	De 1 a 5	De 6 a 13	14 ó más	
		1	0.5	0	
2	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1 recuerda o ¿sabe si han habido emergencias asociadas a estas amenazas en los últimos años?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
3	¿Considera que un fenómeno natural se puede convertir en desastre?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
4	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	Si	N0	No sé	
		0	1	1	
5	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un desastre natural?	Si	N0	No sé	
		0	1	1	
6	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron:	Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura (bajo)	Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura (medio)	Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura (alto)	
		0.25	0.5	1	
7	¿Alguna vez ha quedado aislada su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación por algunas horas debido a algún tipo de fenómeno?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
8	¿Cree que en su comunidad identifica los peligros?	Si	N0	No sé	
		0	1	1	
9	¿Conoce algún programa, obra o institución que ayuda a disminuir efectos de fenómenos naturales (construcción de bordos, presas, terrazas, sistema de drenaje, sistema de alertamientos, etc.?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
10	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
11	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes en ella?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
12	En caso de haberse llevado campañas de información ¿Cómo se enteró?	No se enteró/no ha habido campañas	A través de medios impresos	A través de radio y televisión	
		1	0.5	0	
13	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
14	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	Si	No		
		0	1		
15	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?	Si	No		
		0	1		
16	En caso de haber sido afectado a causa de un fenómeno natural ¿se le brindó algún tipo de apoyo?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
17	¿Ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural? (inundación, sismo, erupción)	Si	No	No sé	
		0	1	1	
18	¿De acuerdo con experiencias anteriores, ¿Considera que su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
19	¿Existe en su comunidad localidad/municipio alguna organización que trabaje en la atención de desastre?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
20	¿Conoce la existencia de la Unidad de Protección Civil?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
21	¿Sabe dónde está ubicada y qué función desempeña la Unidad de Protección Civil?	Sé dónde se encuentra y sé sus funciones	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	Sé qué hace pero no sé dónde se encuentra	
		0	1	0.5	
22	¿Estaría preparado para enfrentar otro desastre como el que enfrentó?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
23	¿Considera que su comunidad puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Si	No	No sé	
		0	1	1	
24	¿Qué tanto puede ayudar la Unidad de Protección civil?, ¿Puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Mucho	Nada	Poco	
		0	1	0.5	
25	¿Si usted tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro estaría dispuesto a reubicarse?	Si	No		
		0	1		

Figura II.3.4.2 *Cuestionario de Percepción Local.*
Fuente: *CENAPRED, 2006.*

En la **Tabla III.1.8** se representan los resultados obtenidos mediante las 36 encuestas realizadas a los pobladores de diferentes localidades de la región.

Tabla II.3.4.8 *Resultado de la percepción local de peligro para el municipio de Huichapan.*

RANGOS	PRECEPCIÓN LOCAL	VALOR ASIGNADO SEGÚN CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD
De 0 a 5.0	Muy Alta	0.00
De 5.1 a 10.0	Alta	0.25
De 10.1 a 15.0	**Media**	**0.50**
De 15.1 a 20.0	Baja	0.75
20.1 o más	Muy Baja	1.00
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.		

El valor promedio de las encuestas realizadas fue de 14, que de acuerdo a la tabla anterior la percepción local es de 0.50, lo que indica un rango de vulnerabilidad de grado medio. Este resultado refleja cierto desconocimiento por parte de los pobladores acerca de las acciones preventivas y de respuesta que deben presentar en caso de una eventualidad.

En la **Figura III.1.3**, se presentan los puntos en donde se llevaron a cabo las encuestas de forma aleatoria en diferentes localidades de Huichapan.

Cálculo para obtener el Grado de Vulnerabilidad Social (GVS)

De acuerdo con lo anterior se procedió a calcular el Grado de Vulnerabilidad Social para el municipio de Huichapan mediante la siguiente ecuación.

GVS = (R1*0.50) + (R2*0.25) + (R3*0.25)

Donde:
GVS = Es el Grado de Vulnerabilidad Social asociada a desastres
R1 =Resultado de los indicadores socioeconómicos
R2 = Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta
R3 = Resultado de percepción local del riesgo

Los porcentajes establecidos para cada parámetro de la ecuación han sido definidos por el CENAPRED (2006) en su anexo sobre la Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social (**Tabla III.1.9**)

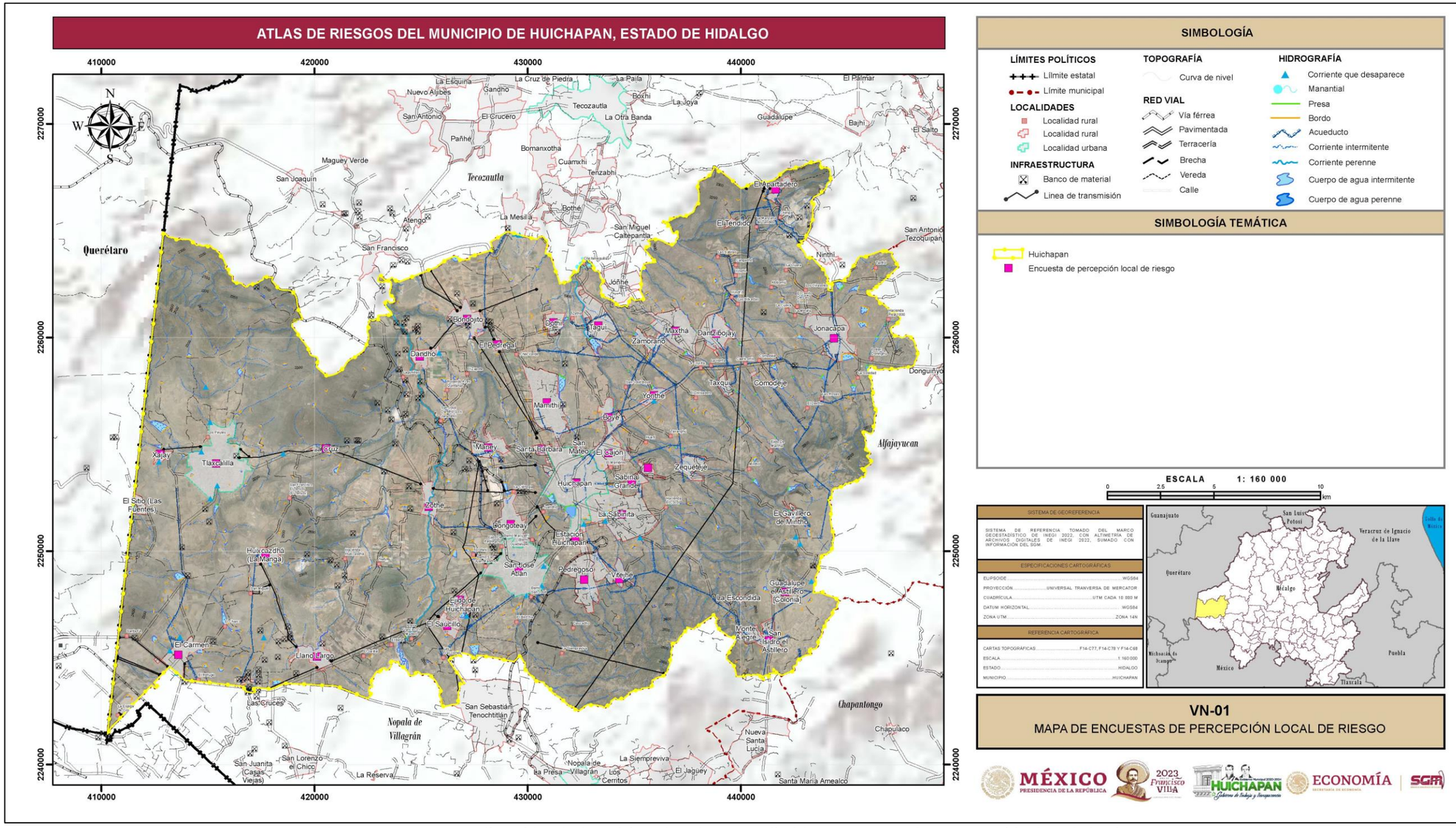
Tabla II.3.4.9 *Resultados para determinar el GVS.*

CONCEPTO	PUNTAJE	PORCENTAJE	PUNTAJE FINAL
Indicadores socioeconómicos	0.13	50	0.067
Capacidad de respuesta	0.0	25	0.000
Percepción local	0.50	25	0.125
Grado de Vulnerabilidad Social			**0.19**
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.			

De acuerdo a la **Tabla III.1.10** y del análisis desarrollado se determinó que Huichapan presenta un grado de vulnerabilidad social muy bajo.

Tabla II.3.4.10 *Grado de Vulnerabilidad Social para el municipio de Huichapan.*

VALOR FINAL	GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL
De 0 a 0.20	**Muy Bajo**
De 0.21 a 0.40	Bajo
De 0.41 a 0.60	Medio
De 0.61 a 0.80	Alto
Más de 0.80	Muy Alto
Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED, 2006 e INEGI, 2020.	



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan
- Encuesta de percepción local de riesgo

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEORREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

VN-01
MAPA DE ENCUESTAS DE PERCEPCIÓN LOCAL DE RIESGO

Figura II.3.4.3 *Localización de los sitios donde se realizó la encuesta de percepción local de riesgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

III.2 Vulnerabilidad Física

La vulnerabilidad física se refiere a la susceptibilidad que tiene una construcción a presentar algún tipo de daño, provocado por la acción de algún fenómeno natural o antropogénico. Dentro de las edificaciones que resultan con mayores daños, principalmente se encuentran las viviendas clasificadas como de bajo costo, que son consideradas como construcciones informales, que se caracterizan por emplear materiales de baja calidad y por no tener un diseño estructural formal, lo que las hace altamente susceptibles a ser dañadas (CENAPRED, 2006).

Para estimar los distintos niveles de riesgo existentes en las zonas urbanas y localidades que conforman Huichapan, es fundamental evaluar la vulnerabilidad de cada fenómeno natural o antropogénico presente ante las diferentes obras construidas, como las viviendas, hospitales, escuelas, unidades deportivas, servicios de emergencia, edificios públicos, vías de comunicación y de servicios (electricidad, agua, drenaje, telecomunicaciones), zonas naturales protegidas, áreas de preservación cultural, parques industriales y de comercio, entre otras (CENAPRED, 2006).

Se realizó un análisis de la vulnerabilidad física de la región en función a la tipología de vivienda propuesta por SEDATU, que operó del año fiscal 2014 al año fiscal 2015 para sus programas de Reubicación de la población en Zonas de Riesgos (REPZOR) donde se toman en cuenta factores como el material de construcción. La clasificación por tipología de vivienda considerada se presenta en la **Tabla III.2.1** así como fotografías que ejemplifican los tipos de viviendas que existen en Huichapan.

Tabla II.3.4.1 *Tipología de viviendas..*

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Precaria o provisional TIPO I	**Son construcciones sin cimentación, que se elaboran mediante marcos estructurales de baja resistencia a las cargas (polines, palos, tubos, etc.), estos a su vez son recubiertos con materiales prefabricados como láminas de asbesto, cartón, metal, plásticos, lonas, maderas o cualquier otro material provisional. No se utiliza ningún tipo de cementante para unir las partes.**	
Semipermanente o no consolidadas TIPO II	**Son construcciones que cuentan con cimentación o con algún tipo de estructura-base, donde el aglutinante principal es el cemento. Los muros están hechos de materiales pétreos aglutinados con cemento o con algún otro tipo de mortero. Cuentan con dalas de desplante, castillos y cadenas de concreto reforzados. El techo es de lámina de cartón, asbesto o metal, lonas o plásticos u otros materiales de mediana resistencia.**	
Permanentes o consolidadas TIPO III	**Son construcciones con estructura totalmente terminadas con o sin acabados que cuentan con los siguientes elementos estructurales: cimentación, muros de carga con castillos y cadenas o columnas y trabes, losa de concreto o algún otro material de alta resistencia.**	

Fuente: Elaboración propia con datos de la SEDATU, 2014.

Se determinó su costo aproximado por los materiales con que están construidas, tomando como base el costo calculado en 2017 por el SGM, actualizándolo de acuerdo a la inflación calculada por INEGI (2023) (**Tabla III.2.2**).

Tabla II.3.4.2 *Actualización de costos por tipología de vivienda.*

Vivienda	Costo Estimado 2017	Inflación de Septiembre 2017 a Septiembre 2023 (INEGI)	Incremento de Acuerdo a la Inflación	Costo Estimado 2023
Tipo I	**$15 392.02**		**$5 450.31**	**$20 842.33**
Tipo II	**$67 913.97**		**$24 048.34**	**$91 962.31**
Tipo III	**$185 042.59**	**35.41%**	**$65 523.58**	**$250 566.17**

Fuente: Elaboración propia con datos de la SGM, 2017; INEGI 2023.

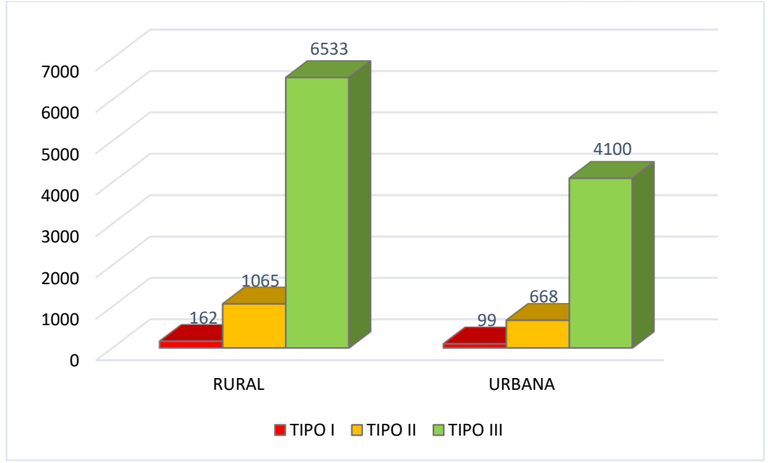
Para determinar la tipología de vivienda de Huichapan, se realizó un análisis y depuración de la información contenida en el Tabulado del Cuestionario Ampliado de Vivienda del Censo de Población y Vivienda 2020b, utilizando los estimadores de las viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según material en techos (**Tabla III.2.3, Gráfica III.2.1, Figura III.2.1 y III.2.2**).

En este análisis no se consideran las viviendas particulares deshabitadas y de uso temporal, debido a que INEGI no las tiene integradas a los parámetros que se consideraron para este fin, por lo que existirá discrepancia en el número total de viviendas con el total de acuerdo a la tipología de vivienda.

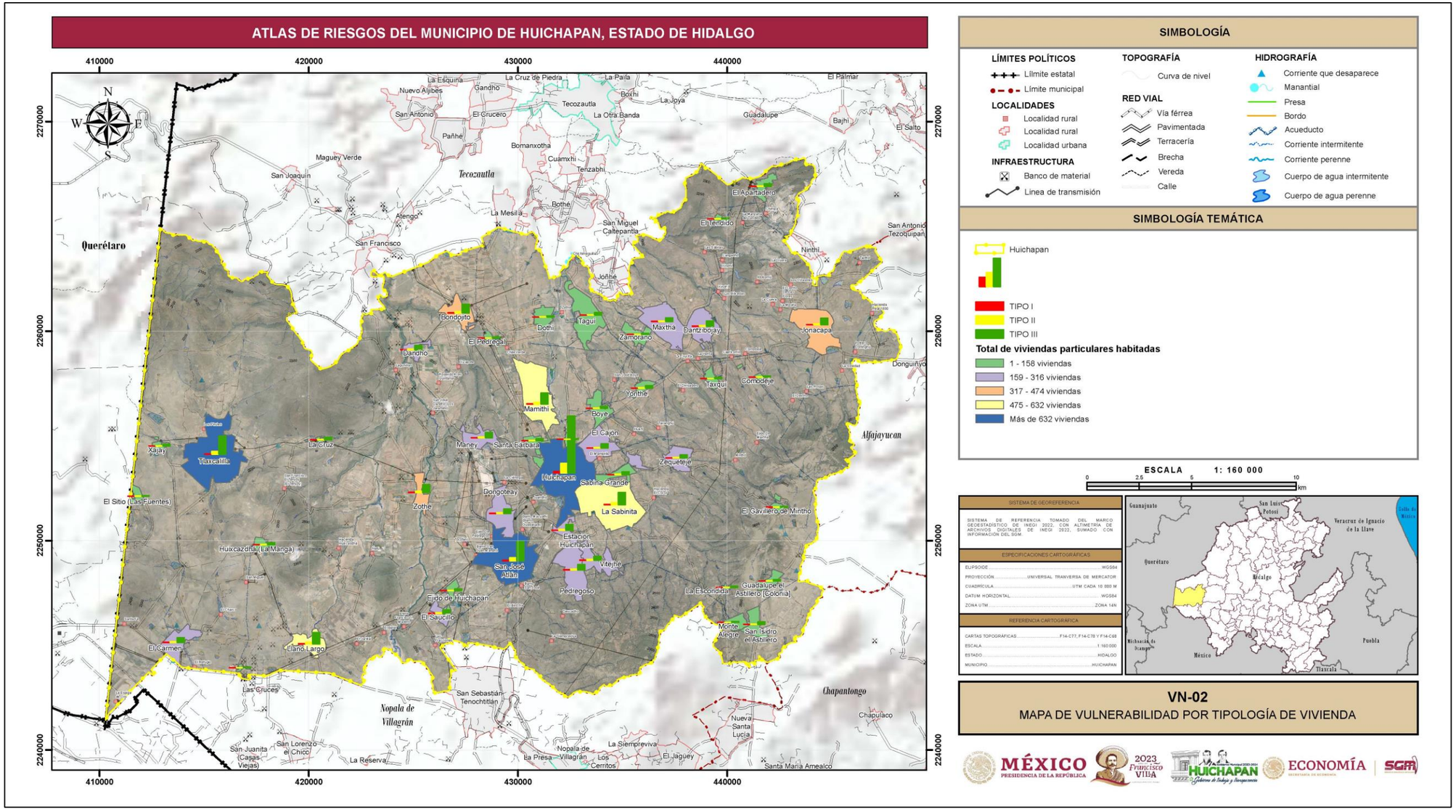
Tabla II.3.4.3 *Número de viviendas de acuerdo a la tipología de vivienda.*

TIPOLOGÍA DE VIVENDA	TOTAL DE VIVIENDAS URBANAS	TOTAL DE VIVIENDAS RURALES
Tipo III	4 100	6 533
Tipo II	668	1 065
Tipo I	99	162
Suma	**4 867**	**7 760**
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2020b.		

Gráfica III.2.1 *Número de viviendas de acuerdo a la tipología de vivienda.*



Fuente: *Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda. Vivienda, INEGI, 2020b.*



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

- TIPO I
- TIPO II
- TIPO III

Total de viviendas particulares habitadas
- 1 - 158 viviendas
- 159 - 316 viviendas
- 317 - 474 viviendas
- 475 - 632 viviendas
- Más de 632 viviendas

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

VN-02
MAPA DE VULNERABILIDAD POR TIPOLOGÍA DE VIVIENDA

Figura II.3.4.1 *Mapa de vulnerabilidad por tipología de vivienda a nivel localidad.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda. Vivienda, INEGI, 2020b.*

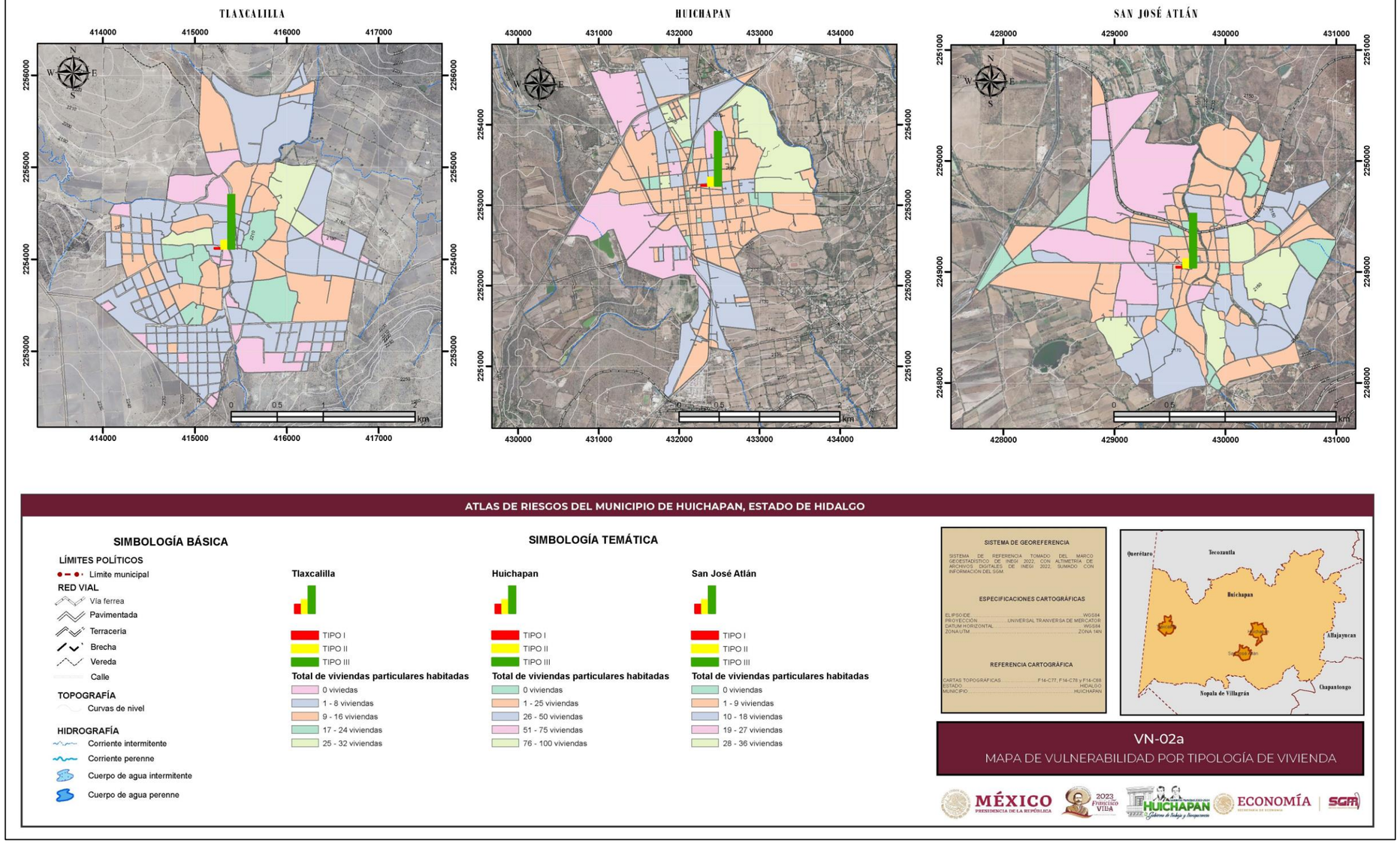


Figura II.3.4.2 *Mapa de vulnerabilidad por tipología de vivienda por manzana.*
Fuente: *Elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana, INEGI, 2020a.*

FASE IV. RIESGO/EXPOSICIÓN

IV.1 DETERMINACIÓN DEL RIESGO

La evaluación de riesgo se determina con la combinación de los elementos de peligro, vulnerabilidad y bienes expuesto, la definición de este precepto se puede señalar como la correlación entre la intensidad de una “amenaza natural” (peligro), la susceptibilidad de los sistemas expuestos a ser dañados por el efecto de un fenómeno perturbador (vulnerabilidad) y el valor se los bienes expuestos de la población que recibe el impacto.

En la **Tabla IV.1.1** se muestran los diferentes valores de riesgo que se obtienen al combinar estos parámetros a partir de la matriz que se encuentra referida en el manual básico para la estimación del riesgo (DINAPRE, 2006) y que es adaptado a las características de tipología de vivienda que se encuentran en Huichapan.

Tabla II.3.4.1 *Matriz de niveles de riesgo de acuerdo al grado de peligro y vulnerabilidad.*

		VULNERABILIDAD			
		VIVIENDA TIPO III	VIVIENDA TIPO II	VIVIENDA TIPO I	
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
PELIGRO	MUY BAJO	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	BAJO	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	MEDIO	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	ALTO	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
	MUY ALTO	Medio	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia modificado de DINAPRE, 2006.

Para calcular el nivel de riesgo (R), en las zonas identificadas por afectación, se asignaron variables a cada uno de los elementos para el riesgo:

Peligro (P) = Se asignó este valor de acuerdo al grado de peligro (0.2 muy bajo, 0.4 bajo, 0.6 medio, 0.8 alto y 1 muy alto).

Vulnerabilidad (V) = Probabilidad de daño del 40 %, 60 % y 100 %.

Valor (C) = Costo de la vivienda de acuerdo a su tipología ($20 842.33, $ 91 962.31 y $ 250 566.17).

$$R=PVC$$

Al combinar estas variables con las correspondientes de la **Tabla IV.1.1**, resultan niveles de riesgo de grado bajo, medio, alto y muy alto. Por ejemplo:

Para una vivienda tipo II que se clasifica con un grado de vulnerabilidad media y que se localiza en un polígono de peligro clasificado como alto el riesgo resultante es alto, la condición más desfavorable es una vivienda tipo I en un polígono de peligro muy alto, su nivel de riesgo resultante es muy alto; mientras que la condición más favorable es una vivienda tipo III en un nivel de peligro muy bajo, el riesgo resultante sería bajo. En la **Tabla IV.1.2**, se muestra el resultado del estimado en costos de los casos anteriormente mencionados, de acuerdo a la fórmula para determinar el riesgo.

Tabla II.3.4.2 *Cálculos estimados de acuerdo a tipo de vivienda y nivel de peligro.*

Caso	Vivienda	Grado de Peligro	Nivel de Riesgo	Fórmula	Costo estimado
1	Tipo II	Alto	Alto	R=(0.8)(0.6)(91 962.31)	R=$44,141.91
2	Tipo I	Muy Alto	Muy Alto	R=(1)(1)(20 842.33)	R=$20 842.33
3	Tipo III	Muy Bajo	Bajo	R=(0.2)(0.4)(250 566.17)	R=$20 045.29

La matriz de riesgo utilizada está en función del nivel de detalle de la información, puede contar con tres niveles (Alto, Medio y Bajo) o hasta cinco niveles (muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto) según sea el caso.

Para calcular el nivel de riesgo en las zonas identificadas por cada fenómeno, se asignaron variables a cada uno de los elementos para el riesgo.

IV.2 FENÓMENOS GEOLÓGICOS

IV.2.1 Riesgo por procesos de remoción en masa

Una amenaza geológica son procesos o fenómenos naturales que pueden causar pérdidas de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social, económica o degradación ambiental. Este tipo de amenaza incluye procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como: actividad de fallas geológicas, actividad y emisión volcánica; así como procesos externos (exógenos) tales como los Procesos de Remoción en Masa (PRM).

Varnes (1984), define que el potencial de impacto de los PRM, dependen del grado de ruptura de la maza desplazada, extensión y distancia de la trayectoria,

profundidad, área afectada, velocidad, descarga por unidad de ancho, así como la energía cinética desarrollada.

Peligro (H): en un sentido convencional se refiere a un fenómeno físico (proceso o situación) con el potencial de causar un daño.

En un sentido más técnico, el peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente destructivo, dentro de un lapso determinado y en una cierta área. Esta probabilidad varía de acuerdo con la magnitud del evento (en el caso de los deslizamientos, son más frecuente los pequeños, que los de gran tamaño).

Identificación del peligro: se refiere al proceso de reconocimiento y valoración de todos los posibles peligros que se puedan presentar en un área y periodo determinado. Para el caso de los PRM, esto implica determinar: tipo de proceso, impacto del proceso de remoción y peligros consecuentes (obstrucción de causes, impacto en ductos o zonas industriales).

Elementos del riesgo (E): significa la población, propiedades, actividades económicas y servicios públicos, que se encuentran en una determinada área y que están expuestos al impacto de un fenómeno perturbador.

Vulnerabilidad (V): probabilidad de que personas, comunidades o sus bienes presenten un daño, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno perturbador de cierta magnitud destructiva. Puede ser expresado en escala del 0 (sin daño) al 1 (pérdida total).

Riesgo (R): probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de un fenómeno perturbador. Estas afectaciones son: pérdidas humanas, personas afectadas, lesionadas o con pérdidas patrimonial, propiedades dañadas, interrupción de actividades económicas y servicio.
Se obtiene entonces como producto de **R = (H) x (VxE)**

Existen varios tipos de vulnerabilidad, que depende del enfoque que se le asigne, es decir, existe la vulnerabilidad física, natural y ecológica; económica, social, política e institucional; educativa, cultural e ideológica; así como la científica y tecnológica, por mencionar algunas. Este análisis se basa en la vulnerabilidad natural y ecológica que se acentúa en los factores de precipitación, altitud, suelo y pendientes que afecta directamente al medio natural. INDC, 2006.

Según el INETER (2001), es la sumatoria de una serie de condiciones físicas, económicas, sociales, culturales, ambientales, etc. Que interactúan entre sí de manera dinámica, y determinan la fragilidad de un lugar a ser afectado por un determinado fenómeno natural.

Descripción de las variables del mapa de vulnerabilidad en los procesos de remoción en masa.

Para la elaboración del mapa de grado de importancia por precipitación actual (umbral de lluvias extremas), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* donde contengan las isolíneas de los umbrales de las lluvias extremas, posteriormente se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, resultando de la siguiente manera: 41-45 (**1**); 45-48 (**2**); 48-51 (**3**); 51-54 (**4**); 54-58 (**5**). (**Tabla IV.2.1**; **Figura IV.2.1a**).

Para la elaboración del mapa de grado de importancia (altimetría), se requiere el uso del MDE, el cual se reclasifica con cinco clases, posteriormente con ayuda de la herramienta *Spatial analys tools/Reclass/Reclassify* se asignan los valores que corresponde de acuerdo al grado de importancia, de tal manera que para los rangos de cota les corresponden los siguientes valores: 2055 (**1**); 2179 (**2**); 2308 (**3**); 2482 (**4**); 3010 (**5**). (**Tabla IV.2.1**; **Figura IV.2.1b**).

Para la elaboración del Mapa de grado de importancia (suelos), se hace uso del programa *ArcGis*, se abre el *shape* de suelos, en la tabla de atributos se añade un campo denominado “Rango” en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Leptosol (**1**); Planosol (**2**); Phaeozems (**3**); Rendzina (**4**); Vertisol (**5**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. (**Tabla IV.2.1**; **Figura IV.2.1c**).

Para obtener el Mapa de grado de importancia (pendientes), se utiliza la herramienta *ArcGis /3D Analyst Tool/Raster Surface/Slope*, para ello se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de interés, una vez que se obtenga el mapa, este se reclasifica en cinco clases. Posteriormente se vuelve a reclasificar en *Spatial Analyst Tool/Reclass/Reclassify*, en el cual se ponen los rangos de las pendientes, los cuales corresponden a los siguientes valores: <15 (**1**); 15-25(**2**); 25-35 (**3**); 35-45 (**4**); >45(**5**). (**Tabla IV.2.1**; **Figura IV.2.1d**).

***Tabla IV.2.1**. Ponderación a las variables para la obtención del mapa de vulnerabilidad por procesos de remoción en masa (MVPRM).*

ASIGNACIÓN DE RANGO A LAS VARIABLES POR VULNERABILIDAD A LOS PRM		
Mapa temático (Variables)	**Clase**	**Rango**
Precipitación	41-45	1
	45-48	2
	48-51	3
	51-54	4
	54-58	5
Altimetría	1840 - 2055	1
	2055 - 2179	2
	2179 - 2308	3
	2308 - 2482	4
	2482 - 3010	5
Suelo	Litosol	1
	Planosol	2
	Feozem	3
	Rendzina	4
	Vertisol	5
Pendiente	< 15	1
	15 - 25	2
	25 - 35	3
	35 - 45	4
	> 45	5
Fuente: Elaboración propia SGM, 2023.		

Mapa de vulnerabilidad a procesos de remoción en masa.

Se hace uso del programa ArcGis, en el proyecto correspondiente se activa la función “modelo”, se insertar y se utiliza la opción *raster layer*, se activan cuatro variables, estos se renombran como: precipitación, altimetría, suelo y pendiente, a partir de estas variables se obtendrá el mapa de vulnerabilidad. Se procede a insertar los mapas de cada uno de las variables. El siguiente paso es hacer uso del *Arc Toobox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Weigted Overlay*, en el ícono *Weigted Overlay* y se procede a insertar cada una de las capas, enseguida se procede a asignarles porcentaje de acuerdo a la importancia de cada una de las variables; asignados los siguientes porcentajes: precipitación (umbral de lluvias extremas, 30%), altimetría (20%), suelo (30%) y pendiente (20%). (**Figura IV.2.2**).

Interpretación del mapa de vulnerabilidad a procesos de remoción en masa.

Con base al Mapa de Vulnerabilidad por Procesos de Remoción en Masa (MVPRM) se puede interpretar que haca la porción suroeste del municipio se encuentra una pequeña área de aproximadamente 0.67 km^2 que se clasifica como vulnerabilidad muy baja a los PRM, En la porción central y oriente del municipio, se tiene una vulnerabilidad baja con un área aproximada de 273.5 km^2 , son áreas de planicie y llanuras; con respecto a la vulnerabilidad media, se tiene en la porción oriente y poniente con una cobertura de 293 km^2 , son zonas donde se observan lomeríos y pendientes con mayor inclinación; la vulnerabilidad alta se presenta de forma aislada principalmente en la porción oriente y poniente, con una cobertura de 89.5 km^2, son zonas con mayor pendiente; finalmente se tiene la vulnerabilidad muy alta, se presenta al poniente del municipio, en la partes altas de los cerros, con una cobertura de 0.48 km^2. De manera general se observa que las partes más vulnerables a los PRM, se encuentran en las partes altas y escarpadas, mientras que las de menos vulnerabilidad se encuentran en zonas planas. Por otro lado, la localidad de Tlaxcalilla se encuentra asentada en una zona de vulnerabilidad media a alta por PRM.

Descripción de las variables del mapa de peligro a procesos de remoción en masa.

Para la elaboración del Mapa de grado de importancia por precipitación actual (umbral de lluvias extremas), se hace uso del programa *ArcGis*, se abre el *shape* donde contengan las isolíneas de los umbrales de las lluvias extremas, posteriormente se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, resultando de la siguiente manera: 41-45 (**1**); 45-48 (**2**); 48-51 (**3**); 51-54 (**4**); 54-58 (**5**). (**Tabla IV.2.2**; **Figura IV.2.3a**).

Para obtener el Mapa de grado de importancia (pendientes), se hace uso de la herramienta *ArcGis /3D Analyst Tool/Raster Surface/Slope*, para ello se requiere el modelo digital de elevación (MDE) del área de interés, posteriormente se reclasifica en cinco clases; de nueva cuenta se reclasifica con la herramienta *Spatial Analyst Tool/Reclass/Reclasify*, resultando los siguientes rangos de las pendientes con su correspondiente valor: <15 (**1**); 15-25(**2**); 25-35 (**3**); 35-45 (**4**); >45(**5**). (**Tabla IV.2.2**; **Figura IV.2.3b**).

FACTORES UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (MVPRM)

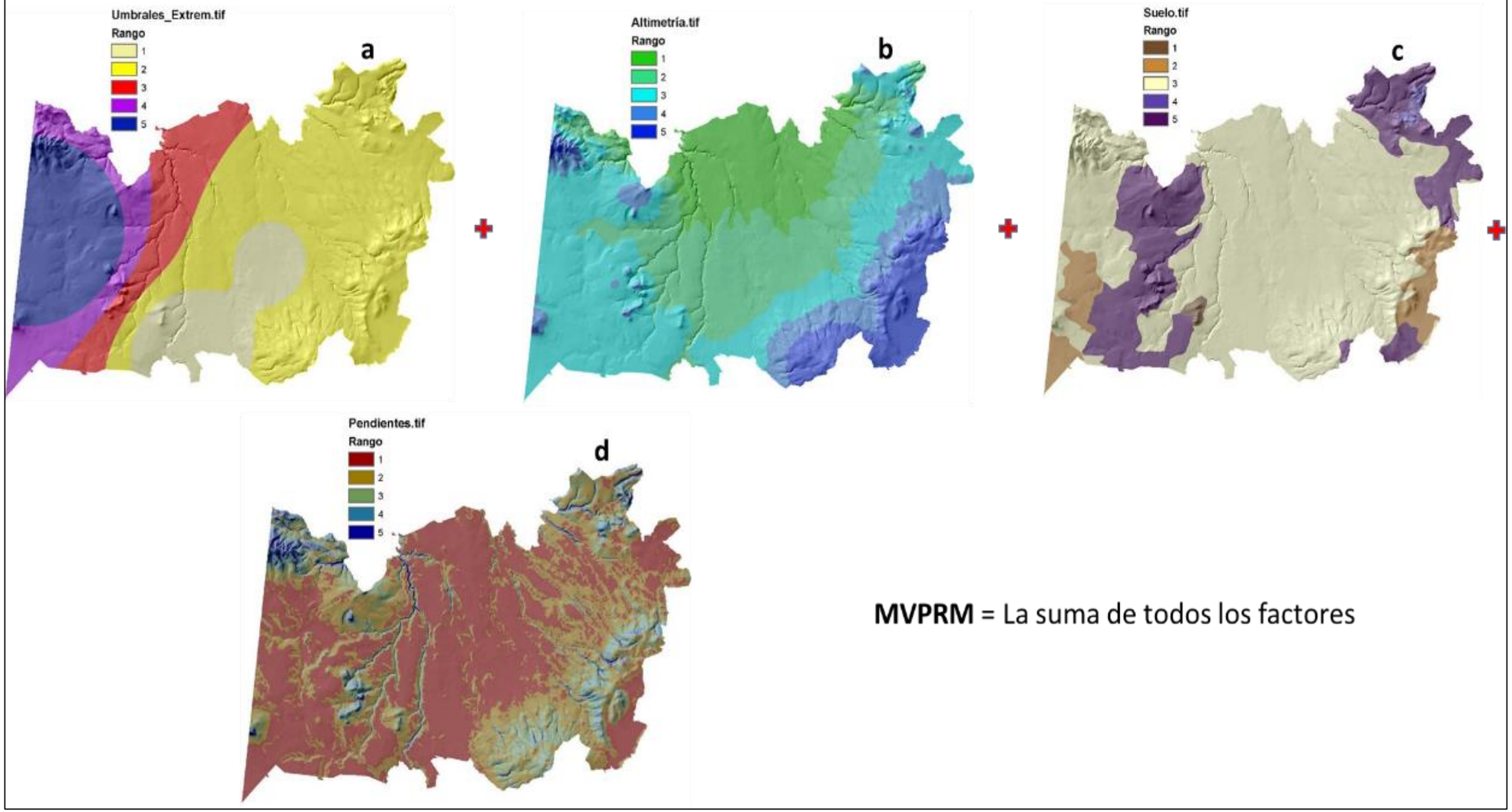


Figura IV.2.1a-d *Factores utilizados para determinar el mapa de vulnerabilidad por procesos de remoción en masa (MVPRM)*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

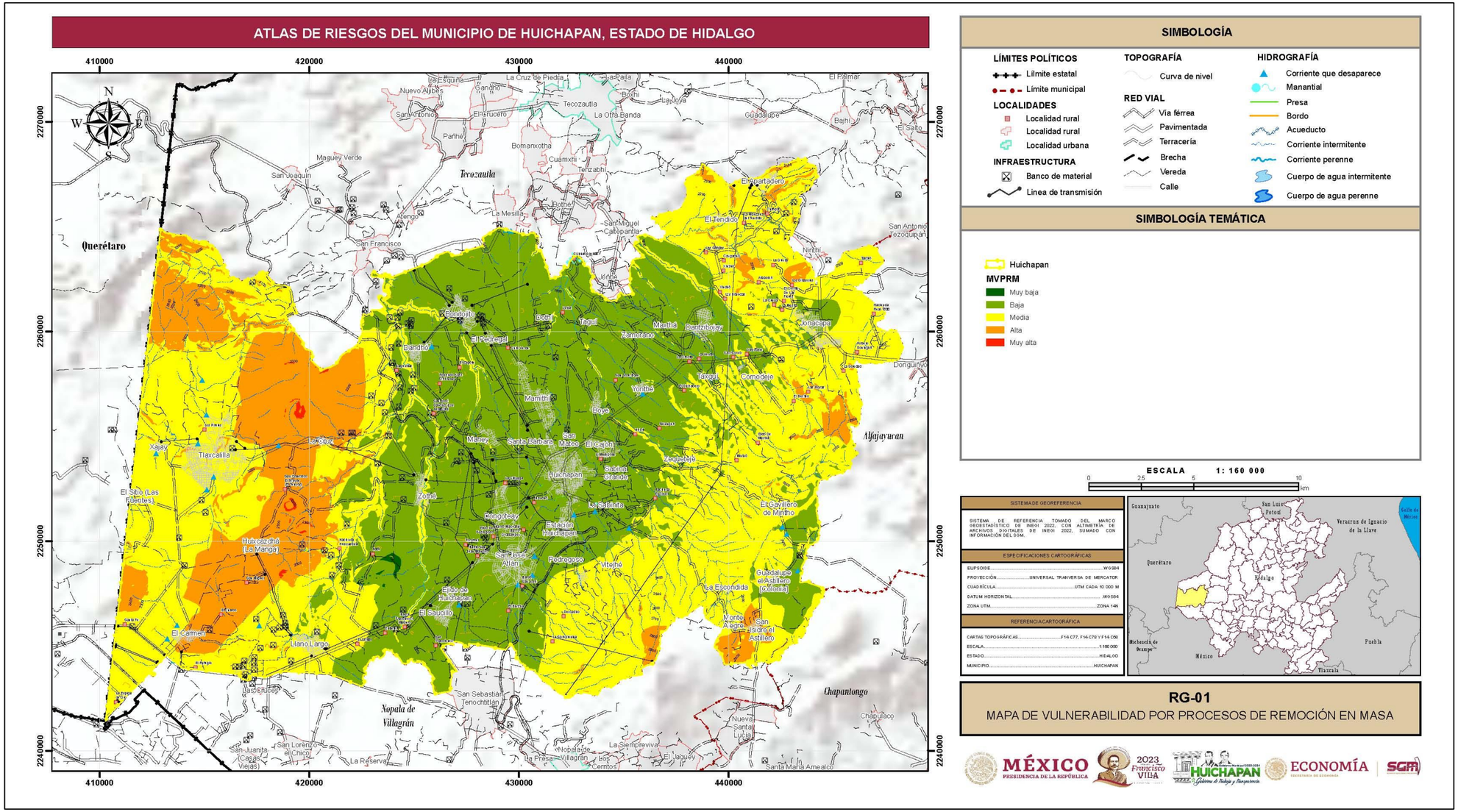


Figura IV.2.2. *Mapa de vulnerabilidad por procesos de remoción en masa en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Para la elaboración del Mapa de grado de importancia (litología), se hace uso del programa *ArcGis*, se abre el *shape* de litología, en la tabla de atributos se añade un campo denominado "Rango" en él, se coloca el grado de importancia, que para este análisis resultó: Toba Pumicítica, Lutita-Arenisca, Lacustre, Arena-Limo, Aluvión, Toba Riolítica-Ignimbrita y Toba Riolítica (**2**); Ignimbrita-Toba Dacítica, Toba Riolitica, Caliza, Andesita (**3**); Andesita-Basalto, Basalto-Andesita, Andesita, Dacita-Riolita, Andecita-Piroclasto (**4**). Posteriormente se transforman los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster* (**Tabla IV.2.2**; ***Figura IV.2.3c***).

Para la elaboración del Mapa de grado de importancia (cobertura vegetal), se utilizó el programa *ArcGis*, se abre el *shape* de suelos, en la tabla de atributos se añade un campo denominado "Rango" en él, se coloca el grado de importancia, que para nuestro caso es: Bosque de encino (**1**); Matorral crasicaule (**2**); Vegetación secuendaria y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino (**3**); Pastizal inducido, pastizal natural, Agricultura, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente (**4**); Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido (**5**). El siguiente paso es transformar los vectores a *raster*, para ello se hace uso de la herramienta *Conversion tool/To Raster/Polygon to Raster*. (**Tabla IV.2.2; Figura IV.2.3d**).

***Tabla IV.2.2**. Ponderación a las variables para la obtención del mapa de peligro por procesos de remoción en masa (MPPRM).*

ASIGNACIÓN DE RANGO A LAS VARIABLES POR PELIGRO ACTUAL A LOS PRM		
Mapa temático (Variables)	***Clase***	***Rango***
Precipitación	***41-45***	***1***
	45-48	***2***
	48-51	***3***
	51-54	***4***
	54-58	***5***
Pendiente	***< 15***	***1***
	15 - 25	***2***
	25 - 35	***3***
	35 - 45	***4***
	> 45	***5***
Litología (U1)	***Toba Pumicítica***	***2***
	Lutita-arenisca	
	Lacustre	
	Arena-Limo	
	Aluvión	
	Toba Riolítica-Ignimbrita	
	Toba Riolítica	
Litología (U2)	***Ignimbrita-Toba Dacítica***	***3***
	Toba-Riolítica	
	Caliza	
	Andesita	
Litología (U3)	***Andesita-Basalto***	***4***
	Basalto-Andesita	
	Andesita	
	Dacita-Riolita	
	Andesita-Piroclasto	
Vegetación	***Bosque de encino***	***1***
	Matorral crasicaule	***2***
	Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino.	***3***
	Pastizal inducido, Pastizal natural, Agricultura, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente.	***4***
	Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido	***5***
Fuente: Elaboración propia SGM, 2023.		

Mapa de peligro a procesos de remoción en masa.

Explicación del modelo para la obtención del mapa de peligro, se activa el ícono modelo, se insertar y se busca la opción *raster layer*, se activan cuatro variables, estos se renombran como: precipitación, pendiente, litología y cobertura vegetal, a partir de estas variables se obtendrá el mapa de peligro. Se procede a insertar los mapas de cada uno de las variables. El siguiente paso es utilizar la herramienta *Arc Toobox/Spatial Analyyst Tools/Overlay/Weigted Overlay*, en el ícono *Weigted Overlay* se procede a insertar cada una de las capas, enseguida se procede a asignarles porcentaje de acuerdo a la importancia de cada una de las variables. De tal manera, que los valores asignados son para la precipitación (umbral de lluvias extremas, 50%), pendiente (25%), litología (15%) y cobertura vegetal (10%). (**Figura IV.2.4**).

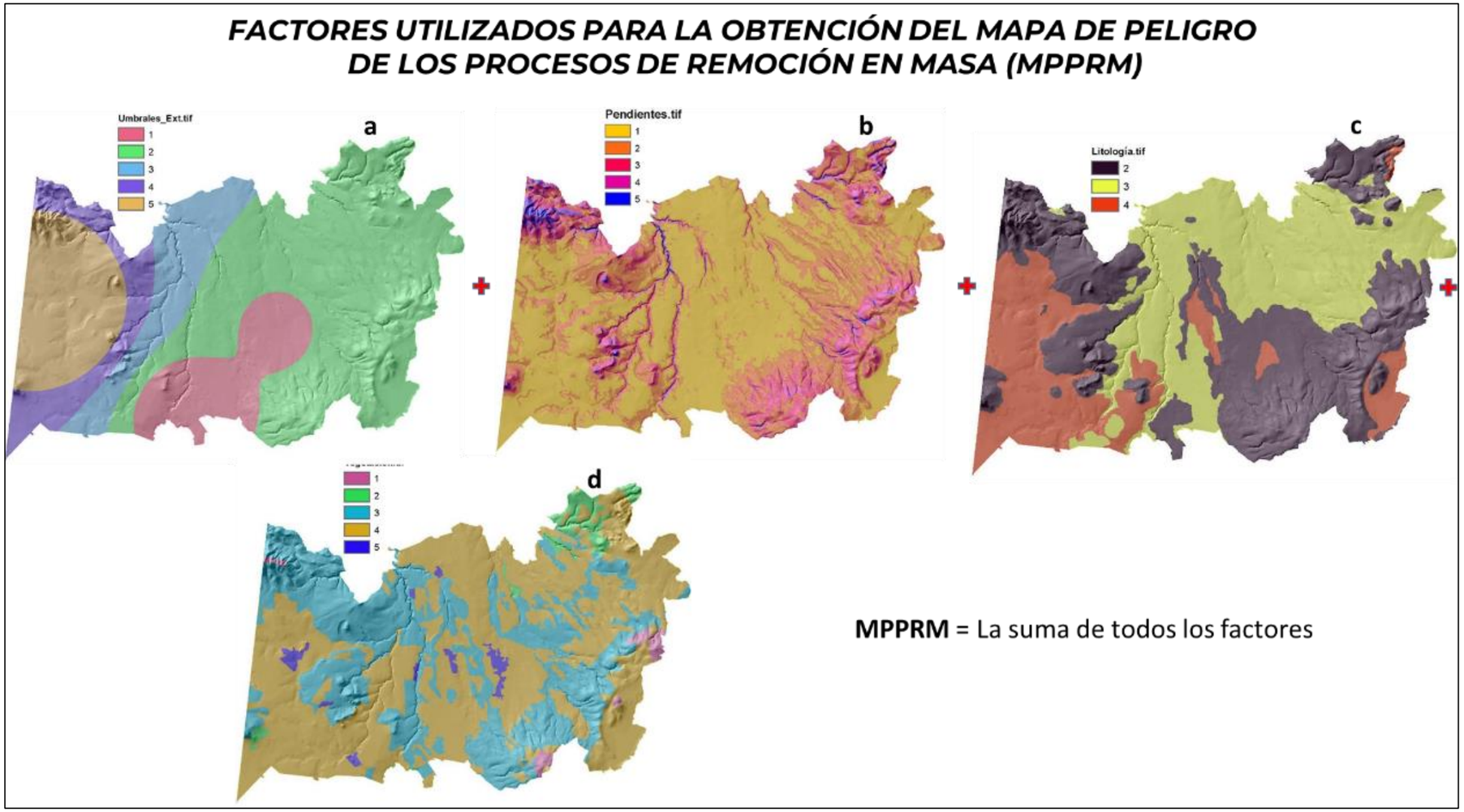


Figura IV.2.3a-d *Factores utilizados para determinar el mapa de peligro por procesos de remoción en masa (MVPRM)*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

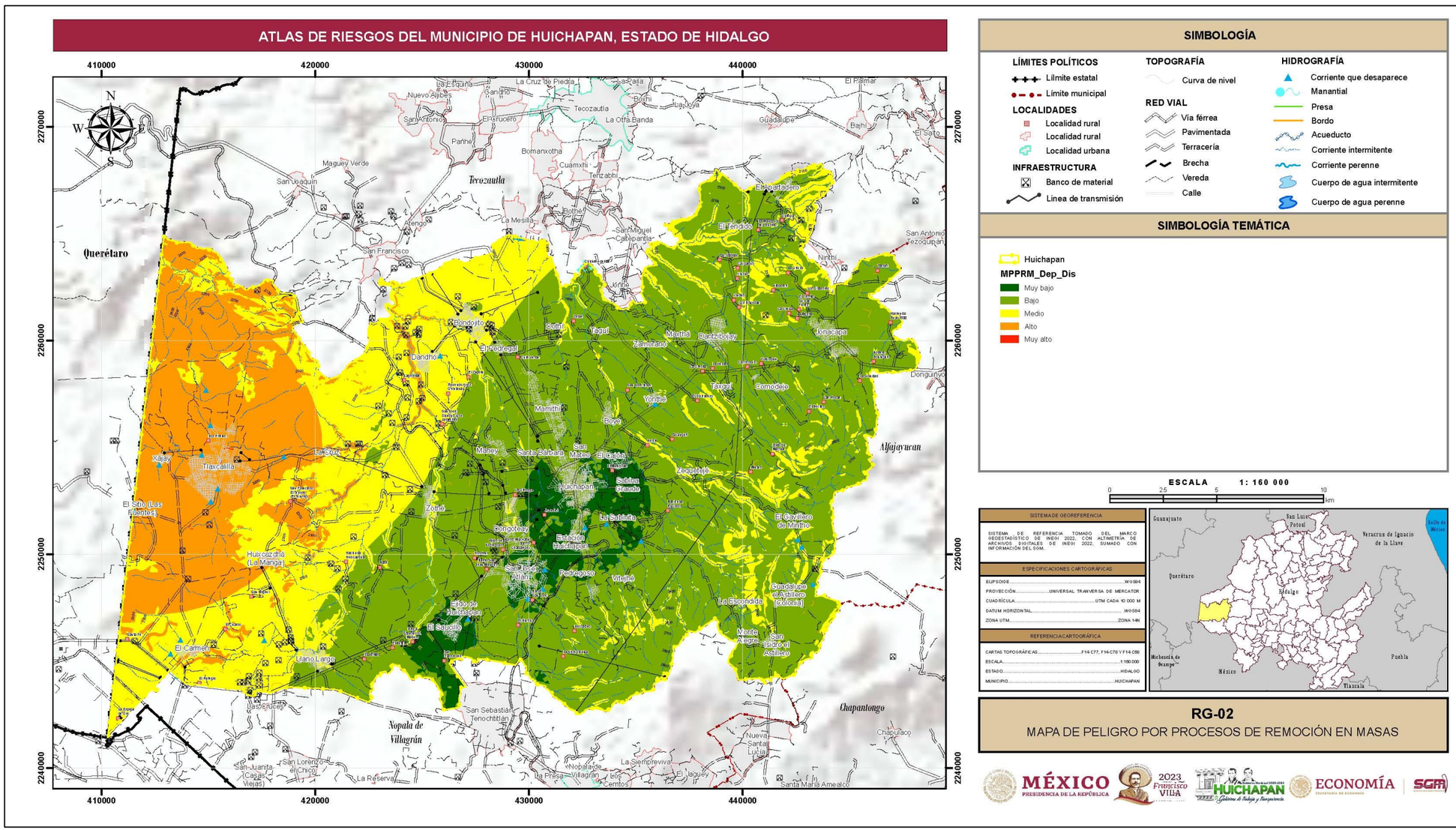


Figura IV.2.4. *Mapa de peligro por procesos de remoción en masa en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Interpretación del mapa de peligro a procesos de remoción en masa.
Con base al Mapa de Peligro por Procesos de Remoción en Masa (MPPRM) se puede interpretar que haca la porción centro sur de municipio, presenta peligro muy bajo con un área aproximada de 33.1 km^2, hacia la parte centro y oriente presenta un peligro bajo con una extensión de 366 km^2, entre estos dos rangos, comprende la mayor parte del municipio. Como peligro medio se tiene en la porción poniente, el cual comprende planicies y lomeríos, comprende un área de 172.2 km^2; como peligro alto, se tiene en la parte extremo poniente, el cual comprende lomeríos, montañas y zonas escarpadas, con un área de 103.3 km^2, finalmente se tiene un peligro muy alto el cual se ubica de forma aislada en el poniente del municipio, con una extensión de 0.02 km^2, se presenta en áreas con fuerte pendiente y material deleznable. De manera general, se observa que las partes con mayor peligro en temporadas de lluvias, es hacia la parte poniente, mientras que las de menor peligro es hacia la parte centro-oriente del municipio. Parte de la localidad de Tlaxcalilla se encuentra asentada en una zona de peligrosidad de alta a muy alta por los PRM (**Figura IV.2.4**).

Descripción de las variables del mapa de peligro TR50 a procesos de remoción en masa.

Para la elaboración de mapa de peligro con un periodo de retorno de 50 años (TR50), se emplearon las mismas variables que el mapa de peligro, solo que aquí se utilizaron los valores de precipitación con un periodo de retorno, esto es con la idea de tener conocimiento de un posible escenario a los PRM proyectado a 50 años. De tal manera, que solo se describe la precipitación (TR50).

Para la elaboración del Mapa de grado de importancia por precipitación (TR50), se hace uso del programa ArcGis, se abre el *shape* donde contengan las isolíneas de los periodos de retorno a 50 años, posteriormente se hace uso de la herramienta *Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to Raster*; una vez obtenido el mapa, se procede a realizar una reclasificación de acuerdo a las cinco clases y su grado de importancia, quedando de la siguiente manera: 806-866 (**1**); 866-928 (**2**); 928-1029 (**3**); 1029-1109 (**4**); 1109-1190 (**5**). (**Tabla IV.2.3**; **Figura IV.2.4a**).

***Tabla IV.2.3**. Ponderación a las variables para la obtención del mapa de peligro con periodo de retorno de 50 años por procesos de remoción en masa (MVPRM).*

ASIGNACIÓN DE RANGO A LAS VARIABLES POR PELIGRO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS A LOS PRM		
Mapa temático (Variables)	**Clase**	**Rango**
Precipitación_TR50 años	806-866	1
	866-928	2
	928-1029	3
	1029-1109	4
	1109-1190	5
Pendiente	< 15	1
	15 - 25	2
	25 - 35	3
	35 - 45	4
	> 45	5
Litología (U1)	Toba Pumicítica	2
	Lutita-arenisca	
	Lacustre	
	Arena-Limo	
	Aluvión	
	Toba Riolítica-Ignimbrita	
	Toba Riolítica	
Litología (U2)	Ignimbrita-Toba Dacítica	3
	Toba-Riolítica	
	Caliza	
	Andesita	
Litología (U3)	Andesita-Basalto	4
	Basalto-Andesita	
	Andesita	
	Dacita-Riolita	
	Andesita-Piroclasto	
Vegetación	Bosque de encino	1
	Matorral crasicaule	2
	Vegetación secundaria arbustiva y matorral crasicaule, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino.	3
	Pastizal inducido, Pastizal natural, Agricultura, Agricultura de riego anual y semipermanente, Agricultura de temporal anual, Agricultura de temporal anual y permanente, Agricultura de temporal permanente.	4
	Áreas desprovistas de vegetación, Urbano construido	5
Fuente: Elaboración propia SGM, 2023.		

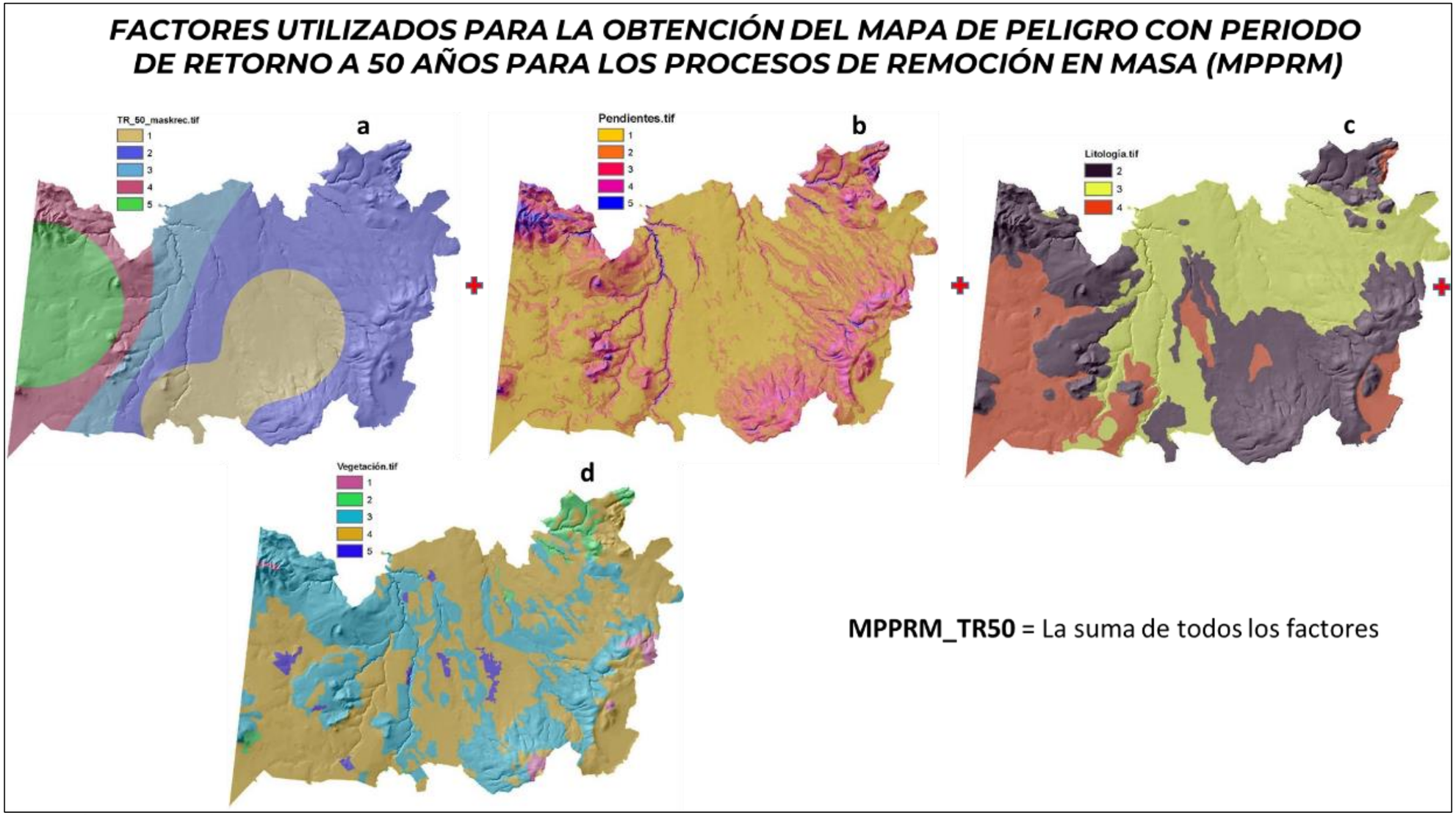


Figura IV.2.4a-d *Factores utilizados para determinar el mapa de peligro con periodo de retorno de 50 años por procesos de remoción en masa (MPPRM)*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Mapa de peligro TR50 a procesos de remoción en masa.

Explicación del modelo para la obtención del mapa de peligro con un periodo de retorno de 50años, se activa el ícono modelo, se insertar y se busca la opción *raster layer*, se activan cuatro variables, estos se renombran como: precipitación_TR50, pendiente, litología y cobertura vegetal; ya que a partir de estas variables se obtiene el mapa de peligros con periodo de retorno. Se procede a insertar los mapas de cada uno de las variables. El siguiente paso es hacer uso del *Arc Toobox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Weigted Overlay*, en el ícono *Weigted Overlay* se aplica doble clic y se procede a insertar cada una de las capas, enseguida se procede a asignarles porcentaje de acuerdo a la importancia de cada una de las variables. De tal manera, que los valores asignados son para la precipitación_TR50 (50%), pendiente (25%), litología (15%) y cobertura vegetal (10%). (**Tabla IV.2.3, Figura IV.2.5**).

Interpretación del mapa de peligro TR50 a procesos de remoción en masa.

Como peligro muy bajo, se tiene en la parte centro y sur del municipio, con una extensión de 41.2 km^2, para el peligro bajo, se tiene en la parte centro y oriente del municipio con un área aproximada de 364.4 km^2; para el peligro medio se tiene distribuido en la porción poniente del municipio con una extensión de 171.5 km^2, para el peligro alto se encuentra en la parte extremo poniente con un área de 97.6 km^2, finalmente el peligro muy alto se ubica en la porción poniente de forma aislada con un área de 0.02 km^2.

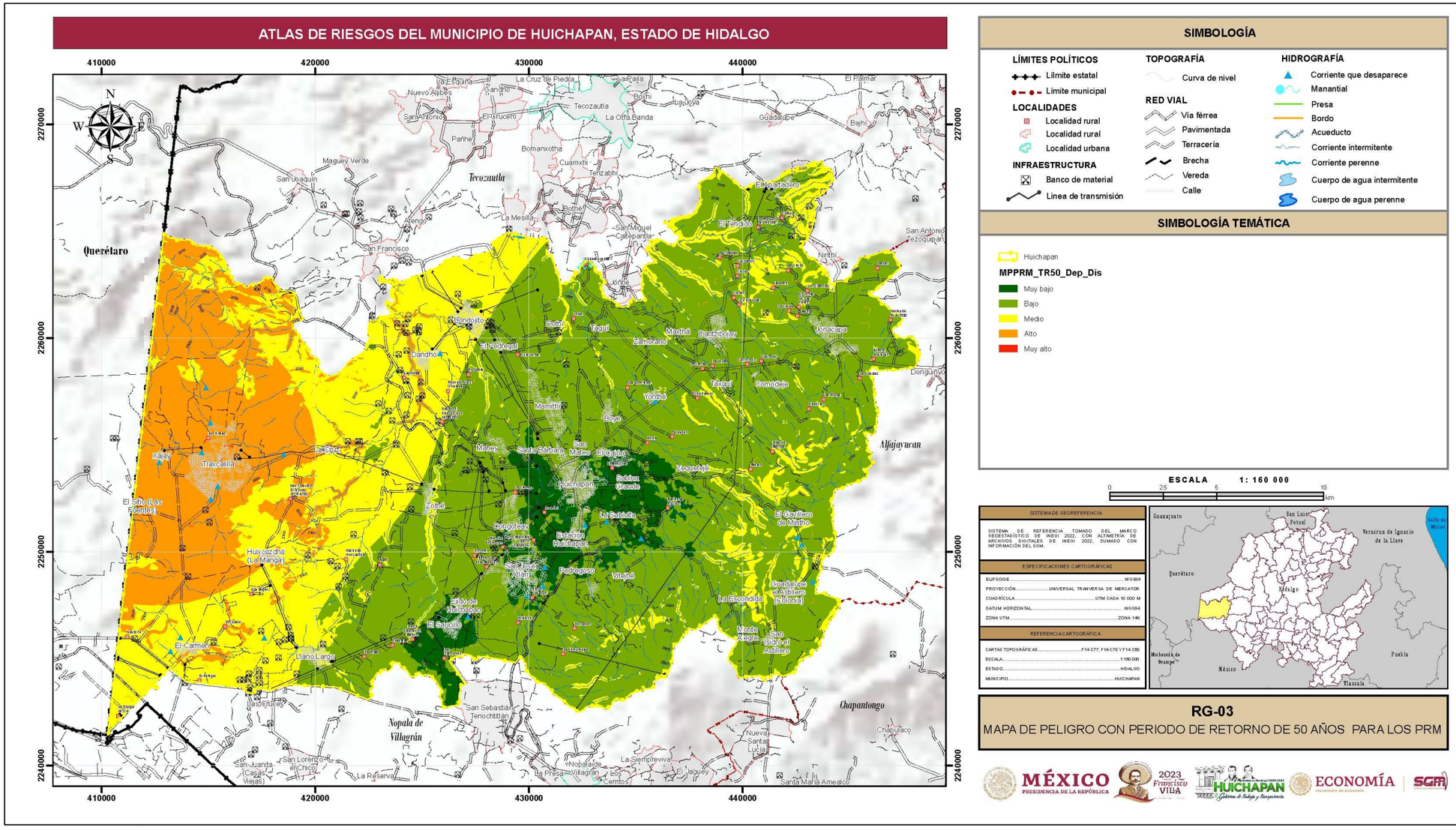
Aunque la configuración de los mapas del peligro actual y el de un periodo de retorno de 50 años, es similar, sin embargo, se tienen ligeros cambios en las áreas de influencia, lo que significa que durante 50 años no se tendrán cambios significativos al actual. Por otro lado, la localidad de Tlaxcalilla se encuentra asentada en una zona de peligro_TR50 de alta a muy alta por los PRM. (**Figura IV.2.5**).

Mapa de riesgo a procesos de remoción en masa.

Como ya se mencionó con anterioridad, el riesgo (**R**), está en función del peligro (**P**) y la vulnerabilidad (**V**), se tal manera, que se hace uso de la siguiente fórmula:

Riego = Peligro x Vulnerabilidad

Una vez que tenemos abierto el proyecto en *ArcGis*, activamos el ícono de modelo, damos clic en la variable *Raster Layer*, se renombran con el nombre de mapa de peligro y mapa de vulnerabilidad. Se procede a insertar los mapas de cada uno de las variables. El siguiente paso es hacer uso del *Arc Toobox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Weigted Overlay*, en el ícono *Weigted Overlay* se insertan cada una de las capas, enseguida se procede a asignarles porcentaje de acuerdo a la importancia de cada una de las variables. De tal manera, que los valores asignados son para el mapa de peligros (actual) tiene un valor de (50%) y para el mapa de vulnerabilidad de (50%). (**Figura IV.2.6**).



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Línea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

MPPRM_TR50_Dep_Dis
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C88
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

RG-03

MAPA DE PELIGRO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS PARA LOS PRM

Figura IV.2.5. *Mapa de peligro con periodo de retorno de 50 años por procesos de remoción en masa en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

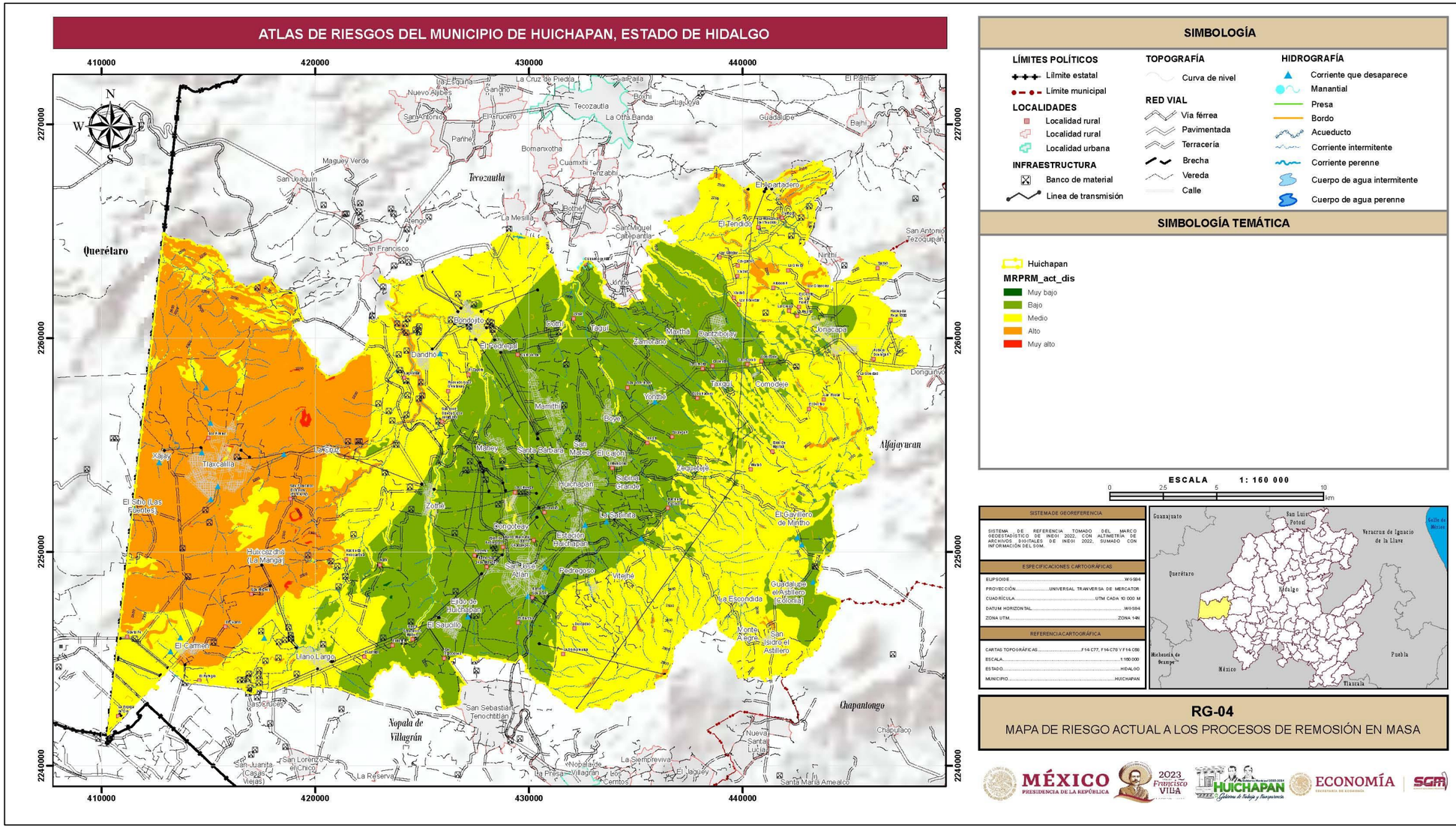


Figura IV.2.6. *Mapa de riesgo actual por procesos de remoción en masa en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Interpretación del mapa de riesgo a procesos de remoción en masa.

El área de riesgo muy bajo se encuentra en la parte sur del municipio, con un área aproximada de 0.13 km^2, el riesgo bajo se encuentra en la porción centro y oriente con un área aproximada de 229 km^2, el riesgo medio se encuentra distribuido en la parte oriente, centro y aisladamente en la parte poniente, con un área de 288 km^2, siendo la de mayor extensión en el municipio; el riesgo alto se presenta en la parte poniente y aisladamente en la porción oriente del municipio, con una extensión de 139 km^2, finalmente se tiene el riesgo muy alto, se presenta en la parte poniente de forma aislada con una extensión de 0.5 km^2. De acuerdo al análisis, la localidad de Tlaxcalilla, presenta riesgo alto a muy alto por PRM.

Mapa de riesgo TR50 a procesos de remoción en masa.

Una vez que tenemos abierto el proyecto en *ArcGis*, abrimos el ícono de modelo, damos clic en la variable *Raster Layer*, se renombran con el nombre de mapa de peligro con periodo de retorno a 50 años (TR50) y mapa de vulnerabilidad. Se procede a insertar los mapas de cada uno de las variables. El siguiente paso es hacer uso del *Arc Toobox/Spatial Analyst Tools/Overlay/Weigted Overlay*, en el ícono *Weigted Overlay* se insertan cada una de las capas, enseguida se procede a asignarles porcentaje de acuerdo a la importancia de cada una de las variables. De tal manera, que los valores asignados son para el mapa de peligro (TR50) tiene un valor de (50%) y para el mapa de vulnerabilidad de (50%). (**Figura IV.2.7**).

Interpretación del mapa de riesgo TR50 a procesos de remoción en masa.

El área de riesgo muy bajo se encuentra en la parte sur del municipio, con un área aproximada de 0.09 km^2, el riesgo bajo se encuentra en la porción centro y oriente con un área aproximada de 234 km^2, el riesgo medio se encuentra distribuido en la parte oriente, centro y aisladamente en la parte poniente, con un área de 284 km^2, siendo la de mayor extensión en el municipio; el riesgo alto se presenta en la parte poniente y de forma aislada en la porción oriente del municipio, con una extensión de 138 km^2, finalmente se tiene el riesgo muy alto, se presenta en la parte poniente de forma aislada con una extensión de 0.5 km^2. De acuerdo al análisis, la localidad de Tlaxcalilla, presenta riesgo alto a muy alto por PRM.

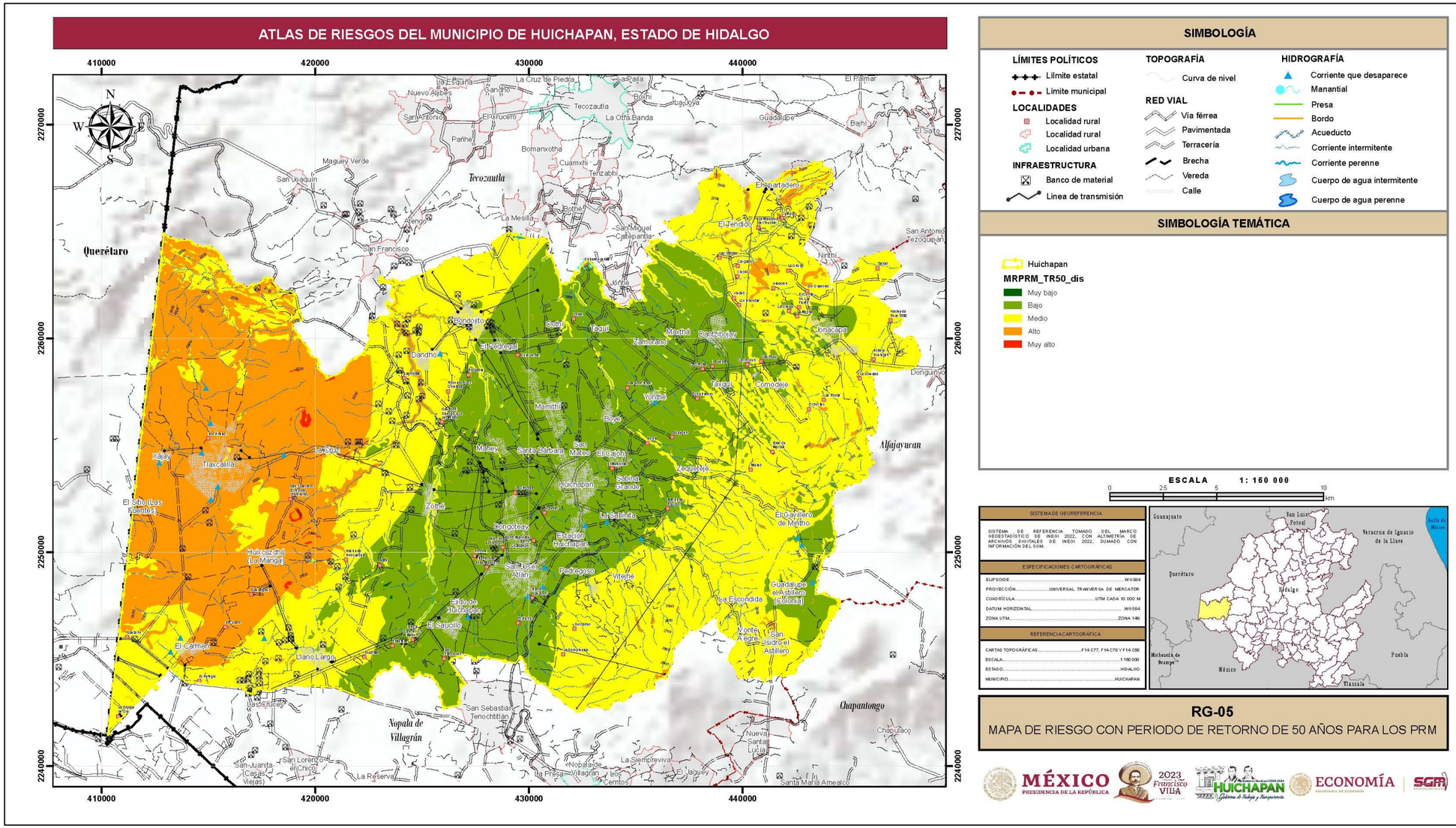
De manera general se puede comentar que la configuración del mapa de riesgo actual y el riesgo con un periodo de retorno, son similares, con ligeras variaciones en sus áreas de influencia, las únicas que no cambian son el riesgo alto a muy alto, lo que se puede comentar que las condiciones de riesgo a los PRM no cambian en un periodo de 50 años.

Análisis del mapa de riesgo con el censo de población y vivienda.

Con el apoyo del *ArGis*, se procede a realizar el análisis del mapa de riesgo con el censo de población 2020, ageb y manzana urbana, con esta sobreposición se puede observar que la única localidad que se encuentra el riego alto a muy alto por PRM es el poblado de Tlaxcalilla, principalmente en su porción centro y noreste. Con base el censo de población, se observa que en la localidad de Tlaxcalilla son tres las manzanas afectadas por riesgo muy alto. (**Tabla IV.2.4, Figura IV.2.8**).

Tabla IV.2.4. *Manzanas afectadas por riesgo muy alto a los PRM.*

CENSO DE POBLACIÓN 2020 AGEB_MZA_URBANA. LOCALIDAD DE TLACALILLA				
Clave geoestadística por manzana	**Población total**	**Total, de viviendas**	**Población expuesta**	**Viviendas expuestas**
1302900290152002	89	38	72	31
1302900290152006	42	15	6	2
1302900290152007	93	45	0	0
Fuente: Elaboración propia SGM, 2023.				



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Huichapan

MRPRM_TR50_dis
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA
SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS	
ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA	
CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C88
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

RG-05

MAPA DE RIESGO CON PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS PARA LOS PRM

Figura IV.2.7. *Mapa de riesgo con periodo de retorno a 50 años por procesos de remoción en masa en el municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

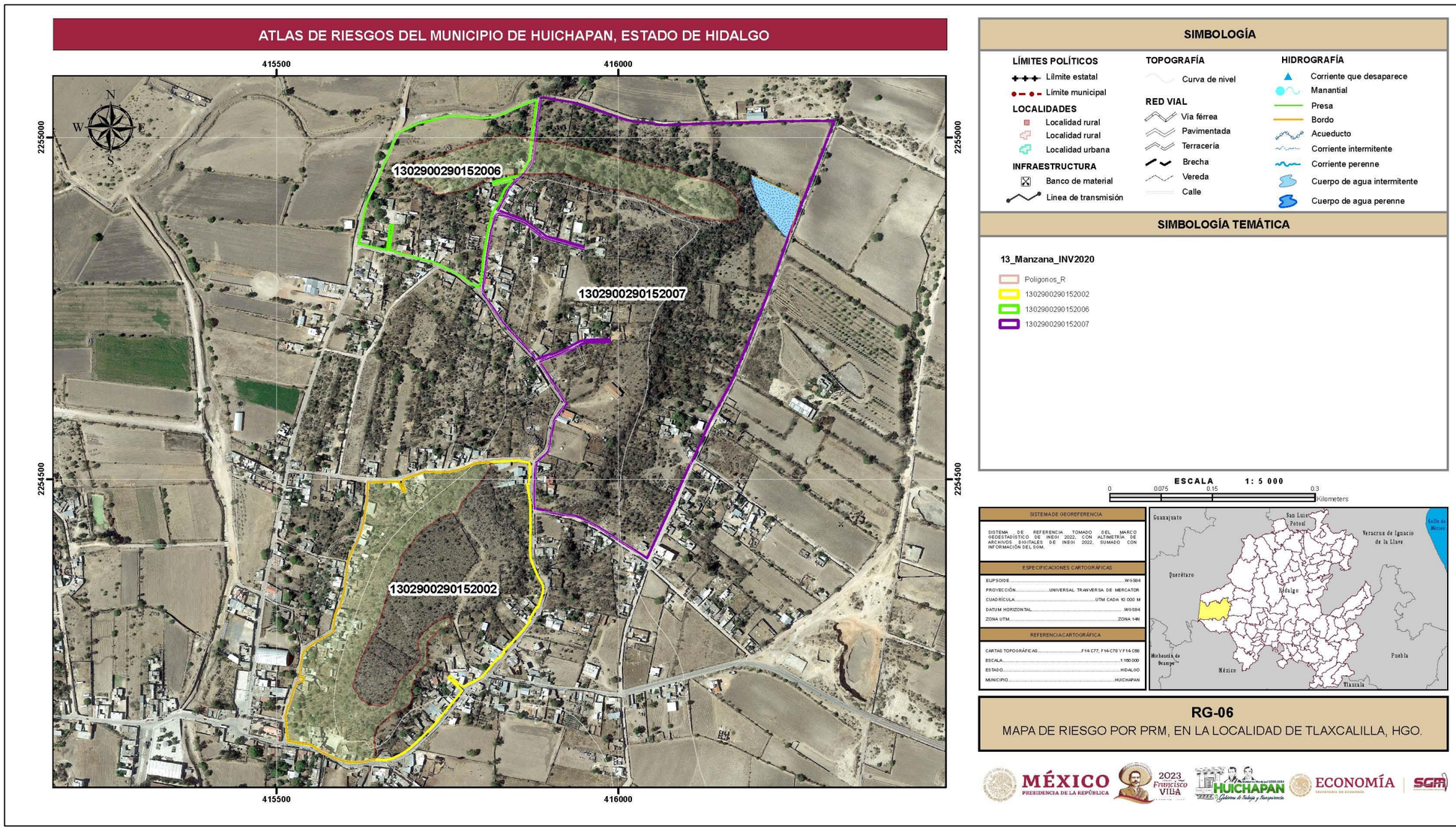


Figura IV.2.8. *Manzanas afectadas por riesgo muy alto en la localidad de Tlaxcalilla, municipio de Huichapan, Hidalgo.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023*

.

Los polígonos de color verde claro y contorno rojo, son los sitios donde se presenta un riesgo muy alto a los procesos de remoción en masa, de tal manera, que las autoridades correspondientes deben de poner especial atención a esas áreas, principalmente en temporadas de lluvias, así como, evitar la construcción de viviendas para no construir riesgos.

Para el análisis del mapa de riesgo con proyección a 50 años, se considera que es el mismo que el actual, debido a que el riesgo alto a muy alto no cambia en este lapso de tiempo, por otro lado, se desconoce la configuración de los futuros asentamientos.

Conclusiones

Se realizaron los mapas de vulnerabilidad, peligro actual, peligro con periodo de retorno a 50 años, riesgo actual, riesgo con periodo de retorno a 50 años y el mapa de riesgo sobreponiendo las ageb´s.

Para el mapa de vulnerabilidad a PRM, se emplearon los factores de precipitación, altimetría, suelo y pendientes. El mapa resultante nos indica que las zonas menos vulnerables se ubican en la parte central del municipio, lo que corresponde a lugares de planicie y pendiente muy baja. Por otro lado, los de mayor vulnerabilidad se ubican en las zonas de altas, de mayor pendiente y escarpada.

En la elaboración del mapa de peligro a los PRM, se emplearon los factores de precipitación, pendientes, litología y cubierta vegetal. El mapa resultante indica que el peligro bajo y muy bajo se localiza en la parte oriente del municipio, mientras que el peligro medio, alto y muy alto, se ubica en la parte poniente.

Para el mapa de peligro con un periodo de retorno se emplearon los mismos factores del peligro actual, lo que varío fueron los datos de precipitación con un periodo de retorno a 50 años. El mapa resultante es similar al de peligro actual, solo con ligeras variaciones en las áreas de influencia, lo que significa que durante 50 años **no** se tendrán cambios significativos al actual.

Para la obtención del mapa de riesgo actual se sobrepusieron los mapas de vulnerabilidad con el peligro actual, y para la obtención del mapa de riesgo a 50 años, se sobrepusieron los mapas de vulnerabilidad con el mapa de peligro con periodo de retorno a 50 años. Ambos mapas tienen una configuración similar, pero con ligeras variaciones en las áreas de influencia, quedando sin variación el riego alto y muy alto.

El análisis del riesgo se realizó con la información del censo de población y vivienda, INEGI (2020), en la cual se determinó que la localidad de Tlaxcalilla presenta riesgo a los PRM, siendo tres manzanas con posible afectación a 78 personas y 33 viviendas.

Derivado de lo anterior, se recomienda a las autoridades competentes realizar un constante monitoreo a las áreas antes mencionadas, principalmente en temporada de lluvias.

IV.3 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

IV.3.1 Riesgo por inundaciones

Las inundaciones que se presentan en el municipio de Huichapan, son de tipo pluvial, las avenidas en zonas de escurrimiento con arrastre de material son las que afectan a más viviendas tipo I y II, así como las inundaciones fluviales que son los desbordes que se presentan en los ríos del municipio.

Los daños que involucran este fenómeno en la zona son de tipo material, sobre todo la pérdida del menaje, que según la RAE (2002) son los muebles y accesorios de una casa.

La vulnerabilidad se realizó en las 20 zonas de la **Tabla II.2.8.1**, (ver apartado II.2.8) en donde se verificó la existencia de peligro por inundaciones.

Se realizaron recorridos en las áreas de peligro por inundaciones y se determinaron zonas de mayor vulnerabilidad de acuerdo a su nivel socioeconómico y numero de cuartos, con información obtenida de INEGI (2020), así como el tipo de construcción, una vez delimitada el área se procedió al conteo y clasificación de viviendas **Tabla IV.3.1**.

Los costos del menaje se determinaron a partir de la metodología para elaborar mapas de riesgo por inundación (Alcocer-Yamanaka, 2015), donde se menciona que el costo de menaje por vivienda tipo lll es de $ 150,500, no obstante, para el daño en menaje se toma la mitad de costo, dado que este tipo de viviendas se consideran de dos niveles, el menaje de las viviendas tipo ll es de $ 50,000 y del tipo l $ 12,500, sin embargo, ajustado la inflación de enero del 2015 a agosto 2023 (INEGI, 2023) los costos resultantes son:

Vivienda tipo III → $218,947.40
Vivienda tipo II → $72,740.00
Vivienda tipo I → $18,185.00

A cada tipo de vivienda se le asignó un nivel de vulnerabilidad:
Vivienda tipo III → Nivel Bajo

Vivienda tipo II → Nivel Medio
Vivienda tipo I → Nivel Alto

La vulnerabilidad de las zonas de peligro es representada por el tipo de vivienda que predomine, es decir, si en el área existen 10 casas tipo III, 6 casas tipo II y 2 casas tipo I, para esta zona se le asignará el nivel de vulnerabilidad bajo (casas tipo III).

En el caso del municipio de Huichapan las casas tipo III son las que predominan en las localidades con peligro por inundaciones.

Tabla IV.3.1 *Localidades clasificadas por tipo de vivienda y costo de menaje por tipo de vivienda.*

Localidad	Tipo de vivienda			Costo total de menaje por tipo de vivienda		
	III	II	I	Tipo III	Tipo II	Tipo I
Bondojito	1	5	26	$18,185	$363,700	$5,692,632
Dothí	0	1	3	$0	$72,740	$656,842
Ejido de Huichapan	2	3	20	$36,370	$218,220	$4,378,948
El Apartadero	0	2	11	$0	$145,480.00	$2,408,421.40
El Carmen	0	3	38	$0	$218,220	$8,320,001
El Saucillo	3	7	47	$54,555.00	$509,180.00	$10,290,527.80
Huichapan	11	51	305	$200,035	$3,709,740	$66,778,957
Jonacapa	2	7	58	$36,370	$509,180	$12,698,949.2
La Cruz	0	2	9	$0	$145,480	$1,970,527
Llano Largo	3	15	110	$54,555	$1,091,100	$24,084,214
Mamithí	1	6	39	$18,185	$436,440	$8,538,949
Maney	1	4	31	$18,185	$290,960	$6,787,369
Pedregoso	2	9	47	$36,370	$654,660	$10,290,528
Sabina Grande	0	1	6	$0	$72,740	$1,313,684
San José Atlán	5	30	139	$90,925	$2,182,200	$30,433,689
Santa Bárbara	1	2	24	$18,185	$145,480	$5,254,738
Taguí	0	1	7	$0	$72,740	$1,532,632
Tlaxcalilla	3	18	163	$54,555.00	$1,309,320.00	$35,688,426.20
Xajay	1	1	10	$18,185	$72,740	$2,189,474
Zothé	3	9	46	$54,555	$654,660	$10,071,580

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2020.

Con los niveles asignados de vulnerabilidad de acuerdo al tipo de viviendas de las localidades y a las zonas de peligro identificadas en las prospecciones de campo **(Figura II.2.8.2)**. Se utilizó la matriz de riesgos **(Tabla IV.1)** en donde se multiplican los niveles de vulnerabilidad con los niveles de peligro (DNP, 2006), resultando la matriz de riesgo por inundación **(Tabla IV.3.2)**, con esta información se generó el mapa de riesgo en las localidades analizadas del municipio **(Figuras IV.3.1** y **IV.3.2)**.

El nivel de riesgo predominante en el municipio de Huichapan es bajo y medio.

Tabla IV.3.2 *Matiz resultado para riesgo por inundaciones.*

	Vulnerabilidad		
	Tipo III	Tipo II	Tipo I
Peligro	Bajo	Medio	Alto
Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Medio	Bajo	Medio	Alto
Alto	Medio	Alto	Alto

La cabecera municipal de Huichapan está afectada principalmente por desbordes y avenidas en zonas de escurrimiento, y en su mayoría, el nivel de riesgo se clasifica como bajo, sin embrago, existen zonas con un nivel de riesgo medio como la presa Javier Rojo Gómez, el Barrio El Calvario y la calle Abasolo (**Figura IV.3.1**). Para determinar la zona de acumulación y dirección del flujo con mayor detalle y precisión en las zonas de escurrimiento tanto de la presa Rojo Gómez y El Calvario se realizaron vuelos con dron para poder sacar un modelo digital de elevación de alta resolución a base de las curvas de nivel con intervalos de un metro.

En el caso específico de la presa Metethé (Javier Rojo Gómez) **Fotografía IV.3.1**, ubicada al suroeste de la presidencia municipal de Huichapan, Se realizó un vuelo con dron para determinar la dirección de flujo en caso de desborde de la presa, de acuerdo al análisis las aguas correrían en dirección sureste-noreste; En 2017 se reportó un desborde(Criterio Hidalgo, 2017), este evento afectó al fraccionamiento INFONAVIT y las áreas afectadas concuerdan con la dirección de flujo que resulto en la **figura IV.3.1**, el fraccionamiento se encuentra a 180 metros de distancia de la cortina de la presa, pero cercano a la llanura de inundación El riesgo resulto ser medio en esta zona.

En cuanto a las avenidas en esta localidad, se concentran principalmente en las calles Francisco I. Madero del Barrio El Calvario (**Fotografía IV.3.2**), Río de las Avenidas y Abasolo. En la primera, se han registrado avenidas con alturas que oscilan entre los 30 y 40 centímetros. Esta agua fluye de sureste a noreste en la localidad, generando problemas similares en la calle De La Victoria.

Fotografía IV.3.1 *Presa Javier Rojo Gómez se aprecia la cercanía del fraccionamiento a la presa y a su llanura de inundación.*

Fotografía IV.3.2 *Calle Fco. I. Madero en la cabecera municipal durante recorrido de verificación al término de una lluvia moderada (agosto, 2023).*

En el caso de la localidad de **San José Atlán,** el nivel de riesgo varía de bajo a medio y está relacionado con las avenidas y el desborde del arroyo que atraviesa la localidad. Sin embargo, el desborde que se ha registrado previamente fue provocado por la conexión del arroyo al río, que funciona como un canal de riego (**Fotografía IV.3.3**). El control del flujo de agua en esta zona se realiza mediante compuertas. Durante una precipitación extrema en el año 2017, estas puertas no fueron abiertas para permitir el paso del flujo, lo que resultó en un desbordamiento que afectó algunas viviendas aguas abajo, causando la pérdida de bienes materiales en dos viviendas.

Fotografía IV.3.3 *Canal de riego perpendicular a arroyo natural.*

En el caso de la localidad de Tlaxcalilla, el nivel de riesgo varía de bajo a medio, se presentan problemas relacionados con avenidas en zonas de escurrimiento y desbordes del arroyo que atraviesa la localidad. La fuente que alimenta este arroyo es la presa Tlaxcalilla, ubicada al sur de la localidad, y el flujo del agua corre de sur a norte. La zona con mayor afectación por el desborde del arroyo fue en el centro de la localidad, donde el puente sufrió daños (**fotografías IV.3.4** y **IV.3.5**).

Fotografía IV.3.4 *Puente del centro de Tlaxcalilla en época de estiaje.*

Fotografía IV.3.5 *Puente del centro Tlaxcalilla en el año 2021 dañado por el desborde del arroyo. (El Bocón, 2017).*

En la localidad de Tlaxcalilla se ubica entre dos áreas elevadas, y el escurrimiento desde estas zonas altas fue lo suficientemente fuerte como para arrastrar vehículos como se observa en las **fotografías IV.3.6** y **IV.3.7**. El agua del escurrimiento tiene dirección de oeste a este para unirse al flujo del arroyo al centro de la localidad que tiene dirección sur a norte.

Fotografía IV.3.6 *Calle Lirios al suroeste de la localidad de Tlaxcalilla en época de estiaje.*

Fotografía IV.3.7 Calle Lirios en el año 2017 (El Bocón, 2017).

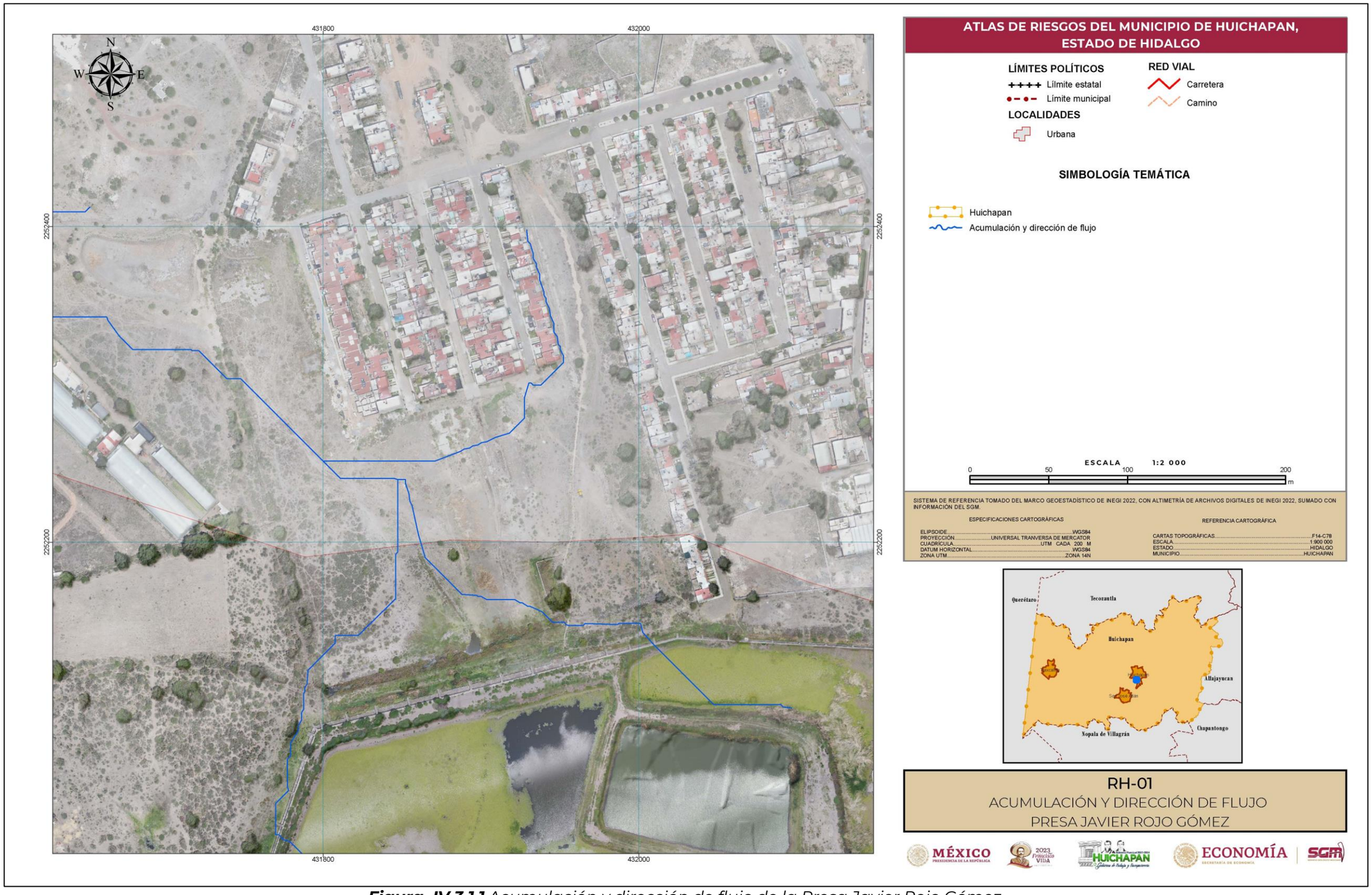


Figura IV.3.1.1 *Acumulación y dirección de flujo de la Presa Javier Rojo Gómez.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

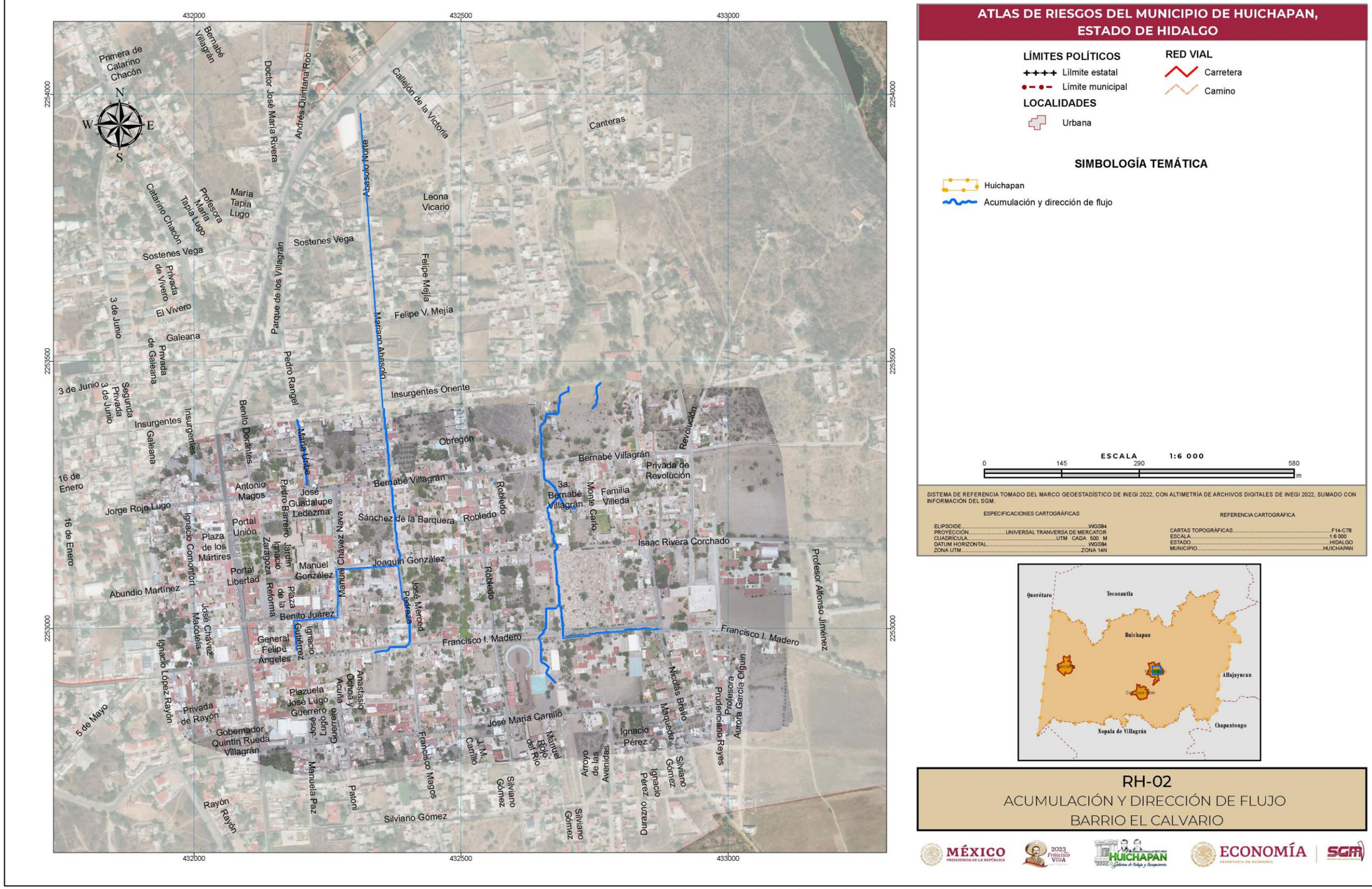


Figura IV.3.1.2 *Acumulación y dirección de flujo del barrio El Calvario.*
Fuente: Elaboración propia, 2023.

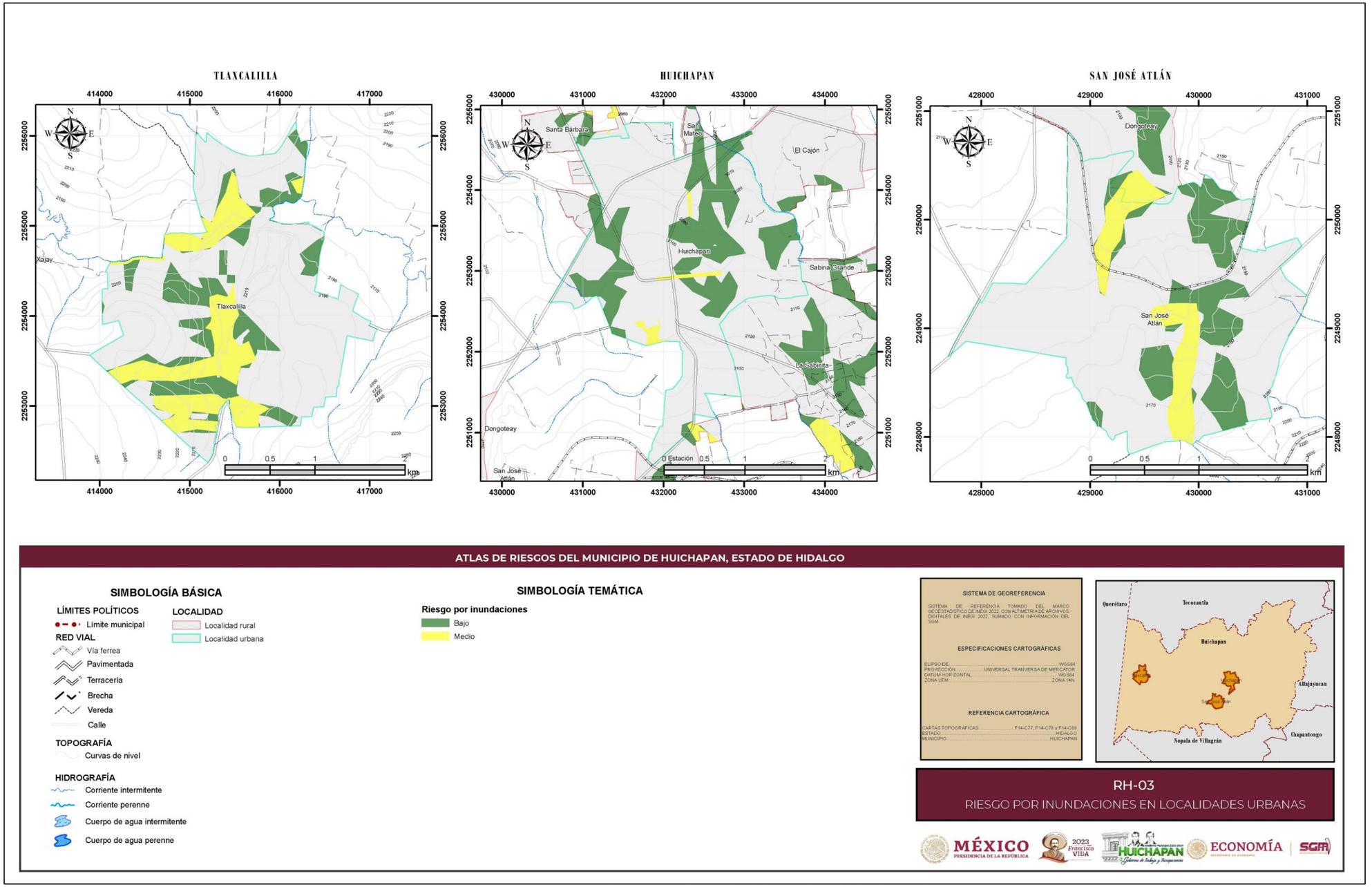


Figura IV.3.1.3 *Zonas de riesgo por inundación en localidades urbanas*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Los **desbordes** que afectan a las localidades del municipio incluyen a Bondojito, Ejido Huichapan, El Saucillo, La Cruz, Pedregoso, Sabina Grande, Taguí, Xajay y Zothé.

En las localidades de Pedregoso y Zothé, el riesgo se relaciona principalmente con los arroyos que atraviesan estas áreas. En ambas localidades, el nivel de riesgo medio se localiza en la periferia de los arroyos, mientras que el riesgo bajo se presenta en las zonas de escurrimiento que alimentan a los arroyos.

Un incidente ocurrió el 7 de septiembre de 2021 en el centro de Pedregoso, donde se registraron daños en las viviendas construidas en la periferia del arroyo (**Fotografía IV.3.8)**. De acuerdo a la información proporcionada por los habitantes, un vecino realizo una construcción que alteraron el curso natural de la corriente, lo que provocó que el agua se estancara y comenzara a infiltrarse en una vivienda contigua, el exceso de agua desfogó por una casa que contaba con una puerta que tenía salida al otro lado de la calle que conducía al cauce natural, tambien se disminuyó la altura del bordo que se ubica atrás de las viviendas para que el agua continuará por su curso natural (**Fotografía IV.3.9**).

Fotografía IV.3.8 *Localidad de Pedregoso Se observa la dirección del flujo del arroyo, así como las viviendas aledañas al bordo del cauce.*

Fotografía IV.3.9 *La presión que se generó al acularse el agua provocaba filtraciones a casas vecinas se observa la apertura de la puerta que conectaba con el arroyo detrás de las viviendas.(Foto proporcionada por habitante de la localidad)*

En la localidad de Zothé presenta un nivel de riesgo medio en la periferia de Arroyo Hondo, el cual se encuentra alejado de la población (**Fotografía IV.3.10 y IV.3.11**). Sin embargo, los habitantes informaron que el puente que conecta la localidad con la carretera federal Huichapan-San Juan del Río, sufrió daños durante la precipitación extrema de 2017.

Fotografía IV.3.10 *Localidad de Zothé se observa el arroyo de nombre Arroyo Hondo, se señala el puente con flecha amarilla.*

Fotografía IV.3.11 *En la localidad existen viviendas construidas al paso de escurrimientos que conducen al Arroyo Hondo, que de acuerdo a los habitantes provocan daños a las viviendas en época de lluvias.*

En la localidad de Bondojito el nivel de riesgo varía de medio a bajo debido a que se han identificado tres bordos independientes en la zona; dos están ubicados en las proximidades a las viviendas. El primero de estos bordos, que se puede observar en la **fotografía IV.3.12** (sin resaltar), se alimenta principalmente a través del escurrimiento de la zona circundante.

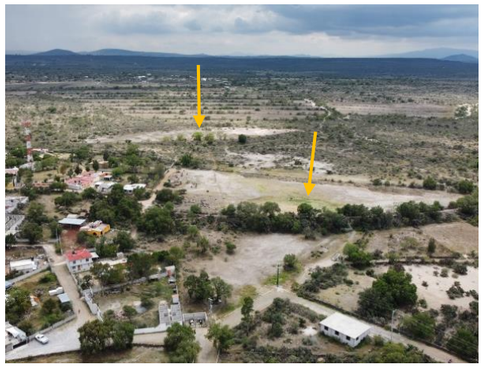
El segundo bordo de nombre Los Sauces se observa en las **fotografías IV.3.12** y **IV.3.13**, en la primera resaltado con recuadro amarillo. Este bordo está siendo alimentado por una corriente intermitente que, al cruzar la cortina del bordo, se convierte en el arroyo El Saucillo (**Fotografía IV.3.13**). El riesgo medio se concentra en este segundo bordo, ya que algunas viviendas han sido construidas sobre la superficie del bordo en ciertas áreas.

Fotografía IV.3.12 *Se aprecia el bordo que se localiza en las cercanías de la localidad Bondojito.*

Fotografía IV.3.13 *Acercamiento al rectángulo de la fotografía contigua, se muestra la construcción de viviendas a escasos metros del bordo Los Sauces en la localidad.*

En las localidades Ejido Huichapan, El Saucillo, La Cruz, Sabina Grande, Taguí, Xajay y Zothé, el riesgo principal está asociado al desborde de sus presas y bordos cercanos a las comunidades.

En las localidades de El Saucillo, Sabina Grande y Xajay se cuenta con un sistema de desfogue de los bordos y el riesgo se clasifica como bajo. En El Saucillo es necesario llevar a cabo desazolves periódicos del canal que capta el agua proveniente del bordo y aguas pluviales para evitar problemas mayores (**Fotografías IV.3.14, IV.3.15** y **IV.3.16**).



Fotografía IV.3.14 *Localidad El Saucillo, se observan dos bordos.*

Fotografía IV.3.15 *Localidad Sabina Grande el bordo que se observan algunas viviendas tipo III cercanas al bordo.*

Fotografía IV.3.16 *Se observan los tres bordos, dos se localizan en la localidad de Xajay, existen viviendas cercanas al vaso de almacenamiento la mayoría de viviendas son de tipo III., se cuenta con la infraestructura necesaria para desfogar en zonas que no afecten a la población.*

En las otras localidades con riesgo de desborde, los niveles de riesgo varían de bajo a medio. En el caso de Ejido Huichapan, se han construido viviendas en las proximidades del bordo, sin embargo, en la zona construida no existe una estructura que contenga el agua en dirección a las viviendas, sólo está cercada

(**Fotografía IV.3.17**). El personal de Protección Civil de Huichapan señala que, en 2017, el agua alcanzó una altura de 50 centímetros en la zona de las viviendas, lo que evidencia el riesgo existente en esta área (**Fotografía IV.3.18**).

Fotografía IV.3.17 *Localidad Ejido Huichapan, bordo con cercanía a viviendas a escasos 20 metros del límite del bordo.*

Fotografía IV.3.18 *Localidad de Ejido Huichapan, viviendas tipo II cercadas al bordo de la fotografía anterior.*

En cuanto a Taguí y La Cruz, el riesgo radica en que existen viviendas construidas y habitadas a menos de 10 metros del cuerpo de agua, lo que aumenta la posibilidad de inundaciones en caso de eventos extremos (**Fotografía IV.3.19** y **IV.3.20**).

Fotografía IV.3.19 *Localidad de Taguí se aprecia que hay viviendas cercanas al vaso de almacenamiento.*

Fotografía IV.3.20 *Localidad La Cruz se observa que existen viviendas cercanas a la vaso de almacenamiento y cortina sin embargo pasando la cortina existe un desnivel de cuatro a seis metros.*

En la localidad de Llano Largo, la falta de cunetas ha generado problemas con el flujo de agua, afectando la movilidad peatonal en las calles. A pesar de esta situación, Llano Largo presenta un riesgo bajo en las zonas de escurrimiento y un nivel medio en la zona del arroyo que cruza la localidad, debido a la construcción de una vivienda tipo I en proximidad a la llanura de inundación del río (**Fotografía IV.3.21**).

Las localidades de Dothí, Jonacapa, Maney y Mamithí el riesgo se presenta en las zonas de escurrimiento que se dirigen hacia los cuerpos de agua presentes en las cercanías de cada una de estas localidades.

En el caso de Dothí, el riesgo se clasifica bajo, sin embargo, existe la presencia de escurrimientos en la calle principal que conduce al arroyo. (**Fotografía IV.3.22**).

Fotografía IV.3.21 *Localidad de Llano Largo se observa la pendiente que existe en la localidad que forma parte de la zona de escurrimiento que se dirige al arroyo.*

Fotografía IV.3.22 *En la localidad Dothí se observa la localidad aguas arriba del arroyo cercano, se identifica con flecha azul el posible escurrimiento que se generaría en la calle principal.*

En el caso de Jonacapa, el nivel de riesgo varía de medio a bajo debido a el bordo que se ubica aguas arriba de la población, de acuerdo a los habitantes de la localidad no ha sobrepasado el nivel máximo de agua, sin embargo, durante precipitaciones extremas el flujo de agua que llega al escurridero del bordo puede desbordarse en ciertos puntos, lo que genera inundaciones en áreas cercanas a viviendas y puede provocar inundaciones en ciertas áreas (**Fotografía IV.3.23**).

Fotografía IV.3.23 *Localidad Jonacapa, se observa estructura del bordo que se ubica aguas arriba de la localidad, la flecha azul indica el sentido del flujo de agua que capta un escurridero, y la zona afectada al desbordarse en esa zona.*

En el caso de la localidad de Maney el riesgo que se presenta es de bajo a medio, el bordo se encuentra al sureste de la comunidad y aunque existe un riesgo aguas abajo en caso de un desborde, los habitantes señalan que su principal problema está relacionado con el escurrimiento que llega al vaso de almacenamiento del bordo (**Fotografía IV.3.24**). Esto se debe a que las calles de Maney carecen de cunetas para conducir adecuadamente ese escurrimiento, lo que resulta en la entrada de agua en las viviendas (**Fotografía IV.3.25**).

Fotografía IV.3.24 *Localidad Maney Se indica con la flecha azul la calle afectada por el flujo del agua que se dirige al bordo*

Fotografía IV.3.25 *Localidad Maney Afectación a vivienda en la calle marcada con flecha azul en la fotografía anterior.(Fotografía proporcionada por habitante de la localidad).*

La localidad de Mamithí se sitúa al norte de la cabecera municipal. La presa Mamithí se localiza en la porción nororiente de la localidad, las viviendas más próximas se localizan a una distancia de 50 metros de la corona de la presa. A pesar de esta distancia, no se descarta la posibilidad de un riesgo mínimo asociado al escurrimiento que se dirige hacia el cuerpo de agua (**Fotografía IV.3.26**).

Fotografía IV.3.26 *Vista panorámica de la Presa Mamithí.*

Las localidades afectadas por escurrimiento y/o desborde, como El Apartadero, El Carmen y Santa Bárbara, presentan niveles de riesgo que varían de bajo a medio, a excepción de El Apartadero, que tiene un riesgo medio.

El Apartadero se ubica en una zona elevada al noreste del municipio. La zona de escurrimiento ha sido obstruida por la construcción de viviendas, lo que provoca inundaciones cuando se producen precipitaciones intensas. Algunos de los habitantes han optado por construir bardas para desviar este flujo de agua, pero existen residentes que carecen de los recursos necesarios para llevar a cabo estas medidas de protección. (**Fotografía IV.3.27**).

Fotografía IV.3.27 *Localidad El Apartadero, se señalan las direcciones de flujo de los escurrideros en la localidad.*

En la localidad de El Carmen, en el año de 2017 en la calle Bugambilias (**Fotografía IV.3.28**) tuvo afectaciones derivado a un desbordamiento de un canal de riego generando un flujo de agua que arrastró material, causando daños significativos a la misma se puede observar en la **fotografía IV.3.29**. Se construyó una cuneta para canalizar el flujo en caso de una eventualidad, sin embargo, se observó que la obra no está concluida.

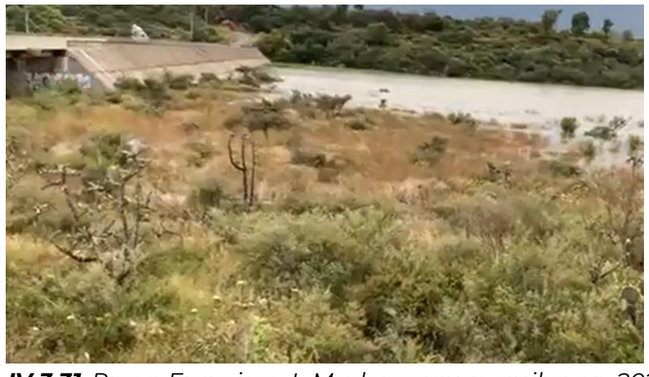
Fotografía IV.3.28 *El Carmen, calle Bugambilias en época de estiaje.*

Fotografía IV.3.29 *El Carmen, calle Bugambilias (fotografía recuperada de El Bocón, 2017).*

En la localidad de Santa Bárbara, algunas viviendas están ubicadas en la trayectoria de escurrimiento que es generado por la obstrucción que provoca la carretera que se encuentra aguas arriba. Los habitantes informan que tienen daños a las propiedades y áreas circundantes por la gran cantidad de material de arrastre que llevan los escurrideros, cuyo tirante de agua alcanzan aproximadamente 30 centímetros **(Fotografía IV.3.30**).

Fotografía IV.3.30 Localidad Santa Bárbara, se muestra la dirección de flujo de los escurrimientos.

En el año 2021 se desbordó la Presa Fco. I. Madero (**FotografíaIV.3.31 y FotografíaIV.3.32**) producto de las constantes precipitaciones, lo que provocó el aumento del caudal en el arroyo que alimenta al afluente que atraviesa la localidad de Zothé. Esto generó los efectos previamente mencionados en esa localidad.

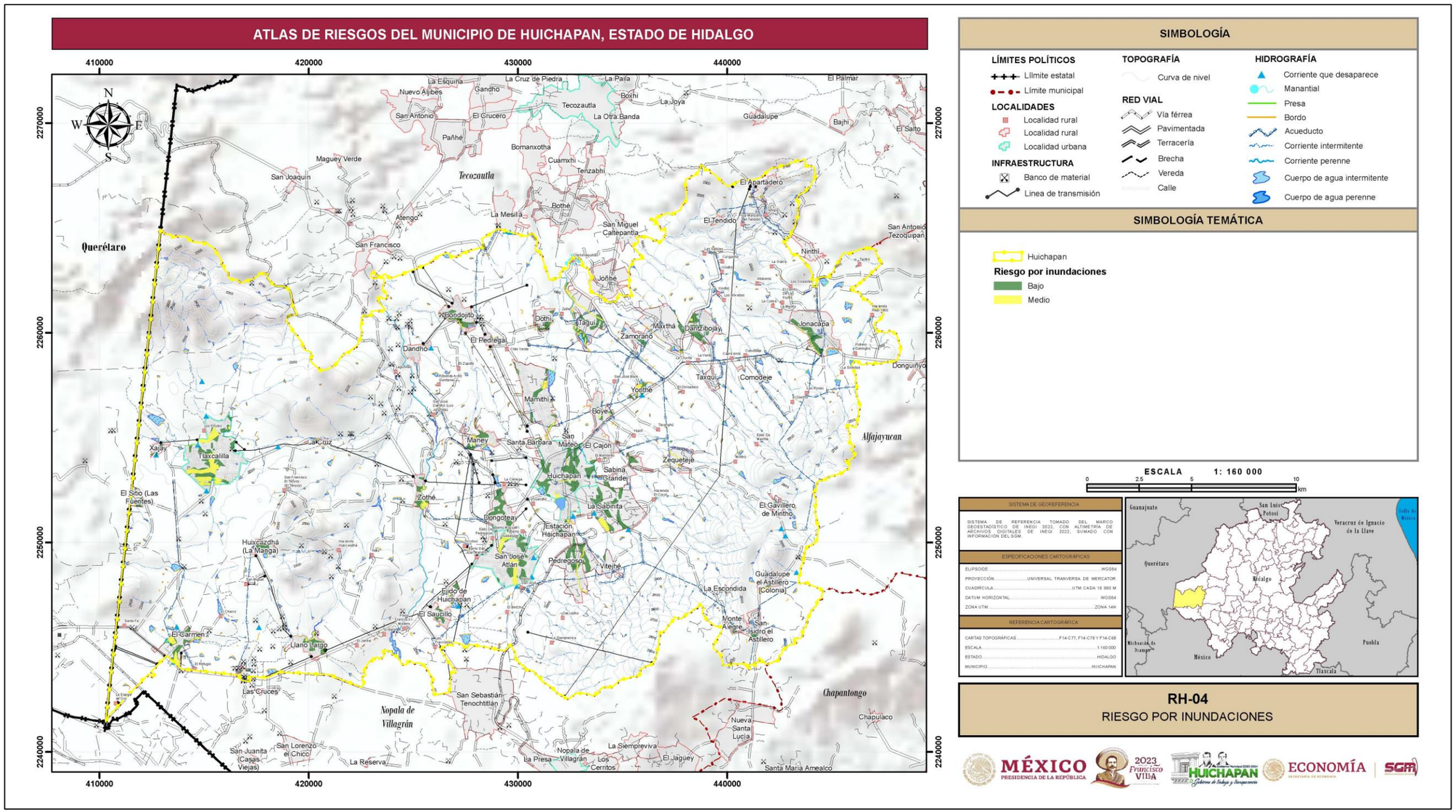


Fotografía IV.3.31 *Presa Francisco I. Madero aguas arriba en 2021 fotografía recuperada de (Hidalgo Online, 2021).*

Fotografía IV.3.32 *Presa Francisco I Madero aguas arriba en época de estiaje.*

Conclusiones

El riesgo de inundaciones en el municipio se clasificó de bajo a medio. Las localidades el nivel más alto de riesgo se debe principalmente a las afectaciones por avenidas en zonas de escurrimiento, que son resultado de la proximidad de cuerpos de captación de agua, como bordos, presas y arroyos, así como por la ausencia de estructuras de captación de aguas pluviales. Sin embargo, es importante destacar que aproximadamente el 80% de las viviendas ubicadas en las zonas de riesgo son de tipo III, lo que indica una vulnerabilidad baja. Por lo tanto, el riesgo máximo alcanzado en la zona se mantiene en un nivel medio.



SIMBOLOGÍA

LÍMITES POLÍTICOS
- Límite estatal
- Límite municipal

LOCALIDADES
- Localidad rural
- Localidad rural
- Localidad urbana

INFRAESTRUCTURA
- Banco de material
- Linea de transmisión

TOPOGRAFÍA
- Curva de nivel

RED VIAL
- Vía férrea
- Pavimentada
- Terracería
- Brecha
- Vereda
- Calle

HIDROGRAFÍA
- Corriente que desaparece
- Manantial
- Presa
- Bordo
- Acueducto
- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Huichapan

Riesgo por inundaciones
- Bajo
- Medio

ESCALA 1: 160 000

0 2.5 5 10 km

SISTEMA DE GEOREFERENCIA

SISTEMA DE REFERENCIA TOMADO DEL MARCO GEOESTADÍSTICO DE INEGI 2022, CON ALTIMETRÍA DE ARCHIVOS DIGITALES DE INEGI 2022, SUMADO CON INFORMACIÓN DEL SGM.

ESPECIFICACIONES CARTOGRÁFICAS

ELIPSOIDE	WGS84
PROYECCIÓN	UNIVERSAL TRANVERSA DE MERCATOR
CUADRÍCULA	UTM CADA 10 000 M
DATUM HORIZONTAL	WGS84
ZONA UTM	ZONA 14N

REFERENCIA CARTOGRÁFICA

CARTAS TOPOGRÁFICAS	F14-C77, F14-C78 Y F14-C68
ESCALA	1:160 000
ESTADO	HIDALGO
MUNICIPIO	HUICHAPAN

RH-04
RIESGO POR INUNDACIONES

Figura IV.3.1.4 *Zonas de riesgo por inundación en el municipio de Huichapan.*
Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

FASE V. PROPUESTA DE ESTUDIOS, OBRAS Y ACCIONES

V.1 FENÓMENOS GEOLÓGICOS

V.1.1 Procesos de remoción en masa

Medidas no estructurales

Buscar reducir la vulnerabilidad del sistema expuesto a través de medidas legislativas u organizativas que solas o en combinación con las medidas estructurales permiten mitigar el riesgo de una manera efectiva e integral.

Legislativas se relaciona con la legislación y planificación que inciden sobre las causas de fondo, las presiones dinámicas y las condiciones de seguridad de los elementos expuestos. Por ejemplo: elaboración e implementación de políticas, los planes o esquemas de ordenamiento territorial, planes de desarrollo, códigos de construcción, estímulos fiscales y financieros, promoción de seguros; estas actividades competen a los planificadores y requieren de voluntad política.

Organizativas son las que promueven la interacción directa con la comunidad. Se refieren a la organización para la reducción del riesgo y la atención de emergencias, el fortalecimiento institucional, la educación, la información pública y la participación, competen a las autoridades ambientales y a la comunidad en general y requieren de su participación activa.

Medidas estructurales

Consiste en obras de ingeniería para la prevención y mitigación de riesgos ya existentes. La ejecución de estas obras, como cualquier obra de infraestructura puede generar un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo cual se deben tener en cuenta recomendaciones técnicas a fin de evitar, reducir, corregir o compensar tales impactos.

A continuación, se describen las diferentes opciones de medidas estructurales de mitigación para los procesos de remoción en masa que afectan al municipio de Huichapan y en especial a la localidad de Tlaxcalilla. Todas ellas son aplicables de acuerdo a las características de la calidad de roca, la pendiente, el grado de fracturamiento del macizo rocoso, el tipo de vegetación, el tipo de suelo, nivel freático y flujo de agua superficial.

Muros de contención de concreto. Estructura sólida hecha a base de concreto reforzado que está sujeta a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales. Es una estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa del terreno. Funciona como una estructura de contención. Su función es reducir el empuje horizontal del material suelto, corregir movimientos de pequeña magnitud, controlar movimientos en taludes empinados en la base, disminuir la extensión de la falla de grandes masas, soportar lateralmente los rellenos para bermas, controlar deslizamientos superficiales y limitar zonas de relleno. Entre los muros más usados son: el muro de concreto reforzado, el concreto simple y el concreto ciclópeo. (**Figura V.1.1.1**).

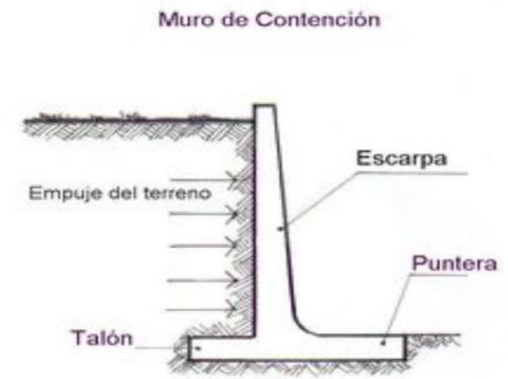


Figura V.1.1.1. *Muro de contención para estabilizar laderas o taludes.*
Fuente: *Manual de obras de mitigación. PNUD, 2013.*

Muro de gaviones. Estructura de gravedad que consiste en una caja de forma rectangular de malla hexagonal de triple torsión, elaborada con alambre galvanizado. Los gaviones se rellenan con roca de cantera o cualquier material similar que se pueda obtener del entorno próximo a la obra. Esta es una estructura de contención, la cual es utilizada para la estabilización de taludes, prevenir la erosión en las riberas de los ríos, sirve como muro de contención en vías donde el corte del terreno es inestable y presenta algunos niveles de agua de escorrentía, En difíciles condiciones de construcción, ya que el armado por módulos permite que se disponga el muro de diferentes formas, en la estabilización de terraplenes y en problemas de infiltración y/o suelos cohesivos. Existen diferentes tipos de gaviones, los cuales son: gaviones tipo caja, gaviones tipo recubrimiento y gaviones tipo saco. (**Figura V.1.1.2**).

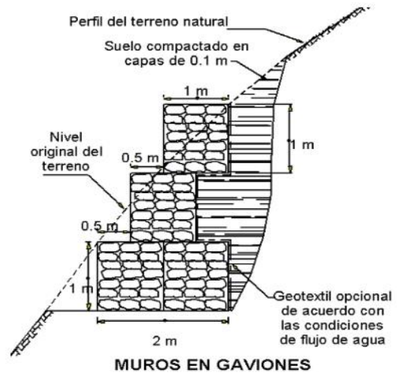


Figura V.1.1.2. *Muro de gaviones para estabilizar laderas o taludes.*
Fuente: *Manual de obras de mitigación. PNUD, 2013.*

Muros anclados. Es un tipo de muro de retención, debe estar anclado a la roca sana que está reteniendo. Es utilizado para la estabilización de cortes de taludes para la ampliación de vías, reparación de fallas de bordes de vías, excavaciones para sótanos de edificios en zonas urbanas, terraceo y nivelación de terrenos en la zona urbana con topografía irregular y en la rehabilitación de estribos de puentes. Una de las ventajas de este tipo de obra, es que resiste grandes presiones horizontales, grandes alturas de tierra y sobrecargas, sin incrementar significativamente el espesor de su sección. (**Figura V.1.1.3**).

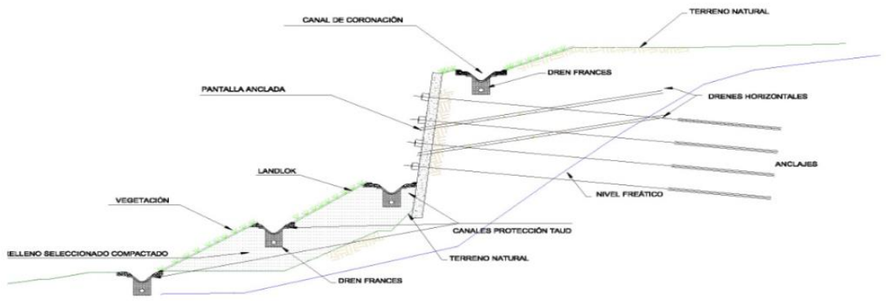


Figura V.1.1.3. *Muros anclados para estabilizar laderas o taludes.*
Fuente: *Manual de obras de mitigación. PNUD, 2013.*

Barreras dinámicas contra caída. Su objetivo es detener o desviar el material que desciende del talud en el momento que se desliza ladera abajo, eliminando y/o atenuando el impacto posible a la infraestructura en riesgo. Este tipo de obra, está diseñado para mitigar el material que se desprende ladera o talud arriba. Es empleado para la intercepción de la trayectoria de caída de rocas. Para la aplicación de esta obra, hay que tomar en cuenta, varios factores como: trayectoria de la roca, velocidad, energía de impacto, volumen total de acumulación. Estos elementos pueden ser analizados por medio de simulaciones por computadora. Existen diferentes tipos de escudos, tales como: barrera en roca, barrera de tierra armada, malla de geo textil, malla metálica, barrera con atenuador de neumáticos, protección contra flujos y avalanchas, barrera metálica con cables de acero y túneles de estructuras de concreto. (**Fotografía V.1.1.4**).

En la actualidad existe una gran variedad de estructuras de mitigación, sin ningún límite en sus características y dimensiones. Estas pueden hacerse con un sinnúmero de materiales, pero deben estar ubicadas al pie del talud, impidiendo el paso del material caído. Hoy en día es normal la utilización de mallas y geo textiles para absorber la energía de impacto de los bloques; algunos materiales alternativos son las llantas de caucho inservibles, entre tejidos con alambre de alta resistencia.

Fotografía V.1.1.4. *Barrera contra caída, control de material suelto sobre una ladera o talud.*
Fuente: *Maccaferri protección contra caídos, 2021.*

Otra de las acciones para mitigar los procesos de remoción en masa, es proporcionar a las laderas y taludes en riesgo, un mantenimiento preventivo, antes de que pueda surgir un evento que dañe a los caminos y viviendas en general, y en el peor de los casos la pérdida de vidas humanas.

Como se pudo constatar en el análisis de los PRM y recorridos de campo, los caídos de bloque y rodamiento, son los eventos que afectan al municipio de Huichapan, siendo las localidades que requieren obras de mitigación: Presa Francisco I Madero, Tlaxcalilla, La Cruz, La Escondida, Zequetejé, San Isidro Astillero y El Apartadero; de

tal manera que se propones efectuar medidas de mitigación tales como: muros de contención de concreto, gaviones, muros anclados y barreras dinámicas contra caídos. (**Fotografías V.1.1.1a-g**).

Fotografías V.1.1.4a-g. *En las imágenes a-g son algunas de las localidades que requieren obras de mitigación antes citadas, estos con el fin de prevenir riesgo a la infraestructura y en el peor de los escenarios la afectación o pérdida de vidas humanas.*

Conclusión

Una vez que se conoce la problemática que se presenta con los procesos de remoción en masa (PRM), se analizan las alternativas de solución que se consideran viables para su ejecución con el fin de mitigar la amenaza a los PRM (caída de bloques, flujo de detritos y deslizamiento).

Por otro lado, dentro de las técnicas que tienen como objetivo incrementar las fuerzas resistentes, la construcción de cualquier obra de retención como muros de piedra, concreto, tierra armada, unidades prefabricadas, etc., no resultan funcionales, tanto por las características propias como por su alto costo. Sumado a lo anterior, existe el riesgo de un mal diseño o construcción, lo cual conduciría a un peligro mayor al que ahora existe. No hay que olvidar que la localidad de Tlaxcalilla está habitada por personas con escasos recursos económicos y que los fondos en el municipio son limitados para ejecutar obras de altos costos.

En el caso de que se efectué una obra de mitigación, es recomendable que lo realicé una empresa certificada en obras de mitigación, esto con el fin de tener una certeza de que los cálculos de construcción estarán bien ejecutados.

V.2 FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

V.2.1 Inundaciones

Las inundaciones en el municipio de Huichapan son poco frecuentes en los bordos, presas y arroyos, sin embargo, son más frecuentes las afectaciones en las zonas de escurrimiento causados por las avenidas que se dirigen a estos cuerpos de captación.

En las prospecciones realizadas en las localidades afectadas por inundaciones de origen pluvial (avenidas en zonas de escurrimiento), se identificaron factores comunes que causan el incorrecto desagüe en las localidades:

- Falta de cunetas.
- Falta de mantenimiento (limpieza para libre tránsito de las aguas) a cunetas.
- Falta de mantenimiento (limpieza para libre tránsito de las aguas) a los arroyos cercanos.

En la **Tabla. V.2.1** se muestran las necesidades de cada localidad para disminuir y/o mitigar inundaciones de origen pluvial.

Tabla. V.2.1 *Recomendaciones para la prevención de inundaciones por origen pluvial en las localidades afectadas.*

RECOMENDACIONES	LOCALIDADES
Construcción de cunetas. La falta de un sistema de captación de lluvia pluvial, provoca la inundación. Se recomienda construir cunetas en la totalidad de las localidades. Y en caso de ampliar la localidad y construcción de nuevas viviendas, se amplíe el sistema de captación de aguas pluviales. Mantenimiento a las cunetas. Se necesitan mantener limpias las cunetas para que su función se realice correctamente y no interfiera con libre flujo.	***El Apartadero, El Carmen, Huichapan, San José Atlán, Santa Bárbara, Tlaxcalilla Bondojito, Dothi Maney, Mamithí, Jonacapa, Llano Largo.***
Limpiar y mantener arroyos sin escombros con la finalidad de libre tránsito del agua para evitar obstrucciones o disminuya la capacidad de caudal.	***El Saucillo, San José Atlán, Pedregoso, Bondojito, Zothé***
Construir cunetas en la carretera que desvié las aguas hacia un arroyo cercano.	***Santa Bárbara.***
Considerar el mapa de riesgo para planeación urbana.	***Todas las localidades***
Fuente: Elaboración propia con datos de campo.	

En las localidades de **Ejido Huichapan, La Cruz, Sabina Grande, Taguí, Xajay, Presa Madero,** (desbordamiento de bordos y presas), se recomienda lo siguiente:

- Evitar filtraciones en las cortinas de las presas y bordos
- Desazolve los canales de desfogue y obras de excedencias
- No tirar basura o escombros en los cuerpos de agua, en caso de inundación implementar campañas de limpieza en las calles y casas afectadas.
- Instalar indicadores de nivel para que los pobladores conozcan el nivel de caudal
- En la presa Javier Rojo Gómez (Metethé) en la localidad de Huichapan, monitorear y reparar la existencia de filtraciones en la cortina y dejar libre de construcciones la llanura de inundación de la presa. Se recomienda hacer un estudio más a detalle si se planea construir cerca de la zona.

Los habitantes ubicados en los márgenes de los cuerpos de agua deberán estar atentos de las alertas o comunicados de las autoridades y tengan previsto plan de evacuación para evitar graves daños.

Bibliografía

Antecedentes

Agricultura Hidalgo (6 de marzo del 2013). Municipios afectados por las heladas. Recuperado de: https://www.gob.mx/agricultura%7Chidalgo/es/articulos/municipios-afectados-por-las-heladas

Aranda, N. (2021). Aumentan lluvias capacidad de presa en Huichapan; piden alejarse. Periódico Criterio. Recuperado de: https://criteriohidalgo.com/regiones/aumentan-lluvias-capacidad-presa-huichapan-piden-alejarse

Bocón (2017). Afectan lluvias a comunidades de Tlaxcalilla y El Carmen en Huichapan. Red Social. Recuperado de: https://web.facebook.com/palabradelbocon/posts/483627118649808/

CENAPRED (2021). Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/44.pdf

DOF (14 de septiembre 2007). Declaratoria de desastre natural por la ocurrencia y efectos del ciclón tropical Dean, el día 22 de agosto de 2007, en 60 municipios del estado de hidalgo. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5000751&fecha=14/09/2007

DOF (26 de noviembre 2007). Declaratoria de Emergencia por la presencia de heladas atípicas, ocurridas del 23 de octubre al 5 de noviembre de 2007, en 30 municipios del Estado de Hidalgo. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5007718&fecha=26/11/2007#gsc.tab=0%20DOF%20heladas26/11/2007%20DOF

DOF (14 de julio 2011). Declaratoria de desastre natural por la ocurrencia de lluvia severa del 29 de junio al 1 de julio de 2011, en 54 municipios del estado de Hidalgo. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5200828&fecha=14/07/2011

DOF (8 de noviembre 2016) Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_to_doc.php%3Fcodnota%3D5466288

Hidalgo On Line (2021). Desborde De Presa En Huichapan Hidalgo "Francisco I. Madero. Portal Youtube. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=TcMh-0nTGHo&ab_channel=HIDALGOONLINE

La Silla Rota Hidalgo (2019). Rescata Protección Civil de Huichapan a familia tras inundación. Periódico La Silla Rota Hidalgo. Recuperado de: https://lasillarota.com/hidalgo/estado/2019/8/6/video-rescata-proteccion-civil-de-huichapan-familia-tras-inundacion-194405.html

La Silla Rota Hidalgo (2021). Lluvia convierte en ríos las calles de Huichapan; daña viviendas. Periódico La Silla Rota Hidalgo. Recuperado de: https://lasillarota.com/hidalgo/estado/2021/7/7/lluvia-convierte-en-rios-las-calles-de-huichapan-dana-viviendas-puentes-287305.html

La Silla Rota (2022). Aguacero inunda feria de Huichapan. Periódico La Silla Rota Hidalgo. Recuperado de: https://lasillarota.com/hidalgo/estado/2022/4/22/video-aguacero-inunda-feria-de-huichapan-366964.html

Milenio (6 de abril de 2023). Seis municipios de Hidalgo con sequía extrema. Periódico Milenio. Recuperado de: https://www.milenio.com/politica/comunidad/seis-municipios-de-hidalgo-con-sequia-extrema

Pérez, L. (10 de abril de 2023). Aguas con ola de calor. Periódico El sol de Hidalgo. Recuperado de: https://www.elsoldehidalgo.com.mx/local/aguas-con-la-ola-de-calor-5085765.html

SEDATU (2016). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catalogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135433/TR_AR_231016_Pu_blico.pdf

Información vectorial para la generación de mapas base

INEGI (2021). F14C78 Conjunto de satos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000 Huichapan. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463854913

INEGI (2021b). F14C68 Conjunto de satos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000 Tecozautla. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463819783

INEGI (2019). F17C77 Conjunto de satos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000 San Juan del Río. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463830542

INEGI (2022). Marco Geoestadístico Nacional. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541

Fisiografía y geomorfología
Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de la sociedad geológica mexicana, 85.

INEGI. (1992). Síntesis geográfica del estado de Hidalgo, Aguascalientes, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=1viMDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Información vectorial para la generación de mapas

INEGI (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575

INEGI (2001b). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Subprovincias fisiográficas Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599

INEGI (2001c). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Sistema topoformas Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267582

Edafología
INEGI. (2002). Síntesis de Información geográfica del estado de San Luis Potosí, Aguascalientes, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_11.pdf

IUSS. (2014). Base referencial mundial del recurso suelo 2015, Roma, FAO. Recuperado de: https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/base-referencial-mundial/es/

Información vectorial para la generación de mapas

CONABIO (2008). Edafología Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/edafo/tsuelo/eda251mgw

Marco geológico
Aguirre, G. J., et al. (2005). The Donguinyó-Huichapan caldera dúplex. Two superimposed contrasting calderas of the Mexican Volcanic Belt. European Geosciences Union, 2005. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 08991, 2005.

Raisz E. (1964). Landforms of México. Geography branch of the office of Naval Research, Cambridge, Mass.

SGM (1997). Informe de la carta geológico-minera Pachuca, clave F14-11, escala 1: 250 000.

SGM (2002). Informe de la carta geológico-minera Tecozautla, clave F14-C68, escala 1: 50 000.

SGM (2008). Informe de la carta geológico-minera Huichapan, clave F14-C78, escala 1: 50 000.

SGM (2009). Informe de la carta geológico-minera San Juan del Río, clave F14-C77, escala 1: 50 000.

Verma, P. et al. (2001). Geochimical and Sr-Nd-Pb isotopic evidence for a combined assimilation and fractional crystallization process for volcanic rocks from the Huichapan caldera, Hidalgo, México. ELSERVIER, p. 141-164.

Hidrografía y cuencas
DOF. (2015). Resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Huichapan-Tecozautla, clave 1307, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Golfo Norte, Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5413891&fecha=02/11/2015#gsc.tab=0

DOF. (2016). Resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero El Astillero, clave 1308, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5446382&fecha=01/08/2016#gsc.tab=0

INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Huichapan, Hidalgo. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13029.pdf

Información vectorial para la generación de mapas

CONAGUA (2021). Acuíferos (Nacional). Recuperado de: http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos

CONABIO (2009). Regiones Hidrológicas, escala 1:250000, Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. República Mexicana. Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rh250kgw

CONABIO (2009b). Subregiones Hidrológicas, escala 1:250000, Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. República Mexicana. República Mexicana. Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/sbrh250kgw

INEGI (2010). Red hidrográfica edición 2.0. Cuenca R. Moctezuma. Región H. Pánuco. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006929

INEGI (2023). Cuencas, Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL). Recuperado de: http://antares.inegi.org.mx:80/geoserver/AnalisisEspacial/ows?service=WFS&version=1.0.0&request=GetFeature&typeName=AnalisisEspacial:Cuencas&outputFormat=shape-zip&bbox=-100.65987249871509,19.99277991701026,-98.55049749870946,20.763890258049248

INEGI (2023b). Subcuencas, Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL). Recuperado de: http://antares.inegi.org.mx:80/geoserver/AnalisisEspacial/ows?service=WFS&version=1.0.0&request=GetFeature&typeName=AnalisisEspacial:Subcuenca&outputFormat=shape-zip&bbox=-100.65987249871509,20.030200855344663,-98.55049749870946,20.726646923178162

Clima
Información vectorial para la generación de mapas

CONABIO (2008b). Climas, Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw

INEGI (2004). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Evapotranspiración. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267520

INEGI (2006). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267544

INEGI (2007). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267551

Uso de suelo y vegetación

INEGI. (2017). Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación escala 1:25 000. Serie VI. INEGI Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

Información vectorial para la generación de mapas

INEGI (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781

RAE (2022). Diccionario de la Lengua Española “Vegetación”. Recuperado de: https://dle.rae.es/vegetaci%C3%B3n

Áreas naturales protegidas
Información vectorial para la generación de mapas

CONABIO (2015). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México 2015. Recuperado de: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpest20gw.html

Caracterización de elementos Sociales

CONAPO (2019). Proyecciones de la población de los municipios de México, 2015-2030 (base 1). Recuperado de: https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/0e21e97e-1faf-4045-8dc2-06691e0379a8

CONAPO (2020). Índice de marginación por municipio. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Marginacion/Datos_Abiertos/Municipio/IMM_2020.xls

CONAPO (2020a). Índice de marginación por localidad. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Marginacion/Datos_Abiertos/Localidad/IML_2020.zip

CONAPO (2020b). Índice de marginación urbana. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Marginacion/Datos_Abiertos/IMU_2020.zip

CONEVAL (2020). Consulta interactiva de la medición de pobreza municipal. Recuperado de: https://municipal-coneval.hub.arcgis.com/

H. Ayuntamiento de Huichapan (s. f.) Plan de Municipal de Desarrollo Huichapan 2020-2024. Recuperado de: https://drive.google.com/u/0/uc?id=1GAPpqv3Jta45EV80Z7b-tn8Y0VPWr-zs&export=download

INEGI (1990). XI Censo General de Población y Vivienda. Características económicas. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/1990/tabulados/CPyV90_Hgo_Caracteristicas_economicas.xlsx

INEGI (1995-2020) México en cifras. Natalidad y Mortalidad. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#tabMCcollapse-Indicadores

INEGI (2000). XII Censo General de Población y Vivienda. Características económicas. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2000/tabulados/CPyV2000_Hgo_Caracteristicas_economicas.xlsx

INEGI (2005). II Conteo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2005/microdatos/iter/13_hidalgo_2005_iter_xls.zip

INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/microdatos/iter/13_hidalgo_2010_iter_xls.zip

INEGI (2010a). Censo General de Población y Vivienda. Características económicas. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/tabulados/ampliado/08_01A_MUNICIPAL_13.xls

INEGI (2015). Panorama Sociodemográfico de Hidalgo. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825082222

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/iter/iter_13_2020_xlsx.zip

INEGI (2020a). Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/ageb_manzana/RESAGEBURB_13_2020_xlsx.zip

INEGI (2020b). Censo de Población y Vivienda. Características económicas Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/tabulados/ampliado/cpv2020_a_hgo_08_caracteristicas_economicas.xlsx

INEGI (2020c). México en cifras. Población Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Indicadores

Quaas W. Roberto (2021) Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social, CENAPRED. p. 5 Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf

SEP Hidalgo (2022). Publicación Estadística Educativa, Inicio de Cursos 2022-2023 Recuperado de: http://sep.hidalgo.gob.mx/content/estadistica_basica/Estadistica%20Educativa%20Inicio%20de%20Cursos%202022-2023%20Hidalgo.pdf

Valdés Luz María (2000) Población reto del tercer milenio curso interactivo introductorio a la demografía. UNAM

Vulcanismo

Aguirre D. G. y López M. M. (2008) Geologic evolution of the Donguinyó- Huichapan caldera complex, central Mexican Volcanic Belt, Mexico. Journal of Volcanology and Geothermal Research.

Arce J.L., Rangel E., Valdez-Moreno G., Saucedo R., Castro-Govea R. y Macías J. L. (2021) Caracterización geoquímica, petrográfica y evolución magmática del Campo Volcánico de Los Azufres, Michoacán, durante el Pleistoceno. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.

CENAPRED (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Peligros Geológicos, Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado de: http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/55.pdf

INPRES (2021). *Volcanes*. Recuperado de: http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/VOLCANES.pdf

Salinas Sánchez S. (2013). Geología, petrología y geoquímica del Volcán Jocotitlán, Estado de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Recuperado de: http://132.248.9.195/ptd2013/diciembre/0706620/0706620.pdf

SGM (2008). Carta Geológico-Minera y Geoquímica Huichapan F14-C78 escala 1:50 000.

Verma S.P., Navarro I. y García C. L. (1992). Major-element geochemistry and mineralogy of the Huichapan Caldera, Hidalgo, México. Journal of South American Earth Sciences.

Sismicidad

CENAPRED (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Peligros Geológicos, Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado de: http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf

CENAPRED (2011). Serie Fascículos, Sismos. Recuperado de: http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF

CFE (1993). Manual de diseño de obras civiles. Sección C, Tomo I, Tema1, Capítulo 3. Diseño por sismo.

Espíndola, J. M. y Jiménez, Z. (1990). Terremotos y Ondas Sísmicas. Una breve introducción. 53 págs. Instituto de Geofísica, México.

OVSICORI (2021). Hipocentro y epicentro. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica - Universidad Nacional. Recuperado de: http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/faqs/sismologia/hipocentro-y-epicentro

PSM (1996). Mapas de peligro sísmico en México, programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F.

SGM (2017). Sismología de México. Recuperado de: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html

SSN (2021). Magnitud de un sismo. Recuperado de: http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf

SSN (2021b). Instituto de Ingeniería, UNAM. Mapas de intensidades. Recuperado de: http://www2.ssn.unam.mx:8080/mapas-de-intensidades/

SSN (2023). Instituto de Geofísica, UNAM. Catálogo de sismos. Recuperado de: http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/

UniversObservado (2012). Terremotos: Escalas de intensidad y magnitud. Recuperado de: http://universobservado.blogspot.com/2012/06/terremotos-escalas-de-intensidad-y.html

Tsunamis

CENAPRED (2011). Tsunamis. Serie Fascículos Tsunamis. Febrero del 2016, de Centro Nacional de Prevención de Desastres Sitio web: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/6-FASCCULOTSUNAMIS.PDF

Datosmundial (2021) https://www.datosmundial.com/america/mexico/tsunamis.php

Sky Alert Blog (2021) http://skyalertblog.blogspot.mx/2013/09/tsunamis-en-mexico.html?view=timeslide

Núñez, F., Ortiz, M, & Sánchez, J. (2008). The great 1787 Mexican tsunami. Natural Hazards, 47, pp. 569-579

Procesos de Remoción en Masa (PRM)

Alcántara-Ayala, I. (2000). *Landslides*: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificación y terminología. Boletín del Instituto de Geología, UNAM. Número 41.

CENAPRED (Centro Nacional de Protección de Desastres), 2006. Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Geológicos. Serie Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/55.pdf

González, L., Ferrer, M., Ortuño, L y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid, España: Pearson educación.

Guimares F, R; Montgomery R, D; Greeberg M, H; Fernandes F, N; Gomes T, R, A; Calvillo Júnior O, A. (2003). *"Parameterization of soil properties for a model of topographic control son shallow landsliding: application to Rio de Janeiro", Engineering Geology,* 69, 1-2, pp. 98-108.

INEGI. (2021). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM). Inegi.org.mx. Recuperado de:

https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/

Hungr, O, and Jakob, M. (2005). Dbris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer-Berlin Heidelberg. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=w4_QA22J4FoC&pg=PA1&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false

Malet J, P; Auzet A, V; Maquiare O; Ambroise B; Descroix L; Esteves M; Vandervaere J, P and Truchet E. (2003). *"Soil Surface characteristic influence on infiltration in black marls: application to the super-sauze earthflow (southern Alps, France)", Earth Surface Processes and Landforms 28,* 5, pp. 547.564.

Pachauri, A. K., Gupta, P. V., Chander, R, 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. Environmental Geology, 36(3-4), 325-334.

Saaty, T.L. (1990). European Journal of Operational Research. Int. J. Services Sciences, Vol. 48, No. 1. Pag. 9-26. How to make a decision : The analytic hierarchy process. Recuperado de: https://scholar.google.com.mx/scholar?q=How+to+make+a+decision:+The+analytic+hierarchy+process&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

SGM (2002). Informe de la carta geológico-minera Tecozautla, clave F14-C68, escala 1: 50 000.

SGM (2008). Informe de la carta geológico-minera Huichapan, clave F14-C78, escala 1: 50 000.

SGM (2009). Informe de la carta geológico-minera San Juan del Río, clave F14-C77, escala 1: 50 000.

Skinner, B.J. and Porter, S.C. (1992). The Dynamic Earth: an introduction to physical geology. II edition, Jhon Wiley and Sons, Inc. New York. 570 p. Recuperado de: http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril2006/CD1/pdf/spa/doc15358/doc15358-a.pdf

Suárez-Díaz, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicaciones UIS. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf

Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslide: Analysis and Control (Eds: Schuter, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Reseach Board, National Academiy of Science, Washington D. C., 11-33. Recuperado de: http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification.htm

Zevenbergen, L. W., Thorne, C., 1987. Quantitative analysis of land Surface topography. Earth Surface Processes and Landforms, 12, 47-56.

Hundimientos – Subsidencia – Agrietamientos

CENAPRED (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México.* Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF

López Patricia (2021). *Amenaza global, la subsidencia de suelos.* Gaceta UNAM. Recuperado de: https://www.gaceta.unam.mx/wp-content/uploads/2021/01/210118.pdf

Tomás R., Herrera G., Delgado J. y Peña F. (2009). *Subsidencia del terreno.* Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/39078091.pdf

Erosión

SEMARNAT (2005). Informe sobre la Situación del Medio Ambiente en México.

Becerra, M.A. (1997). Erosión de suelos. México, D.F. Universidad Autónoma de Chapingo.

Lopez Sanchez MV (2010). Control de la erosión eólica en suelos agrícolas. Departamento de Suelo y Agua Consejo Superior de Investigaciones Científicas Zaragoza. Recuperado de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/39892/1/LopezMV_AspAgron-ContErosEol_2010.pdf

Montes-León, M.A.L., Uribe-Alcántara, E.M. & García-Celis, E. (2011). National Map of Potential Erosion. Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. II, No. 1, January-March, pp. 5-17.

Wischmeier, W.H. And Smith, D.D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, D.C.: U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 282.

Wischmeier, W.H. And Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, D.C.: U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537.

Ondas Cálidas y Gélidas

Agricultura Hidalgo (2013). Municipios afectados por las heladas. Representación de Agricultura Hidalgo. Recuperado de:https://www.gob.mx/agricultura%7Chidalgo/es/articulos/municipios-afectados-por-las-heladas heladas

ANR (2023). Sistema de información sobre riesgos CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html

CENAPRED (2016) Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos. Recuperado de http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos_2016.pdf

CENAPRED (2020). Onda de calor en México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cenapred/articulos/onda-de-calor-en-mexico

CONAGUA (2023). Información estadística climatológica. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

DOF (2007). Declaratoria de emergencia por la presencia de heladas atípicas. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5007718&fecha=26/11/2007#gsc.tab=0

Fries, et. al. (2011). Near surface humidity in a megadivers Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization, de la revista científica Agricultural and Forest Meteorology. Volumen 152. pp. 17-30. Recuperado de: https://www.academia.edu/27127396/Near_surface_air_humidity_in_a_megadivers e_Andean_mountain_ecosystem_of_southern_Ecuador_and_its_regionalization

GeoEnclicopedia (2021). Onda de calor. Causas de las ondas de calor. Recuperado de: https://www.geoenciclopedia.com/onda-de-calor/

Longar Blanco et al. (2017). Clima, temporada invernal e impactos en la agricultura. XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, pp. 9

Monrroy, G. (2023). Hasta 39 grados este miércoles en Hidalgo. Criterio Hidalgo. Recuperado de https://criteriohidalgo.com/noticias/hasta-39-grados-miercoles-hidalgo%20ola%20de%20calor

Olvera, C. (2023). Ola de calor 2023: Récord de muertes y casos por golpes de calor de los últimos 10 años en México. Revista Proceso. Recuperado de https://www.proceso.com.mx/nacional/2023/6/15/ola-de-calor-2023-record-de-muertes-casos-por-golpes-de-calor-de-los-ultimos-10-anos-en-mexico-308894.html

Pérez, L. (10 de abril de 2023). Aguas con ola de calor. El sol de Hidalgo. Recuperado de: https://www.elsoldehidalgo.com.mx/local/aguas-con-la-ola-de-calor-5085765.html

SMN (2023). Se pronostica el inicio de la segunda Onda de Calor en el occidente, centro y sureste de México, incluida la Península de Yucatán, Comunicados de prensa. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado0334-23.pdf

SMN (2023b). Hoy, y la siguiente semana, se establecerá la primera onda de calor en México Recuperado de https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado0248-23.pdf

SMN (2023c). Hoy la tercera onda de calor mantendrá temperaturas de 40 a 45 grados Celsius en 15 entidades de México Recuperado de https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado0412-23.pdf

Sequía

Castillo-Castillo, M, et al. (2017) Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México.
Revista Tecnología y Ciencias del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de https://www.redalyc.org/journal/3535/353549831003/

Castorena, G., Sánchez, M.E., Florescano, M.E., Padilla, R.G., y Rodríguez, U.L. (1980). Análisis histórico de las sequías en México. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 137 pp

CENAPRED (2002). Serie fascículos: Sequías. Recuperado de: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/372/1/images/fasciculo_sequias.pdf

CONAGUA (2019). CONAGUA informa sobre las condiciones de sequía en Hidalgo y realiza acciones de prevención en la materia. Comunicado de prensa No. 209-20. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Comunicado209-20.pdf

Crespo, Y. (2008). Comportamiento espacio-temporal de la sequía en el estado de Guanajuato. Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México.

Hernández, M. E. (2007). Sequía meteorológica. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/hernandez.html

INIFAP (2005). Caracterización y análisis de la sequía en el estado de Coahuila. Recuperado de: http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/223.pdf

MSM (2023). Monitor de Sequía México. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

Mosiño P. y García E. (1968). Evaluación de la Sequía Intraestival en la República Mexicana. Conferencia Regional Latinoamericana, Unión Geográfica Internacional, 3, pp. 500 – 516. Ciudad de México, 9 – 15 agosto. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S0187-62362008000300004000019&lng=pt&pid=S0187-62362008000300004

OMM (1992). La Conferencia Mundial sobre el Clima. En Boletín de la OMM, XXVIII. N° 3. Ginebra: Suiza

ONU (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. New York: EE.UU.

PC Veracruz de Ignacio de la Llave (2020). Temporada De “Estiaje” (Sequía Meteorológica. Secretaría de Protección Civil, Veracruz de Ignacio de la Llave). Recuperado de: http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/5/2020/01/2.-Recom_Temp_Estiaje_Pob..pdf

Romero, A. (2015). Campesinos-ganaderos frente a la sequía en el valle de Delicias-Meoqui, Chihuahua, de la Cuenca río Conchos: construcción social de la escasez de agua y estrategias de respuesta (1990-2012). Tesis doctoral, UNAM.

Sánchez-Santillán, et al (2018) Sequía intraestival en La Reserva de la Biosfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México. Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6301658

Sancho y Cervera, J., Z. F. Zavala, V. M. Sánchez y V. V. Martínez (1980). Monitoreo de sequías y heladas. México: Comisión del plan nacional hidráulico. Dirección de inventarios de agua y suelo. Proyecto IA 800/

SMN, CONAGUA (2023). Información de estaciones climatológicas periodo 1983 a 2017. Disponibles en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Vicente-Serrano, SM, et al. (2009) Crea una serie temporal del Índice Normalizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI). Manual. Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/10002/5/spei_manual_es.pdf.

Vicente-Serrano, SM, et al. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming. Recuperado de:https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals$002fclim$002f23$002f7$002f2009jcli2909.1.xml?t:ac=journals%24002fclim%24002f23%24002f7%2400 2f2009jcli2909.1.xm

Heladas

ANR (2023). Sistema de información sobre riesgos CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html

CENAPRED (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf

CENAPRED (2021). Heladas. Serie: Fascículos. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/122-FASCCULOHELADAS.PDF

CONAGUA (2023). Información estadística climatológica. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Fernández A.T. (2019). Fórmula para pronosticar heladas, Posgrado en Geografía UNAM Recuperado de: http://observatoriometeorologico.filos.unam.mx/files/2019/02/Tomas_Fernandez_FORMULA_PRONOSTICO_HELADAS2.pdf

Jiménez M., Matías L.G. y Eslava H. (2009) Mapas de riesgo a escala municipal por inundaciones y bajas temperaturas, CENAPRED.

Pereyra D.D., Beltrán C.S.J., Tiscareño L.M., Pérez S.J.A. (2009). Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con el Niño, Universidad Autónoma de Aguascalientes México. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/674/67412188003.pdf

Tormentas de granizo

ANR (2023). Sistema de información sobre riesgos CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html

CENAPRED (2001). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Recuperado de:

http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF

CENAPRED (2010). Tormentas Severas. Serie Fascículos. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

CENAPRED (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf

CONAGUA (2023). Información estadística climatológica. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Pierce R.D. (1970). Algunos aspectos de la formación del granizo. Louisiana Pplytechnic University. Recuperado de: https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Formaci%C3%B3n-granizo-ACOGE.pdf

Vidal R. (2007) Frecuencia de heladas, Carta NA-XVI-6, en sección Naturaleza, Nuevo Atlas Nacional de México. UNAM.

Tormentas de Nieve

ANR (2023). Sistema de información sobre riesgos CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html

CENAPRED (2010). Tormentas Severas. Serie Fascículos. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

CENAPRED (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf

OMM (1993). Vocabulario Meteorológico Internacional. Ginebra.

Ciclones Tropicales

CENAPRED (2021). Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastre Ocurridos en México 2010-2017. Recuperado de: http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex

CENAPRED (2021a). Atlas Nacional de Riesgos CENAPRED, Gobierno de México, portal en línea 2021. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/

CENAPRED (2016). Actualización de las probabilidades de ocurrencia de ciclones tropicales en México para el cálculo de marea de tormenta (para el periodo 1949-2014). Recuperado de: https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/32.pdf

CENAPRED (2017). *Busca Ciclones* Versión 3.0. Recuperado de: http://sina.conagua.gob.mx/shapesina2/Ciclones%20tropicales/Ciclones_tropicales_2016.zip

CENAPRED (2002). Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf

Precipitación y Lluvias extremas

ANR (2023). Base_historica_2000_2021, elaborado por la Subdirección de Estudios Económicos y Sociales de la Dirección de Análisis y Gestión de Riesgo. Recuperado de http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Base_historica_2000_2021.xlsx

CENAPRED (2010). Tormentas Severas. Serie Fascículos. Secretaria de Gobernación. 1era Edición. México, D.F. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

CENAPRED (2021a). Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastre Ocurridos en México 2010-2017. Recuperado de: http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex

CENAPRED (2021b). Serie Fascículos Inundaciones. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF

Climate Change (2007). Working Group I: The Physical Science Basis. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/

CONAGUA (2023). Información estadística climatológica. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

ETCCDI (2021). Climate Change Indices. Recuperado de: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

SENAMHI (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Nota técnica Perú. Recuperado de: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-6.pdf

Inundaciones

Bitrán (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999. Recuperado de: http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Junio2006/CD2/pdf/spa/doc13843/doc13843.htm

CENAPRED (2004). Serie fascículos: Inundaciones. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF

CENAPRED (2012). Inundaciones. Recuperado de: https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Folleto_de_Inundaciones.pdf

OMM/UNESCO (1974). “Glosario hidrológico internacional”. WMO/OMM/BMO, No. 385, Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Suiza.

Tellman (2020) Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. Revista Nature Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/344855420_Satellite_observations_indicate_increasing_proportion_of_population_exposed_to_floods

Portillo. J (2022). Debido a la lluvia y granizada de ayer por la noche, así fue como lucieron los pasillos de la Feria del Calvario. Red social. Recuperado de: https://web.facebook.com/watch/?v=1003272677240773

El Bocón (2017) Afectan lluvias a comunidades de Tlaxcalilla y El Carmen en Huichapan. Red Social. Recuperado de: https://web.facebook.com/palabradelbocon/posts/483627118649808/

Tornados

Avendaño (2006). El conocimiento y reconocimiento de la existencia de los tornados en México. Tesis de Licenciatura en Geografía. UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. Recuperado de: http://132.248.9.195/pd2006/0607347/0607347.pdf

Camacho, K. (2023). Tornados sorprenden a habitantes de Tlaxcalilla Hidalgo. Red social. Recuperado de: https://web.facebook.com/watch/?ref=embed_video&v=1398739330671450&_rdc=1&_rdr

CENAPRED (2010). Tormentas Severas. Serie Fascículos. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

CENAPRED (2019). Tornados, un fenómeno que debemos conocer para evitar daños. Recuperado de: https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/tornados-un-fenomeno-que-debemos-conocer?idiom=es

Grito Informativo. (29 de junio de 2017) Captan tornado desde la autopista arco norte, Recuperado de: https://www.facebook.com/watch/?v=1353648171356183

Hermida, C. H. (17 de junio de 2020). En México se registran hasta 50 tornados al año. Periódico Universo. Recuperado de: https://www.uv.mx/prensa/ciencia/en-mexico-se-registran-hasta-50-tornados-al-ano/

La Jornada. (6 de abril de 2021). Tornado en Apan arrasa con todo a su paso. Tornado en Apan arrasa con todo a su paso. Periódico La Jornada Hidalgo. Recuperado de: https://hidalgo.jornada.com.mx/hidalgo-tornado-apan/.

León-Cruz, J., Pineda-Martínez, L. y Carbajal, N. (2022). Tornado climatology and potentially severe convective environments in Mexico. Climate Research. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/358161591_Tornado_climatology_and_potentially_severe_convective_environments_in_Mexico

Milenio. (18 de agosto de 2014). Al menos 6 lesionados por tornado en Almoloya Hidalgo. Periódico Milenio. Recuperado de: https://www.milenio.com/estados/al-menos-6-lesionados-por-tornado-en-almoloya-hidalgo

Mota, L. D. (1 de agosto de 2007). Las víboras de agua nunca habían bajado. Periódico El Universal. Recuperado de: https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/65456.html

Noticieros Televisa. (14 de abril de 2015). Tornado causa destrozos en Acatlán, Hidalgo. Periódico Noticieros Televisa Recuperado de: https://noticieros.televisa.com/mexico-estados/tornado-causa-destrozos-comunidad-acatlan-hidalgo/

Salas, B. (10 de octubre de 2018). Tornado destruye la comunidad El Tigre en Hidalgo. Imagen Radio. Recuperado de: https://www.imagenradio.com.mx/tornado-destruye-la-comunidad-el-tigre-en-hidalgo

Sánchez, A. L. (29 de abril de 2021). Tornado y granizada azota comunidad de Ixmiquilpan. Periódico El Sol de Hidalgo. Recuperado de: https://www.elsoldehidalgo.com.mx/local/regional/tornado-y-granizada-azota-comunidad-de-ixmiquilpan-6659705.html

SEDATU (2016). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catalogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135433/TR_AR_231016_Pu_blico.pdf

SUN. (11 de septiembre de 2014). Se registra tornado en Hidalgo; no hay lesionados. Periódico Informador.mx. Recuperado de: https://www.informador.mx/Mexico/Se-registra-tornado-en-Hidalgo-no-hay-lesionados-20140911-0061.html

Trejo, E. (7 de mayo de 2023) Dos tornados sorprenden a habitantes de Tlaxcalilla, Hidalgo. Crónica regional. Recuperado de: https://www.cronicaregional.com.mx/estados/dos-tornados-sorprenden-a-habitantes-de-tlaxcalilla-hidalgo

TornadosMéxico (2023). Tornados México. Redes sociales. Recuperado de: https://twitter.com/TornadosMexico

Tormentas de polvo

Álvarez-Báez, C.A. (2017). Vientos de Santa Ana y tormentas de polvo en el noroeste de México. Tesis de posgrado del IPISYT. Recuperado de: https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/3094

Álvarez-Báez, C.A. (2019). Efectos de tormentas de polvo en zonas urbanas generadas por vientos de Santa Ana. Revista Digital Ciencia Auaqro. Recuperado de: https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/21/27

Arenas, I.E. (2021), Fuertes tolvaneras provocan una calidad del aire extremadamente mala en el Valle de México, Boletín ICAyCC. Recuperado de: https://www.atmosfera.unam.mx/fuertes-tolvaneras-provocan-una-calidad-del-aire-extremadamente-mala-en-el-valle-de-mexico/

Goudie y Middleton (2006). Desert Dust in the Global System. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=4m6xempfY1gC&oi=fnd&pg=PA1&dq=(Goudie+y+Middleton,+2006)&ots=va9G0Unu1B&sig=llZu_Cq32EZK3quAk7huXEVOETM#v=onepage&q=(Goudie%20y%20Middleton%2C%202006)&f=false

ONEMI (2021). Tormenta de polvo, infórmate y prepárate. Recuperado de: https://www.onemi.gov.cl/tormenta-de-polvo/

SMN (2023) Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) Recuperado de: contacto e-mail ventanillaunica.smn@conagua.gob.mx

Sánchez, M. (2021). ¿Cómo se producen las tormentas de arena y polvo? Recuperado de: https://www.meteorologiaenred.com/como-se-producen-las-tormentas-de-arena-y-polvo.html#Tormentas_de_polvo

Tormentas y tolvaneras (2015). Tormentas de arena y tolvaneras. Recuperado de: https://tormentasytolvaneras.blogspot.com/

WMO (2019). Tormentas de arena y polvo. Recuperado de: https://public.wmo.int/es/nuestro-mandato/esferas-de-inter%C3%A9s/medio-ambiente/tormentas-de-arena-y-polvo

Tormentas eléctricas

ANR (2023). Sistema de información sobre riesgos CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html

CENAPRED (2010). Tormentas Severas. Serie Fascículos. Recuperado de: http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF

CENAPRED (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf

CONAGUA (2023). Información estadística climatológica. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

García O., Ramírez H., Alcalá J., Meulenert A. y García M. (2007). Climatología de las tormentas eléctricas locales severas (TELS) en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Recuperado de: http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/29907/27803

OMM (1993). Vocabulario Meteorológico Internacional. Ginebra.

UNAM (2007). Mapa de tormentas eléctricas y precipitación máxima. Nuevo Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía.

Fenómenos Hidrometeorológicos

Alcocer-Yamanaka, (2015). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. Revista tecnología y ciencias del agua Recuperado de: http://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1269/pdf

DNP (2006). Instituto Nacional de Defensa Civil, Perú. Recuperado de (INDECI): http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf

INEGI (2020). Principales resultados por AGEB y manzana urbana del Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=326084&ag=0&f=csv

INEGI (2023). Calculadora de inflación Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/calculadorainflacion.aspx

RAE (2022). Real Academia Española. Recuperado de: RAE: https://dle.rae.es/menaje

El Bocón (2017) Afectan lluvias a comunidades de Tlaxcalilla y El Carmen en Huichapan. Red Social. Recuperado de: https://web.facebook.com/palabradelbocon/posts/483627118649808/

Criterio Hidalgo (2017) Evacuan en municipios de Hidalgo por fuertes lluvias. Recuperado de https://criteriohidalgo.com/regiones/evacuan-en-municipios-de-hidalgo-por-fuertes-lluvias

Almacenamiento de sustancias peligrosas.

Arcos Serrano M. E. e Izcapa Treviño C. (2003) Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México. CENAPRED. Recuperado de: http://centro.paot.org.mx/documentos/cenapred/sustancias_quimicas.pdf

Cárdenas Rivera S. E. (2013) Innova CEMEX con el uso de FIRSU como combustible alterno. CEMEX. Recuperado de: https://www.cemexmexico.com/-/innova-cemex-con-el-uso-de-firsu-como-combustible-alterno

CENAPRED (2021) Guía práctica sobre riesgos químicos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/137-GUAPRCTICASOBRERIESGOSQUMICOS.PDF

CNPC (2015) Identificación de peligros por fenómenos químico-tecnológicos para la elaboración de Atlas de peligros. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Enaproc/Presentacion_IPQ.pdf

García Uribe J. C. (2013) Explosión e incendio en bodega de CEMEX Huichapan. Red social. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=6-NTHoktZBA&ab_channel=juliocesargarciauribe

LEA (2015) Radiación térmica: su efecto en incendio de líquidos y gases. Recuperado de: https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2015/09/6_efectos_de_la_radiacion_termica_en_incendios_de_liquidos_y_gases.pdf

Magallán A. (2022) Cigarro provoca explosión de gasolinera en Huichapan, Hidalgo; reportan mujer sin vida. Vanguardia. Recuperado de: https://vanguardia.com.mx/noticias/cigarro-provoca-explosion-de-gasolinera-en-huichapan-hidalgo-reportan-mujer-sin-vida-FB3065016

Pérez J. L. (2018) Explota en Huichapan un depósito de huachicol. El Sol de Hidalgo. Recuperado de: https://www.elsoldehidalgo.com.mx/policiaca/explota-en-huichapan-un-deposito-de-huachicol-2781523.html

Salazar Gutiérrez M. A. (2020) Riesgos químicos y peligrosidad de las sustancias químicas. CENAPRED. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/601757/TEMA_1_RIESGOS_QUIMICOS.pdf

Villeda M. A. (2015) Afectados por explosiones de CEMEX en Huichapan serán atendidos. Grieta. Recuperado de: https://www.grieta.org.mx/index.php/2015/11/15/afectados-por-explosiones-de-cemex-en-huichapan-seran-atendidos/

Transporte terrestre de sustancias peligrosas

Cuevas Colunga A. C., Cadengo Ramírez M., Silva Rivera M. E. y Mendoza Díaz A. (2022) Anuario estadístico de colisiones en carreteras federales 2021. Instituto Mexicano del transporte (IMT). Recuperado de: https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt85.pdf

De la Cruz González L. A. y Alcántara Garduño M. E. (2001) Medidas de prevención y atención de accidentes carreteros donde se involucran sustancias químicas. CENAPRED. Recuperado de: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/373/1/images/it_mpaacdisq.pdf

DOF (2006) Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. Recuperado de: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/transporte.pdf

DOF (2008) NOM-004-SCT-2008 Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5056880&fecha=18/08/2008#gsc.tab=0

SCT (2023) Datos Viales. Recuperado de: http://datosviales2020.routedev.mx/main#

Transporte por ductos de sustancias peligrosas

CENAPRED (2021) Guía práctica sobre riesgos químicos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/137-GUAPRCTICASOBRERIESGOSQUMICOS.PDF

DOF (2008) NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Recuperado de: https://www.stps.gob.mx/BP/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-026.pdf

Flores Hernández F. (2018) Explota ducto de Pemex en zona fronteriza de Querétaro e Hidalgo. El Universal. Recuperado de: https://www.eluniversal.com.mx/estados/explota-ducto-de-pemex-en-zona-fronteriza-de-queretaro-e-hidalgo/

IGAVIM (2023) Tomas clandestinas. Ductos de hidrocarburo y gas LP. Ene-Sep 2023. Recuperado de: https://igavim.org/Documentos%20Generados/Reportes/2023%20Tomas%20ene-sept.pdf

Molina H. y Rodríguez I. (2023) Aumentan 26.5 % tomas clandestinas a ductos de Pemex. El Economista. Recuperado de: https://www.eleconomista.com.mx/politica/Aumentan-26.5-tomas-clandestinas-a-ductos-de-Pemex-20230227-0137.html

PEMEX (2009) NRF-030-PEMEX-2009 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos. Recuperado de: https://www.lmpromotora.com/pdf/nri/envolventes-no-metalicos/NRF-030-PEMEX-2009.pdf

Incendios Forestales

SEMARNAT (2023). Temporadas de incendios forestales en México. Recuperado de: https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/temporadas-de-incendios-forestales-en-mexico?idiom=es

CENAPRED (2008). Incendios forestales. Serie fascículos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cenapred/documentos/serie-de-fasciculos-incendios-forestales

CENAPRED (2022). Incendios forestales evítalos en esta temporada de calor. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/306-INFOGRAFAINCENDIOSFORESTALES.PDF

CENAPRED (2022b). Incendios forestales. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/115.pdf

CONAFOR (2010). Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores. Recuperado de: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf

CONAFOR-SSPIF (2023) Sistema de predicción de Peligro de Incendios Forestales de México. Recuperado de: http://forestales.ujed.mx/incendios2/

Morfin-Ríos, J.E. et al (2012). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/260591485_Caracterizacion_y_cuantificacion_de_combustibles_forestales

Leyva Fontes C.J. (2019). Proceso Analítico Jerárquico. Herramienta para la gestión del ordenamiento urbano-ambiental en el eje Luaces de Camagüey https://www.redalyc.org/journal/3768/376862224005/html/

Vulnerabilidad Social

CENAPRED (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Peligros Geológicos, Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/iter/iter_13_2020_xlsx.zip

Vulnerabilidad Física

CENAPRED (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Peligros Geológicos, Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado de: https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/iter/iter_13_2020_xlsx.zip

INEGI (2020a). Censo de Población y Vivienda por AGEB y manzana urbana. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/ageb_manzana/RESAGEBURB_13_2020_xlsx.zip

INEGI (2020b). Censo de Población y Vivienda. Vivienda Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/tabulados/ampliado/cpv2020_a_hgo_16_vivienda.xlsx

INEGI (2023). Calculadora de Inflación. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/calculadorainflacion.aspx

SEDATU (2014). Términos de Referencia para la Elaboración de Estudios y Proyectos Integrales de Viabilidad y de Costo Beneficio para la Reubicación de la Población en Zonas de Riesgos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43001/TR_EVCBR_2014.pdf

SGM (2017). Actualización del Atlas de Riesgos del Municipio de Tulancingo de Bravo, Estado de Hidalgo (Inédito).

Determinación del Riesgo

DINAPRE (2006). Manual Básico para la estimación del riesgo. Instituto Nacional de Defensa Civil Perú. Recuperado de: https://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf

Riesgo por procesos de remoción en masa

INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/microdatos/iter/iter_13_2020_xlsx.zip

INDC (Instituto Nacional de Defensa Civil) (2006). Principios de la gestión del riesgo de desastres. Recuperado de: https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/FA1280DE282F42C405257E7B007346CD/$FILE/1_pdfsam_doc1935-2.pdf

INETER (2001). Amenazas naturales de Nicaragua. Managua. 1ra edición. 310 p.

Varnes, D. J. e International association of Engineering Geology Commission On Landslides And Other Mass Movements On Slopes (1984). Landslide Hazard zonation: a review of principales and practice. Int. Assoc. Eng. Geol., Unesco. Natural Hazard Series. N°. 3. 63 pp. Páris.

Propuesta de Estudios, Obras y Acciones

Barreras contra desprendimientos de rocas. Recuperado de: https://www.maccaferri.com/mx/productos/barreras-contra-desprendimientos-de-rocas/

Unidad de medio ambiente y gestión del riesgo del PNUD, Honduras (2013). Manual de obras de mitigación.