



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL PARA DETERMINAR ÁREAS DE RIESGO DE TRANSMISIÓN
DE DENGUE CON BASE EN FACTORES AMBIENTALES, SOCIALES, ENTOMOLÓGICOS Y
EPIDEMIOLOGÍCOS EN DOS MUNICIPIOS DE MÉXICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
SUSANA ROMÁN PÉREZ

COMITÉ TUTORAL:
DIRECTOR DE TESIS: DR. RAÚL AGUIRRE GÓMEZ, IG-UNAM.
ASESOR: DR. JUAN EUGENIO HERNÁNDEZ ÁVILA, CENIDSP-INSP.
ASESOR: DRA. LUISA BASILIA ÍÑIGUEZ ROJAS, FLACSO-Cuba.

CIUDAD DE MÉXICO, A 31 DE JULIO DEL 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

Resumen.....	14
Introducción	15
Planteamiento del problema	17
Hipótesis.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
Justificación	18
Capítulo 1 Marco teórico	20
1.1 Geografía de la salud.....	20
1.2 Epidemiología.....	21
1.3 El riesgo epidemiológico	21
1.4 La enfermedad como sistema	23
1.5 Complejos patógenos y la teoría general de sistemas.....	23
1.6 La enfermedad del dengue	24
1.7 El vector del dengue.....	25
1.8 Factores que intervienen en la transmisión del dengue.....	25
1.9 Estacionalidad y zona endémica del dengue	26
1.10 Geomática y Sistemas de información geográfica en geografía de la salud.....	27
1.11 El análisis espacial	28
1.12 Antecedentes de la investigación.....	28
Capítulo 2 Caracterización de las áreas de estudio y metodología	31
2.1 Caracterización del área de estudio y temporalidad	31
2.2 Metodología de la investigación	38
2.2.1 Fuentes de información	38
2.2.2 Variables de estudio.....	38
2.2.3 Técnicas de recolección y análisis de la información	40
2.3 Variables espacio-temporales	40
2.3.1 Temperatura de superficie de la tierra (TLS).....	42
2.3.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	44
2.3.3 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI).....	44
2.3.4 Densidad de huevos por ovitrampa positiva.....	45

2.3.5 Densidad de casos de dengue	45
2.4 Variables espaciales	45
2.4.1 Altitud.....	45
2.4.2 Densidad de población.....	45
2.4.3 Porcentaje de viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento.	46
2.5 Análisis estadístico	46
2.5.1 Variables espacio-temporales	46
2.5.2 Variables espaciales	46
2.6 Análisis espacial.....	47
2.7 Limitaciones del estudio.....	49
Capítulo 3 Determinación de áreas de riesgo de transmisión	50
3.1 Variables espacio-temporales	50
3.1.1 Temperatura de Superficie de la Tierra (LST).....	50
3.1.1.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	50
3.1.1.2 Municipio Centro, Tabasco	66
3.1.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	82
3.1.2.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	82
3.1.2.2 Municipio Centro, Tabasco	98
3.1.3 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI)	113
3.1.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	113
3.1.3.2 Municipio Centro, Tabasco	129
3.1.4 Densidad de huevos por ovitrampa positiva.....	145
3.1.4.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	145
3.1.4.2 Municipio Centro, Tabasco	161
3.1.5 Casos probables y confirmados.....	177
3.1.5.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	177
3.1.5.2 Municipio Centro, Tabasco	193
3.2 Variables espaciales	209
3.2.1 Altitud	209
3.2.1.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	209
3.2.1.2 Municipio Centro, Tabasco	212
3.2.2 Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento.....	214
3.2.2.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	214

3.2.2.2 Municipio Centro, Tabasco	217
3.2.3 Densidad de población por kilómetro cuadrado	220
3.2.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	220
3.2.3.2 Municipio Centro, Tabasco	223
3.3 Análisis estadístico	225
3.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	225
3.3.2 Municipio Centro, Tabasco	229
3.4 Análisis espacial.....	233
3.5 Áreas de riesgo	234
3.5.1 Municipio Culiacán, Sinaloa	234
3.5.2 Municipio Centro, Tabasco	248
3.6 Discusión	262
3.7 Conclusiones.....	265

Índice de figuras

Fig. 1 Triada ecológica.....	22
Fig. 2 Países y áreas de riesgo por dengue al 2013.....	27
Fig. 3 Casos probables y confirmados por dengue del municipio Culiacán, Sinaloa, 2010-2020.	31
Fig. 4 Municipio Culiacán, Sinaloa.....	33
Fig. 5 Compendio de información geográfica municipal, Culiacán, Sinaloa.	34
Fig. 6 Casos probables y confirmados por dengue del municipio Centro, Tabasco, 2010-2020.	35
Fig. 7 Municipio Centro de Tabasco.....	36
Fig. 8 Compendio de información geográfica municipal, Centro, Tabasco.....	37
Fig. 9 Diagrama del proceso.....	39
Fig. 10 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	51
Fig. 11 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	51
Fig. 12 LST y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	53
Fig. 13 LST y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	54
Fig. 14 LST y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	55
Fig. 15 LST y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	56
Fig. 16 LST y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	57
Fig. 17 LST y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	58
Fig. 18 LST y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	60
Fig. 19 LST y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	61
Fig. 20 LST y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	62
Fig. 21 LST y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	63
Fig. 22 LST y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	64
Fig. 23 LST y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	65
Fig. 24 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	66
Fig. 25 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	67
Fig. 26 LST y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	69
Fig. 27 LST y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	70
Fig. 28 LST y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	71
Fig. 29 LST y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	72
Fig. 30 LST y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	73
Fig. 31 LST y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	74
Fig. 32 LST y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	76
Fig. 33 LST y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	77
Fig. 34 LST y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	78
Fig. 35 LST y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	79
Fig. 36 LST y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	80

Fig. 37 LST y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	81
Fig. 38 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	82
Fig. 39 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	83
Fig. 40 NDVI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	85
Fig. 41 NDVI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	86
Fig. 42 NDVI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	87
Fig. 43 NDVI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	88
Fig. 44 NDVI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	89
Fig. 45 NDVI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	90
Fig. 46 NDVI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	92
Fig. 47 NDVI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	93
Fig. 48 NDVI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	94
Fig. 49 NDVI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	95
Fig. 50 NDVI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	96
Fig. 51 NDVI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	97
Fig. 52 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	98
Fig. 53 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	98
Fig. 54 NDVI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	100
Fig. 55 NDVI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	101
Fig. 56 NDVI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	102
Fig. 57 NDVI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	103
Fig. 58 NDVI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	104
Fig. 59 NDVI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	105
Fig. 60 NDVI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	107
Fig. 61 NDVI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	108
Fig. 62 NDVI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	109
Fig. 63 NDVI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	110
Fig. 64 NDVI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	111
Fig. 65 NDVI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	112
Fig. 66 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	113
Fig. 67 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	114
Fig. 68 NDMI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	116
Fig. 69 NDMI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	117
Fig. 70 NDMI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	118
Fig. 71 NDMI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	119
Fig. 72 NDMI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	120

Fig. 73 NDMI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	121
Fig. 74 NDMI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	123
Fig. 75 NDMI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	124
Fig. 76 NDMI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	125
Fig. 77 NDMI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	126
Fig. 78 NDMI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	127
Fig. 79 NDMI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	128
Fig. 80 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	129
Fig. 81 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	130
Fig. 82 NDMI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	132
Fig. 83 NDMI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	133
Fig. 84 NDMI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	134
Fig. 85 NDMI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	135
Fig. 86 NDMI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	136
Fig. 87 NDMI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	137
Fig. 88 NDMI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	139
Fig. 89 NDMI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	140
Fig. 90 NDMI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	141
Fig. 91 NDMI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	142
Fig. 92 NDMI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	143
Fig. 93 NDMI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	144
Fig. 94 Densidad de huevos por mes por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	145
Fig. 95 Densidad de huevos y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	146
Fig. 96 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	148
Fig. 97 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	149
Fig. 98 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	150
Fig. 99 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	151
Fig. 100 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	152
Fig. 101 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	153
Fig. 102 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	155
Fig. 103 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	156

Fig. 104 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	157
Fig. 105 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	158
Fig. 106 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	159
Fig. 107 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	160
Fig. 108 Densidad de huevos por mes por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	161
Fig. 109 Densidad de huevos y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	162
Fig. 110 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	164
Fig. 111 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	165
Fig. 112 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	166
Fig. 113 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	167
Fig. 114 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	168
Fig. 115 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	169
Fig. 116 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	171
Fig. 117 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	172
Fig. 118 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	173
Fig. 119 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	174
Fig. 120 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	175
Fig. 121 Porcentaje de huevos por ovitamapa positiva y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	176
Fig. 122 Total de Casos probables y confirmados por mes por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	177
Fig. 123 Densidad de casos y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	178
Fig. 124 Densidad y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	180
Fig. 125 Densidad y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	181
Fig. 126 Densidad y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	182
Fig. 127 Densidad y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	183
Fig. 128 Densidad y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	184

Fig. 129 Densidad y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	185
Fig. 130 Densidad y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	187
Fig. 131 Densidad y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.....	188
Fig. 132 Densidad y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa. .	189
Fig. 133 Densidad y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.	190
Fig. 134 Densidad y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa. ...	191
Fig. 135 Densidad y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa. ...	192
Fig. 136 Total de Casos probables y confirmados por mes por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	193
Fig. 137 Densidad de casos y casos mensuales por mes por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	194
Fig. 138 Densidad y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	196
Fig. 139 Densidad y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	197
Fig. 140 Densidad y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	198
Fig. 141 Densidad y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	199
Fig. 142 Densidad y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	200
Fig. 143 Densidad y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	201
Fig. 144 Densidad y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	203
Fig. 145 Densidad y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.....	204
Fig. 146 Densidad y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco. ...	205
Fig. 147 Densidad y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	206
Fig. 148 Densidad y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco. ...	207
Fig. 149 Densidad y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.	208
Fig. 150 Altitud y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.....	209
Fig. 151 Mapa de altitud y casos del mes de octubre del municipio Culiacán, Sinaloa.....	211
Fig. 152 Altitud y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.....	212
Fig. 153 Mapa de altitud y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.	213
Fig. 154 Porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.....	214
Fig. 155 Mapas del porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y casos del mes de octubre para el municipio Culiacán, Sinaloa.	216
Fig. 156 Porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.....	217
Fig. 157 Mapas del porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.	219
Fig. 158 Densidad de población y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.....	220
Fig. 159 Mapas de densidad de población y casos del mes de octubre para el municipio Culiacán, Sinaloa.	222
Fig. 160 Densidad de población y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.....	223
Fig. 161 Mapas de densidad de población y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.	224
Fig. 162 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Culiacán, Sinaloa.	226

Fig. 163 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales y temporales del municipio Culiacán, Sinaloa.	227
Fig. 164 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales del municipio Culiacán, Sinaloa. ...	227
Fig. 165 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Culiacán, Sinaloa.	228
Fig. 166 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Centro, Tabasco.	230
Fig. 167 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales y temporales del municipio Centro Tabasco.	231
Fig. 168 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales del municipio Centro Tabasco.	231
Fig. 169 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Centro Tabasco.	232
Fig. 170 Criterios y pesos de las variables significativas para el municipio Culiacán, Sinaloa.	233
Fig. 171 Criterios y pesos de las variables significativas para el municipio Centro, Tabasco.....	233
Fig. 172 Área de riesgo del mes de enero del municipio Culiacán, Sinaloa.	235
Fig. 173 Área de riesgo del mes de febrero del municipio Culiacán, Sinaloa.	236
Fig. 174 Área de riesgo del mes de marzo del municipio Culiacán, Sinaloa.	237
Fig. 175 Área de riesgo del mes de abril del municipio Culiacán, Sinaloa.	238
Fig. 176 Área de riesgo del mes de mayo del municipio Culiacán, Sinaloa.....	239
Fig. 177 Área de riesgo del mes de junio del municipio Culiacán, Sinaloa.	240
Fig. 178 Área de riesgo del mes de julio del municipio Culiacán, Sinaloa.....	242
Fig. 179 Área de riesgo del mes de agosto del municipio Culiacán, Sinaloa.....	243
Fig. 180 Área de riesgo del mes de septiembre del municipio Culiacán, Sinaloa.	244
Fig. 181 Área de riesgo del mes de octubre del municipio Culiacán, Sinaloa.	245
Fig. 182 Área de riesgo del mes de noviembre del municipio Culiacán, Sinaloa.	246
Fig. 183 Área de riesgo del mes de diciembre del municipio Culiacán, Sinaloa.	247
Fig. 184 Área de riesgo del mes de enero del municipio Centro, Tabasco.	249
Fig. 185 Área de riesgo del mes de febrero del municipio Centro, Tabasco.....	250
Fig. 186 Área de riesgo del mes de marzo del municipio Centro, Tabasco.....	251
Fig. 187 Área de riesgo del mes de abril del municipio Centro, Tabasco.	252
Fig. 188 Área de riesgo del mes de mayo del municipio Centro, Tabasco.....	253
Fig. 189 Área de riesgo del mes de junio del municipio Centro, Tabasco.....	254
Fig. 190 Área de riesgo del mes de julio del municipio Centro, Tabasco.....	256
Fig. 191 Área de riesgo del mes de agosto del municipio Centro, Tabasco.....	257
Fig. 192 Área de riesgo del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.	258
Fig. 193 Área de riesgo del mes de octubre del municipio Centro, Tabasco.	259
Fig. 194 Área de riesgo del mes de noviembre del municipio Centro, Tabasco.	260
Fig. 195 Área de riesgo del mes de diciembre del municipio Centro, Tabasco.	261

Índice de tablas

Tabla 1 Serotipos circundantes en el estado de Sinaloa del 2014 al 2020.	32
Tabla 2 Serotipos circundantes en el estado de Tabasco del 2014 al 2020.....	35
Tabla 3 Rangos espectrales de las bandas del sensor OLI.....	41
Tabla 4 Rangos espectrales de las bandas del TIRS.....	41
Tabla 5 Total de imágenes satelitales del sensor Landsat 8 OLI-TIRS	41
Tabla 6 Coeficientes para SW.....	42
Tabla 7 Emisividad para las bandas 10 y 11 del TIRS	44
Tabla 8 Tabla de Saaty.....	48
Tabla 9 Tabla de consistencia.....	48
Tabla 10 Estadísticos descriptivos de las variables de estudio del municipio Culiacán, Sinaloa. ...	225
Tabla 11 Estadísticas de multicolinealidad para el municipio Culiacán, Sinaloa.....	225
Tabla 12 Resumen del modelo para el municipio Culiacán, Sinaloa.....	227
Tabla 13 Coeficientes de regresión robustos estimados mediante método bootstrap para el municipio Culiacán, Sinaloa.....	228
Tabla 14 Estadísticos descriptivos de las variables de estudio del municipio Centro, Tabasco.	229
Tabla 15 Estadísticas de multicolinealidad para el municipio Centro, Tabasco.....	229
Tabla 16 Resumen del modelo para el municipio Centro, Tabasco.....	231
Tabla 17 Coeficientes de regresión robustos estimados mediante método bootstrap para el municipio Centro, Tabasco.....	233

Glosario de términos

DGE	Dirección General de Epidemiología
CENAPRECE	Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades
SINAVE	Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica
InDRE	Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
SIG	Sistemas de Información Geográfica
MODIS	Espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NDMI	Índice de Humedad de Diferencia Normalizada
SIMV	Sistema Integral de Monitoreo de Vectores
OLI	Generador de Imágenes Terrestres Operacionales
TIRS	Sensor Infrarrojo Térmico
OPS	Organización Panamericana de la Salud
SPOT	Satélite Para la Observación de la Tierra
USGS	Servicio Geológico de Estados Unidos
SW	Ventana Dividida
LST	Temperatura de la Superficie de la Tierra
TOA	Techo de la Atmósfera

Agradecimientos

Quiero agradecer al **Posgrado en Geografía** por ser parte del proceso de mi crecimiento académico. El doctorado me ha permitido desarrollar al investigador que siempre quise ser pero que sentía que no podía serlo. Al **CONACYT** por el apoyo recibido, ya que fue fundamental para poder cumplir con este reto.

Quiero agradecer infinitamente a mi director de tesis el **Dr. Raúl Aguirre Gómez**, por no perder la fe en mí y por todo el apoyo brindado en cada etapa de este proceso. No pude tener un mejor director de tesis, mil gracias.

De igual manera agradezco a la **Dra. Luisa Íñiguez** y el **Dr. Juan Eugenio Hernández** por su apoyo como mis asesores, guiándome para llegar a buen fin. Además, agradezco a mis sinodales la **Dra. Carmen Juárez**, la **Dra. Virginia Santana** y el **Dr. Fabián Correa** por las aportaciones realizadas a mi tesis.

Hago un agradecimiento especial a una de las mejores personas que he conocido y que ha dejado una huella imborrable en mi corazón, a mi mejor amigo el **M. C. René Santos Luna** quien me ha acompañado y apoyado siempre en mi desarrollo personal, profesional y académico.

Agradezco enormemente a mis hijas **Nancy** y **Cynthia** por formar parte de mi vida ya que son la fuerza que me impulsa a seguir luchando cada día para tratar de ser mejor profesional, mejor mamá, mejor persona, ellas le dan sentido a mi vida, las amo con todo mi corazón.

Finalmente agradezco a mi **Dios** por poner en mi camino a personas tan especiales quienes han hecho maravilloso mi paso por esta vida. Gracias Dios por permitirme concluir con mi meta, a pesar de todos los contratiempos encontrados en el camino. Gracias por todas las bendiciones que me das día con día.

Mil gracias...

Toda meta es alcanzable, siempre y cuando luchemos por ella día con día...

Resumen

El dengue es un problema de salud pública. Se encuentra en más de 100 países en el mundo y casi en toda la región de las Américas y México no es la excepción. El dengue es transmitido por mosquitos del género *Aedes aegypti*, su reproducción requiere de ciertas condiciones geográficas, ambientales, epidemiológicas, demográficas y socioeconómicas. La geografía de la salud engloba una serie de conceptos que permite comprender el contexto en el que ocurren los problemas de salud, para actuar sobre territorios y no sobre individuos. Además, es posible incorporar datos provenientes de los distintos sistemas de salud que permitan la generación y análisis de indicadores de salud. Por ello este trabajo se apoya de la geografía de la salud para el estudio del dengue. En este ámbito podemos decir que se cuenta con información detallada de datos socioeconómicos, epidemiológicos y entomológicos sobre dengue, pero no se cuenta con información meteorológica detallada. El objetivo de este estudio fue identificar áreas de riesgo de transmisión de dengue para cada mes del año con base en información ambiental, social, entomológica y epidemiológica del 2010 al 2020 en el municipio de Culiacán, Sinaloa y en el municipio Centro de Tabasco. Se calculó el LST, NDVI y NDMI a partir de imágenes satelitales Landsat 8 con técnicas de percepción remota. Se incluyeron variables de densidad de población, hacinamiento, densidad de huevos por ovitrampa positiva y casos probables por dengue. Se realizó un análisis descriptivo de las variables de estudio y un análisis de regresión lineal múltiple para determinar las variables significativas, se aplicó un análisis espacial multicriterio a través de la técnica Proceso de jerarquía analítica (AHP) para identificar áreas de riesgo de transmisión de dengue. Los resultados revelaron que las variables Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y el hacinamiento no fueron significativas para el municipio de Culiacán, sin embargo, la Temperatura de Superficie del suelo (LST), densidad de población, densidad de huevos por ovitrampa positiva y casos probables si lo fueron. El mes con mayor población en áreas de riesgo de transmisión fue noviembre y el mes con mayor área de transmisión fue octubre. Para el municipio Centro, el NDVI, NDMI, densidad de casos, hacinamiento y densidad de población fueron significativas. El mes con mayor población en áreas de riesgo de transmisión fue septiembre y el mes con mayor área de transmisión fue octubre. En conclusión, se logró identificar cuáles de las variables de estudio fueron significativas, así mismo se obtuvieron mapas mensuales de áreas de riesgo de transmisión de dengue para Culiacán Sinaloa y Centro Tabasco. Cada área geográfica tiene características propias que influyen de una u otra forma en la incidencia del dengue, es por ello que las acciones de control deben ser específicas en cada región.

Introducción

El dengue origina entre 50 y 100 millones de casos anuales en más de 100 países (Fajardo-Dolci, y otros, 2012). De acuerdo con la OMS más del 70% de la carga de morbilidad por dengue se concentra en Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental, sin embargo, en los últimos 10 años también se han registrado brotes en las regiones de África y el Mediterráneo Oriental y se encuentra presente en casi todo el continente Americano (Fajardo-Dolci, y otros, 2012). Esto principalmente se debe a la movilidad de la población y del comercio internacional a través de los cuales se transporta el vector dentro de la mercancía.

En las tres últimas décadas, el dengue se ha considerado una enfermedad de importancia para la salud pública de México, por su magnitud y trascendencia, dado que existen condiciones ambientales, geográficas, epidemiológicas, demográficas y socioeconómicas que favorecen su transmisión (Icaza, 2010). El dengue es una enfermedad transmitida principalmente por el vector *Aedes aegypti*. Se conocen cuatro serotipos distintos estrechamente emparentados del virus del dengue: DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4. Al mosquito transmisor del dengue, por sus hábitos, se le considera doméstico ya que está estrechamente relacionado con el humano, y se encuentra en áreas urbanas y suburbanas (Icaza, 2010). Adicionalmente, el crecimiento de las zonas urbanas que no cuentan con las condiciones adecuadas de servicios públicos básicos, permiten el ambiente propicio para su desarrollo, así como los movimientos rápidos de personas y bienes además de las condiciones climáticas favorables (OMS, ¿Qué es el dengue y cómo se trata?, 2017) (SINAVE/DGE/SALUD, Perfil epidemiológico del dengue en México, 2012).

La Estrategia de Gestión Integrada para la prevención y control del dengue en la Región de las Américas (EGI-dengue), es la actualización del modelo metodológico de trabajo que los países de la Región han venido aplicando y fortaleciendo en los últimos 10 años (OPS, 2017). A pesar de su utilidad en distintos países en la gestión para prevenir y organizar la respuesta nacional ante situaciones de brotes, epidemias y su carácter integrado, el dengue continúa considerándose un problema creciente de salud pública en muchos países de Latinoamérica y México no es la excepción.

Diversas investigaciones realizadas en zonas endémicas del mundo han concluido que hay diversos factores que intervienen en la transmisión del dengue (M, 2022). Se han estudiado distintas variables que influyen en la proliferación del mosquito, entre las cuales sobresalen temperatura del aire, precipitación, la altura sobre el nivel del mar, tipo de suelo, vegetación, agua, parámetros

socioeconómicos, densidad de casas, entre otras (Nelson Mena, 2011), (Rebeca Alvarado-Prado, 2019). La temperatura es la variable más analizada, se ha demostrado que tiene una relación directa con la abundancia del vector y por lo tanto con los casos de dengue (Banu, 2014). Otro factor fundamental para la proliferación del mosquito es la humedad la cual va ligada a la vegetación, debido a que esta provee de un ambiente adecuado para su desarrollo. Debido a que la información existente de estas variables no es muy detallada es por ello que se estudian a través del NDVI y NDMI, para lo cual se ha demostrado la estrecha relación que existe entre estos dos índices, es por eso que en las zonas urbanas o sub-urbanas estos índices permiten evaluar el estado funcional de la vegetación como condición propicia del desarrollo de los mosquitos (V, 2022), (Dr. Michael C. Wimberly, 2020).

La Dirección General de Epidemiología (DGE) es la institución encargada de la Vigilancia Epidemiológica en México. La vigilancia sistemática de la DGE permite la identificación de casos de enfermedades bajo vigilancia obligatoria para poder contar con información necesaria para realizar acciones, esto constituye un instrumento de vital importancia para identificar, medir y analizar los problemas y condiciones de la salud que afectan a la población y, sobre esa base, tomar decisiones orientadas a promover la salud, prevenir la enfermedad o, en su defecto, controlar los problemas que ya se hayan presentado (SSA, 2014). Para la notificación de casos de enfermedades la DGE cuenta con un sistema denominado SINAVE a través del cual se reportan diariamente los casos de Dengue, Zika y Chikungunya en todo el país y a través del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (InDRE) que es quien confirma o descarta los casos notificados a los que se les tomó muestra de laboratorio (SSA, 2017).

Otra institución que forma parte fundamental de la vigilancia del dengue es el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), que es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud y es responsable de conducir e implementar programas para la prevención y control de enfermedades, para reducir la morbilidad y mortalidad en la población mexicana (SSA, 2015). Esta institución tiene como objetivo principal normar, administrar y evaluar las políticas y estrategias de prevención y protección de la salud. Para ello tiene a su cargo el Programa de Enfermedades transmitidas por vector, a través del cual implementa acciones de prevención y control del dengue en el país. En cuanto a dengue se refiere, dentro del programa de vigilancia del dengue esta Institución cuenta con un Sistema Integral de Monitoreo de Vectores (SIMV) mediante

el cual semanalmente se reporta la información entomológica de ovitrampas, así como el registro de acciones de control en todo el país (Juan Eugenio Hernández-Ávila, 2013).

Derivado de la información epidemiológica de casos de dengue y la información entomológica de ovitrampas, el CENAPRECE planea y realiza distintas acciones de prevención y control a lo largo del país. El control de acciones se realiza con base en el Índice de riesgo, este se calcula trazando un área de influencia o “buffer” de 300 m con la información de ovitrampas y se utiliza el método de cuartiles para determinar la clasificación del área de riesgo entomológica. Otra medida que utilizan para la planeación de acciones son los clúster de riesgo, estos se calculan trazando un buffer de 500 m con la información entomológica de ovitrampas y los casos de las últimas 3 semanas epidemiológicas (CENAPRECE, 2017).

Para diseñar una estrategia de intervención, basada en la identificación de áreas de alto riesgo, es necesario definir la escala geográfica en la que se deben definir las áreas de transmisión de la enfermedad (Vanlerberghe V, 2017). Cabe señalar que los recursos para el control del vector son muy costosos, motivo por el cual es indispensable focalizar las acciones para optimizar al máximo el recurso, sobre todo en los países endémicos con economías limitadas como la de México.

A pesar de que se utilizan datos epidemiológicos y entomológicos con alta resolución espacial y temporal y de contar con un sistema de información integral que genera datos, áreas de riesgo, alertas que incluyen datos meteorológicos, el dengue en México sigue siendo un problema de salud pública. Existen áreas de oportunidad para la investigación, razón que motiva el presente trabajo de tesis.

Planteamiento del problema

El dengue es un problema de salud pública global y en México, en particular, han sido afectados 28 de los 32 estados del país. Una de las acciones más efectivas para su control es la eliminación de posibles criaderos. Otra acción que se lleva a cabo es la realización de acciones de control las cuales se programan con base a los casos confirmados y a la vigilancia entomológica con ovitrampas. Con todo esto, el dengue, a través de los años y de las acciones que ha emprendido el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), no ha podido llegar a controlarse.

Hipótesis

El riesgo de transmisión de dengue se asocia con la distribución espacial de los factores ambientales, sociales, entomológicos y epidemiológicos.

Objetivo general

Construir un modelo espacial que permita la identificación de áreas de riesgo de transmisión de dengue usando variables ambientales, sociales, entomológicas y epidemiológicas a nivel microrregión en dos municipios con transmisión de dengue utilizando imágenes satelitales Landsat 8.

Objetivos específicos

- Establecer el marco teórico y conceptual del riesgo de transmisión del dengue y de los distintos factores que intervienen.
- Utilizar la Geomática para la generación de variables ambientales.
- Aplicar análisis estadístico para la definición de variables significativas y pesos.
- Realizar análisis espacial para generación de áreas de riesgo.

Justificación

Si bien para el control de vectores en México, ya se usan múltiples variables para la identificación de áreas de riesgo, algunas de estas variables no tienen la resolución espacial adecuada, es el caso de las variables meteorológicas, como la temperatura del aire, que se mide a través de la red de estaciones meteorológicas. Esta red está diseñada principalmente para monitorear la temperatura regional y no necesariamente para estimar la temperatura al interior de la zona urbana, como se requiere para la identificación de áreas de riesgo prioritarias.

En este sentido sabemos que existen alternativas para estimar la temperatura a escala locales, por ejemplo, los sensores remotos que a través de imágenes satelitales permiten estimar la temperatura del suelo, así como también permiten estimar otras variables como el Índice de vegetación de diferencia normalizada o el Índice de humedad de diferencia normalizada por mencionar algunas, variables que están asociadas a factores que influyen en la proliferación del vector y que por ende favorecen la transmisión. Por otra parte, la Geomática es una disciplina que engloba a las geociencias y permite la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación. A través de la Geomática es posible realizar el procesamiento de imágenes satelitales y obtener información

para el estudio de las variables mencionadas, aunado a las variables entomológicas y epidemiológicas de que dispone el programa nacional de vectores. Así, el presente trabajo plantea utilizar datos a escala local para identificar áreas de riesgo en función de la estacionalidad del dengue en dos municipios del país.

La tesis se conforma de tres capítulos y tiene como finalidad la identificación de áreas de riesgo de transmisión de dengue en el municipio Culiacán de Sinaloa y el municipio Centro de Tabasco con base en variables sociales, ambientales, entomológicas y epidemiológicas.

En el primer capítulo se presenta el marco teórico y conceptual sobre el cuál se encuentra basada esta investigación. Se aborda el término de geografía de la salud desde sus inicios hasta la actualidad, pasando por la epidemiología el concepto de riesgo y hasta la enfermedad. Además, se habla sobre la enfermedad del dengue y todo lo que interviene en esta enfermedad. Finalmente, se especifican los antecedentes del estudio.

En el capítulo dos se encuentra el proceso realizado para la obtención de las capas espaciales, la descripción del área de estudio, las fuentes de información y las variables de estudio. También se encuentra la metodología utilizada para la generación de cada una de las capas espaciales para el análisis estadístico y espacial.

En el capítulo tres se presentan los resultados de cada variable de estudio mediante gráficas y mapas, los resultados del análisis estadístico y análisis espacial dada la combinación de las variables de estudio para cada municipio, los mapas de áreas de riesgo de transmisión de dengue, la discusión y conclusiones de la investigación.

Capítulo 1 Marco teórico

En este capítulo se trata sobre como la geografía de la salud desde sus inicios hasta la actualidad ha evolucionado desde los conceptos más básicos, pasando por la epidemiología caracterizada como la ciencia de los riesgos a la salud y a la vida de los seres humanos. El riesgo como el campo científico de la epidemiología y la enfermedad producida por causa de uno o varios factores simultáneos. También se habla sobre la enfermedad del dengue y todo lo que interviene en la transmisión de esta enfermedad. Finalmente, se presentan los antecedentes realizados hasta ahora con respecto al tema de investigación.

1.1 Geografía de la salud

La geografía por su naturaleza es una ciencia social (Pickenhayn, 2009). En la geografía de la salud convergen tres cuestiones esenciales, como son la salud, el ambiente y la sociedad. La geografía de la salud y la epidemiología generan una proyección cruzada: el espacio como tema médico, por un lado; la salud como tema geográfico, por el otro. A partir de esta visión transdisciplinaria, la geografía de la salud se enmarca en posiciones teóricas que tienen origen de corrientes médicas y geográficas (Pickenhayn, 2009). La geografía, dentro de este planteo transdisciplinario, cumple el papel de agente regionalizador de tres cosas: lo existente, lo necesario y lo contingente (Marcela Virginia Santana Juárez, 2014).

Por influencia de la geografía aparecieron otras formas de entender la problemática de la salud. Importantes aportaciones a este campo tienen su inicio en Hipócrates quien brinda el primer documento histórico fundado en la observación y la experiencia que puede considerarse como un primitivo enfoque ambientalista, después la teoría de Max Sorre quien aportó su teoría de los complejos patógenos que dieron lugar a una geografía médica cuantitativa, basada en estudios de difusión y análisis locacional (Sorre, 1947). Según Sáenz de la Calzada la geografía médica es el estudio de las enfermedades que están constantemente en un lugar (endémico) y algunas veces con exacerbación epidémica (Sáenz de la Calzada, 1972). Más tarde Gerald Pyle postuló una Geografía médica eminentemente aplicada (Pyle, 1979). A partir de ese momento se empezó hablar de la geografía de la salud, la cual incluía otros problemas complementarios a la enfermedad, especialmente ligados con la sociedad, el bienestar y la problemática asistencial de los servicios de salud (Pickenhayn, 2009). De acuerdo con Barcellos (2018) la geografía de la salud busca comprender el contexto en el que ocurren los problemas de salud, para actuar sobre territorios y no sobre individuos.

1.2 Epidemiología

Desde el ámbito de la epidemiología Almeida-Filho presenta a la epidemiología más allá de una teoría de la información de salud caracterizándola como la ciencia de los riesgos a la salud y a la vida de los sujetos humanos. Este autor define desde el punto de vista epidemiológico, que la conquista conceptual de la realidad comienza por la construcción de un objeto-modelo en referencia a una cosa, hecho o proceso. Presenta tres paradigmas de investigación epidemiológica: causales, de riesgo y sistémicos, el primero es un modelo causa-efecto, el segundo es un modelo que acepta una causalidad múltiple y el último entiende los problemas epidemiológicos como sistemas dinámicos, inestables que depende de redes de atractores sensibles (Filho, 2000), (Pickenhayn, 2009). La OPS/OMS define a la epidemiología como *“el estudio de la frecuencia y distribución de los eventos de salud y de sus determinantes en las poblaciones humanas, y la aplicación de este estudio en la prevención y control de los problemas de salud. Los principios para el estudio de eventos de salud se refieren al uso de las tres variables clásicas de la epidemiología: tiempo, lugar y persona.”* (OPS/OMS, 2011).

La geografía de la salud es una variante concreta de la geografía aplicada. Una de tantas especialidades geográficas como lo es la epidemiología en un plano equivalente, dentro de las ciencias de la salud. Tanto la geografía de la salud como la epidemiología tienen elementos comunes: el manejo de herramientas estadísticas y de cartografía (Pickenhayn, 2009).

1.3 El riesgo epidemiológico

El riesgo en epidemiología equivale a efecto, probabilidad de ocurrencia de una patología en una población determinada, expresado a través del indicador paradigmático de incidencia. Una población es un conjunto o una serie homogénea de elementos, formado por miembros de una misma clase. En el caso de la epidemiología, tales elementos son seres humanos capaces de padecer o sufrir algún problema de salud (Naomar de Almeida Filho, 2009).

Los factores de riesgo, son marcadores que apuntan a la predicción de morbimortalidad futura. De este modo, se podría identificar, contabilizar y comparar individuos, grupos familiares o comunidades con relación a las exposiciones a dichos factores para proporcionar intervenciones preventivas. La proposición de riesgo como concepto fundamental del campo científico de la epidemiología reposa sobre tres supuestos epistemológicos básicos: el primero es la identidad entre lo posible y lo probable. Esa probabilidad se constituye como unidimensional, variable, y por extensión, cuantificable. El segundo pone las incidencias de distintos eventos de salud o enfermedad

e indicadores de los respectivos riesgos, entendidos como probabilidades de ocurrencia en un mismo registro. En tercer lugar, se destaca el supuesto de la recurrencia de los eventos en serie, lo que implica la expectativa de estabilidad de los patrones de ocurrencia seriada de los hechos epidemiológicos (Naomar de Almeida Filho, 2009).

El enfoque epidemiológico también está orientado a buscar las explicaciones del porqué suceden esos eventos en salud, lo que se denomina como causalidad. Considera que la enfermedad en la población es un fenómeno dinámico y su propagación depende de la interacción entre la exposición y la susceptibilidad de los individuos y grupos constituyentes de dicha población a los factores determinantes de la presencia de enfermedad (OPS/OMS, 2011). De acuerdo con este enfoque existe el modelo de causalidad denominado Triada ecológica (Gordis, 2015).

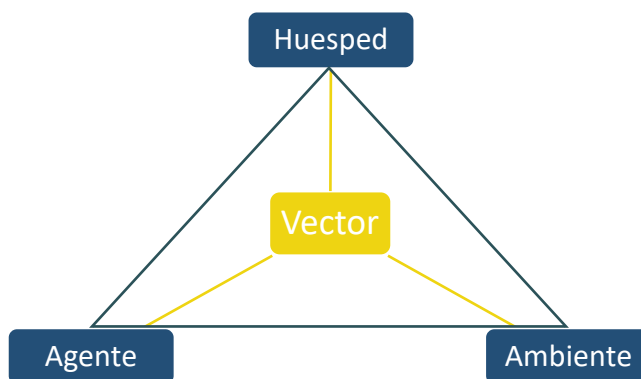


Fig. 1 Triada ecológica.
Fuente: Gordis, 2015.

El *agente* es un factor que puede ser un microorganismo, sustancia química, o forma de radiación cuya presencia, presencia excesiva o relativa ausencia es esencial para la ocurrencia de la enfermedad. El huésped es una persona o animal vivo, incluyendo las aves y los artrópodos, que en circunstancias naturales permite la subsistencia o el alojamiento de un agente infeccioso. El *huésped* es una persona o animal vivo, incluyendo las aves y los artrópodos, que en circunstancias naturales permite la subsistencia o el alojamiento de un agente infeccioso. El *vector* es un insecto o cualquier portador vivo que transporta un agente infeccioso desde un individuo o sus desechos, hasta un individuo susceptible, su comida o su ambiente inmediato. El agente puede o no desarrollarse, propagarse o multiplicarse dentro del vector. El *ambiente* engloba al ambiente social, físico y biológico (Figura 1).

1.4 La enfermedad como sistema

El concepto de enfermedad ha ido cambiando a través del tiempo, por ejemplo, para los babilonios y hebreos la enfermedad tenía una implicación personal, relacionada con la culpa moral o prueba religiosa, en cambio para los egipcios y los griegos era considerada inherente a la condición humana pero impuestas desde afuera, sin relación con la vida del individuo. Hoy en día existen dos conceptos que definen a las enfermedades, la mágica-religiosa que considera a las enfermedades como fenómenos sobrenaturales provocados por fuerzas espirituales y la lógica-empírica que ha evolucionado a lo largo del tiempo sobre si la enfermedad era producida por causa de un único factor o si era el resultado de un conjunto de factores simultáneamente (Pickenhayn, 2009).

Una enfermedad transmisible es cualquier enfermedad causada por un agente infeccioso específico que se manifiesta por la transmisión de este agente, de un reservorio a un huésped susceptible, ya sea directamente de una persona o animal infectado, o indirectamente por medio de un huésped intermediario, de naturaleza vegetal o animal, de un vector o del medio ambiente inanimado (OPS/OMS, 2011).

1.5 Complejos patógenos y la teoría general de sistemas

Max Sorre integra la aplicación del enfoque sistémico al estudio de las enfermedades con el concepto “a la trama de relaciones que existe entre el medio, los seres vivos y el hombre, mediante relaciones más o menos intensas y duraderas” (Sorre, El Hombre en la Tierra, 1967). A partir de aquí surge la Teoría general de los sistemas de Ludwin von Bertalanffy que se basa en la lógica y en una concepción organicista de la vida (Ludwig, 1976).

Los sistemas poseen elementos, relaciones, entradas, salidas, estructuras y funciones. Sorre definió a los Complejos patógenos como complejos biológicos más o menos estables, más o menos localizados, formados por el hombre, el agente causal de la enfermedad, los vectores, todos los seres vivos y el medio, que condicionan o comprometen la existencia de la enfermedad (Sorre, 1947).

Dentro de los elementos se encuentran los agentes etiológicos, los vectores, los reservorios, el hombre y el ambiente. Las relaciones entre estos elementos son específicas, cada uno de los agentes patógenos tiene sus huéspedes específicos y cumple ciclos específicos en cada huésped. Las relaciones entre los elementos y el ambiente son importantes para la comprensión del comportamiento de los complejos patógenos (Pickenhayn, 2009).

En una comunidad a medida que aumentan las personas infectadas por un determinado parásito, aumentan las probabilidades de infección de los susceptibles no infectados. A determinado nivel de tratamiento las unidades del sistema son consideradas como un sistema en particular. Cuando se trabaja a nivel de patología a escala endémica, se pierden algunas relaciones o ciclos biológicos que son importantes para conocer cómo funciona el sistema a escala humana (Pickenhayn, 2009).

Se denomina función o salida de un sistema mayor en el que se encuentra inscripto, es decir, que tienen un objetivo o finalidad. Los sistemas tienen fronteras o límites, son aquellas líneas que separa al sistema de su entorno y que define lo que le pertenece y lo que queda fuera de él (Johannsen, 1975).

En los sistemas patógenos se pueden fijar límites en el área geográfica de la enfermedad denominados niveles de resolución, en los ciclos de transmisión en el caso de las enfermedades transmitidas por vector para analizar cómo confluyen las variables temperatura o tipo de agua o de sangre en su dinámica. Si se considera que las enfermedades son el resultado de las interacciones entre organismos que actúan bajo condiciones ambientales, espaciales y temporales específicas, entonces sólo podrán existir en aquellas regiones donde las condiciones del medio sean propicias para la existencia de todos y cada uno de los integrantes (Pickenhayn, 2009).

En el ámbito de las enfermedades transmisibles, las consecuencias de la interacción entre el huésped y el agente son extremadamente variables y es importante considerar, además de lo señalado, otras características del huésped que contribuyen a esta gran variabilidad. Entre ellas, la susceptibilidad y la resistencia son de especial relevancia (OPS/OMS, 2011).

1.6 La enfermedad del dengue

La etimología de la palabra "Dengue" no se encuentra definida de forma muy clara en la literatura, pero se cree que los esclavos provenientes de África identificaron a esta entidad patológica como *dinga* o *dyenga*, homónimo del *swahili ki denga pepo*, que significa "ataque repentino causado por un espíritu malo", esta definición se registró por primera vez en una enciclopedia médica china de la dinastía Chin (265-420 DC). Los chinos llamaron al dengue "veneno de agua" y sabían que de alguna manera estaba relacionado con los insectos voladores (Natalia E. Frassone, 2014) (Center for Disease Control and Prevention, 2006).

En la enfermedad del dengue se pueden identificar 3 fases, la fase febril, que generalmente dura de 2 a 7 días y se acompaña de síntomas leves; la fase crítica que inicia después de descender la fiebre

y en donde puede aumentar la permeabilidad capilar, lo cual marcaría su inicio, generalmente entre los días 3 a 7 de la enfermedad, el período de extravasación de plasma, clínicamente y por lo general dura de 24 a 48 horas seguido de leucopenia progresiva, así como la disminución de plaquetas, y los pacientes pueden mejorar o empeorar; la fase de recuperación es cuando el paciente sobrevive a la fase crítica (la cual no excede las 48 a 72 horas) donde de forma general el paciente mejora (OMS y TDR, 2009).

Cuando una persona se recupera de la infección por dengue adquiere inmunidad de por vida contra el serotipo en particular del cual se contagió. Sin embargo, la inmunidad cruzada a los otros serotipos es parcial y temporal. Las infecciones posteriores causadas por otros serotipos al ya adquirido con anterioridad aumentan el riesgo de padecer el dengue grave (OMS, Dengue y dengue grave, 2017).

1.7 El vector del dengue

El principal mosquito transmisor del dengue es el mosquito del género *Aedes* y especie *aegypti*, aunque también tenemos a la especie *albopictus* la cual también puede transmitir el virus del dengue. Las hembras de *A. aegypti* requieren de la sangre para poder ovipositar sus huevos uno a uno y generalmente en lugares húmedos y oscuros asegurando con ello las condiciones apropiadas para el desarrollo de sus huevos. La especie *aegypti* tiene preferencia por criaderos artificiales, es por ello que se encuentra más cerca de las casas en comparación con la especie *albopictus* quien prefiere los criaderos naturales como suelen generarse en los árboles y plantas (Icaza, 2010). Durante el ciclo de desarrollo el mosquito *A. aegypti* pasa de huevo a larva (2 a 3 días), esta etapa consta de 4 estadios (I, II, III, IV) (2 a 3 días), después pasa de larva a pupa (5 a 6 días) y de pupa a mosquito (2 a 3 días) (Rey, El dengue, 2014).

Una vez que el mosquito es infectado con el virus del dengue, el virus infecta el intestino medio del mosquito y luego se extiende hasta las glándulas salivales en un período de entre 8 y 12 días. Tras este período de incubación, el mosquito es capaz de transmitir el virus a otras personas de las cuales se alimente (OMS, El mosquito, 2017).

1.8 Factores que intervienen en la transmisión del dengue

Hay diversos factores que intervienen en la transmisión del dengue, uno de los más estudiados es la temperatura, la cual ya se ha demostrado en muchos estudios que tiene una relación directa con la abundancia del vector y por lo tanto con los casos de dengue. La temperatura también afecta a la

replicación del virus, la maduración y el período de infección (Shahera Banu, 2013). Otro factor fundamental para la proliferación del mosquito es la humedad, debido a que esta provee de un ambiente adecuado para su desarrollo. En cuanto a variables de características socio-económicas como puede ser el género, raza, edad y algunas condiciones de la vivienda, no han demostrado tener gran significancia en la incidencia de casos de fiebre por dengue, a excepción de las casas abandonadas (Nazri Che Dom, 2013). Un factor que es determinante en el desarrollo de brotes de dengue es la densidad de la población humana en una zona geográfica, entre mayor sea el número de personas es más fácil la alimentación del mosquito a partir de distintos individuos, generando con ellos la transmisión del virus (Christen, 2014). Factores como la urbanización, la falta de servicios básico y variaciones en la temperatura, humedad ambiental y precipitaciones pueden aumentar el riesgo de epidemias a nivel global ya que varios insectos y en especial el *Aedes aegypti* cambian para adaptarse a las condiciones ambientales locales (M B. M., 2022).

1.9 Estacionalidad y zona endémica del dengue

El dengue es una enfermedad que muestra un comportamiento estacional, esto debido a la influencia que tiene la humedad en la proliferación del mosquito. Es por ello que, después del inicio de la época de lluvias, siempre inicia el incremento de casos por esta enfermedad.

A partir de 1995 al mosquito transmisor del dengue se le consideró que podía desarrollarse dentro de los límites 35° de latitud norte y 35° de latitud sur, es decir, dentro de la isoterma de verano de 10°C como se muestra en la Figura 2. Desde entonces se consideraba que el vector podía ser encontrado en áreas geográficas con una temperatura media anual mayor a los 16.9°C y que aparentemente no rebasaba los 1000 msnm, situación que con el tiempo ha ido cambiando (Sergio Ibañez-Bernal, 1995)

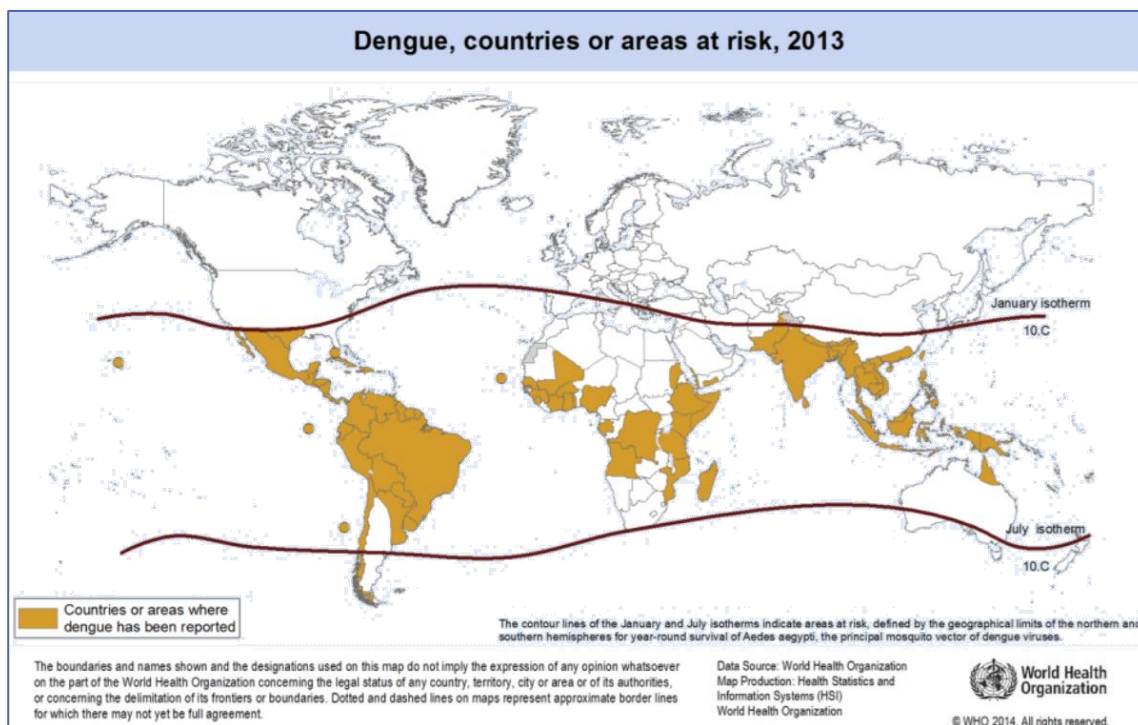


Fig. 2 Países y áreas de riesgo por dengue al 2013.

Fuente: OMS (WHO, 2014).

Como vemos en la Figura 2 el territorio mexicano está inmerso dentro de esta área adecuada para el desarrollo del vector, dadas las condiciones ambientales con que se cuenta.

1.10 Geomática y Sistemas de información geográfica en geografía de la salud

La Geomática se define como la integración sistemática de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis, presentación y distribución de información geográficamente referenciada (Raúl Aguirre Gómez, 2009). Dentro de la Geomática se encuentra la percepción remota o teledetección que se define como la ciencia o arte de adquirir información de un objeto, sin estar en contacto con él para lo cual se requiere de una fuente de radiación, una trayectoria o medio de transmisión, objetivo o blanco y un sensor (Raúl Aguirre Gómez, 2009). Esto permitirá procesar imágenes satelitales para la generación de variables detalladas para cada región.

La Geomática hace uso de los sistemas de información geográfica para procesar datos o atributos asociados a unidades de análisis espacial (Romero, 2009). La Geografía como ciencia ha generado metodologías y técnicas que brindaron sustento al desarrollo de las tecnologías de la información geográfica y son utilizadas para la resolución de problemas de naturaleza socio-espacial en el marco de una ciencia aplicada y que componen el ámbito de la Geoinformática. Las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Geografía de la Salud combinan teoría, metodología

y técnica en la búsqueda del conocimiento de las lógicas espaciales para apuntar al más eficiente accionar en cuanto a la investigación, gestión y planificación en el ámbito espacial de la salud. La tecnología de SIG en la Geografía de la salud se basa en 5 conceptos espaciales: Localización, Distribución, Asociación, Interacción y Evolución (Pickenhayn, 2009).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta con múltiples funcionalidades de visualización de información que permiten el estudio y análisis desde un nuevo enfoque. En el área de la geografía médica o geografía de la salud los SIG cada vez son más utilizados para la explotación de información para la toma de decisiones (Pickenhayn, 2009).

Dado que esta investigación se ubica en el área del conocimiento de la Geomática como parte de la Geografía, se utilizarán distintas técnicas con la finalidad de aprovechar al máximo las herramientas con que se cuentan, para aportar en la medida de lo posible a resolver el problema de estudio.

1.11 El análisis espacial

El análisis espacial es una herramienta muy útil en múltiples áreas y la salud pública no es la excepción. Existen muchos tipos de análisis espaciales entre los que podemos encontrar el proceso analítico jerárquico (AHP), que es una metodología de análisis multicriterio desarrollada a fines de la década del 70 por el doctor en matemáticas Thomas L. Saaty. La metodología de evaluación multicriterio (EMC) estandariza procedimientos a través de la superposición cuantitativa de mapas (OPS/OMS, 2011). Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente, los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad (Juan Francisco Pacheco, 2008). Esta técnica podría dar un nuevo enfoque al problema de salud pública que representa el dengue con la finalidad de apoyar a los encargados del control del vector en la identificación de áreas de riesgo para la programación de las acciones de control.

1.12 Antecedentes de la investigación

Se han realizado múltiples estudios para determinar las características que influyen en la propagación del mosquito y por lo tanto de la enfermedad, dentro de estos estudios se han determinado las condiciones adecuadas para la proliferación del mosquito. Uno de ellos es el realizado en Europa para cuantificar el riesgo de dengue a través de bases de datos de dengue globales, datos satelitales de sensores remotos (MODIS) para la estimación de la temperatura de

superficie de suelo, datos meteorológicos interpolados, el nivel digital de elevación para obtener mapas de distribución de dos especies del vector *Aedes* en donde se incluyó la densidad de población como potenciales variables predictivas (J. Rogers, E. Suk, & C. Semenza, 2013). Otro estudio fue realizado en Puerto Iguazú, Argentina, la investigación tiene el objetivo de utilizar información ambiental (tipo de suelo, vegetación, agua, etc.) derivada de imágenes satelitales de alta resolución espacial Spot 5 HRG1 e información registrada del total de focos detectados y tomando muestras de larvas y pupas del 20% de las manzanas de la ciudad, para la creación de productos de vigilancia epidemiológica del dengue en la ciudad a través de mapas predictivos de densidad focal de *Aedes aegypti* (Camilo H. Rotela, 2010).

Se han realizado estudios modelando el riesgo de fiebre por dengue basado en parámetros socioeconómicos y grupos de edad realizado en Arabia Saudita, donde se utilizó información de sensores remotos para determinar parámetros como la densidad de casas por localidad, el ancho de las calles y el área de los techos de las casas (Hassan M. Khormi, 2011). También se realizó un análisis espacial descriptivo en Malasia donde se muestra que la distribución de Fiebre por dengue es normalmente distribuido en áreas urbanas, se analizaron variables de características epidemiológicas como género y edad, variables del medio ambiente relacionadas con las condiciones de las viviendas y variables entomológicas del mosquito *Aedes aegypti* como la identificación de criaderos (Nazri Che Dom, 2013). Se han realizados múltiples estudios espaciales-temporales para analizar la distribución y temporalidad del dengue en distintos países, uno de ellos es el realizado en Argentina donde se analizaron patrones epidemiológicos espacio-temporales que permitieron estudiar un brote de dengue y como se fue dispersando en el tiempo y espacio (Rotela, 2012).

Como ya ha sido probado en diversas investigaciones, el dengue es una enfermedad que está relacionada con la época de lluvias, se puede decir que es estacional y como consecuencia de las lluvias, prevalece la existencia de contenedores de agua los cuales se convierten en reservorios adecuados para el desarrollo del mosquito. Sin embargo, hay muchos otros aspectos a considerar en la proliferación del mosquito como lo es el cambio que ha sufrido para su adaptación a los cambios ambientales, cambios que con el tiempo van permitiendo que el mosquito encuentre más territorio para su reproducción.

Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo la aplicación de herramientas y técnicas que se encuentran dentro del campo de la Geomática para realizar un análisis espacial multicriterio, con

información entomológica, epidemiológica (casos probables y casos confirmados por dengue) del periodo 2010 al 2020, así como información ambiental (temperatura, agua y vegetación) del periodo 2013 al 2020 y datos socioeconómicos (hacinamiento y densidad de población) del 2020, para detectar áreas potenciales de riesgo de transmisión por dengue de forma sistematizada a nivel microrregión en dos municipios con alta incidencia de dengue.

Capítulo 2 Caracterización de las áreas de estudio y metodología

En este capítulo se realiza la caracterización del área de estudio. Se señalan las fuentes de información y las variables que fueron utilizadas para este estudio. Además, se presenta el proceso realizado para la obtención de las capas de datos espacio-temporales y espaciales. También se encuentra la metodología utilizada para la generación de cada una de las variables de estudio para la aplicación del análisis estadístico y del análisis espacial.

2.1 Caracterización del área de estudio y temporalidad

El dengue en México se presenta en su mayoría en las vertientes del Golfo de México y el Pacífico, para este estudio se tomaron dos municipios que se encuentran en cada una de estas vertientes. Para este trabajo se analizó información del periodo de años del 2010 al 2020. De acuerdo con los datos reportados por la DGE, el municipio de Culiacán de Sinaloa y el municipio Centro de Tabasco son dos municipios con alta incidencia de dengue es por ello por lo que se decidió estudiar el comportamiento de distintas variables que influyen en la incidencia de casos de dengue.

En la figura 3 se puede ver que el municipio Culiacán, Sinaloa es el que tiene mayor número de casos de dengue con un 36.1% de casos probables y confirmados dentro del estado, con esto se puede observar que este municipio es representativo del estado (DGE, 2020).

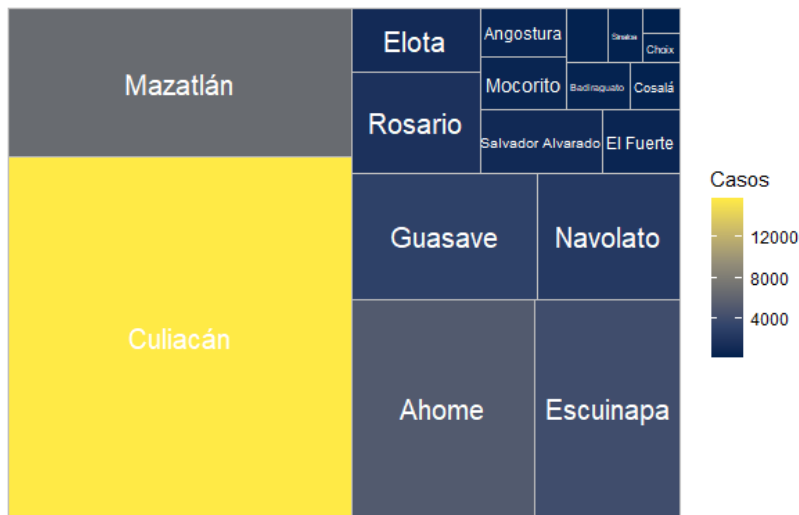


Fig. 3 Casos probables y confirmados por dengue del municipio Culiacán, Sinaloa, 2010-2020.

Fuente: SINAVE-DGE

Para el estado de Sinaloa de acuerdo con lo reportado por la DGE los serotipos circundantes del año 2014 al 2020 son los serotipos 1, 2 y 3, aunque a partir del año 2015 solo se han presentado los serotipos 1 y 2. Al comparar esto con los casos probables y confirmados reportados no se observa ningún patrón asociado con la circulación de los serotipos.

Año	Sinaloa	
	Serotipo DENV	Casos reportados
2014	1,2,3	3,696
2015	1,2	1,978
2016	1	2,417
2017	1,2	866
2018	1,2	1,972
2019	1,2	487
2020	1,2	387

*Antes del año 2014 no se encontró información.

Tabla 1 Serotipos circundantes en el estado de Sinaloa del 2014 al 2020.

Fuente: Panorama epidemiológico de dengue y SINAVE, DGE, 2014-2020.

El municipio Culiacán se ubica entre los paralelos 24° 02' y 25° 17' de latitud norte; los meridianos 106° 52' y 107° 50' de longitud oeste; y con una altitud entre 0 y 1,800 m (INEGI, 2010) (Figura 4). Tiene una población de 1,003,530 habitantes de los cuales 48.93% son hombres y 51.07% de mujeres (INEGI, 2020).

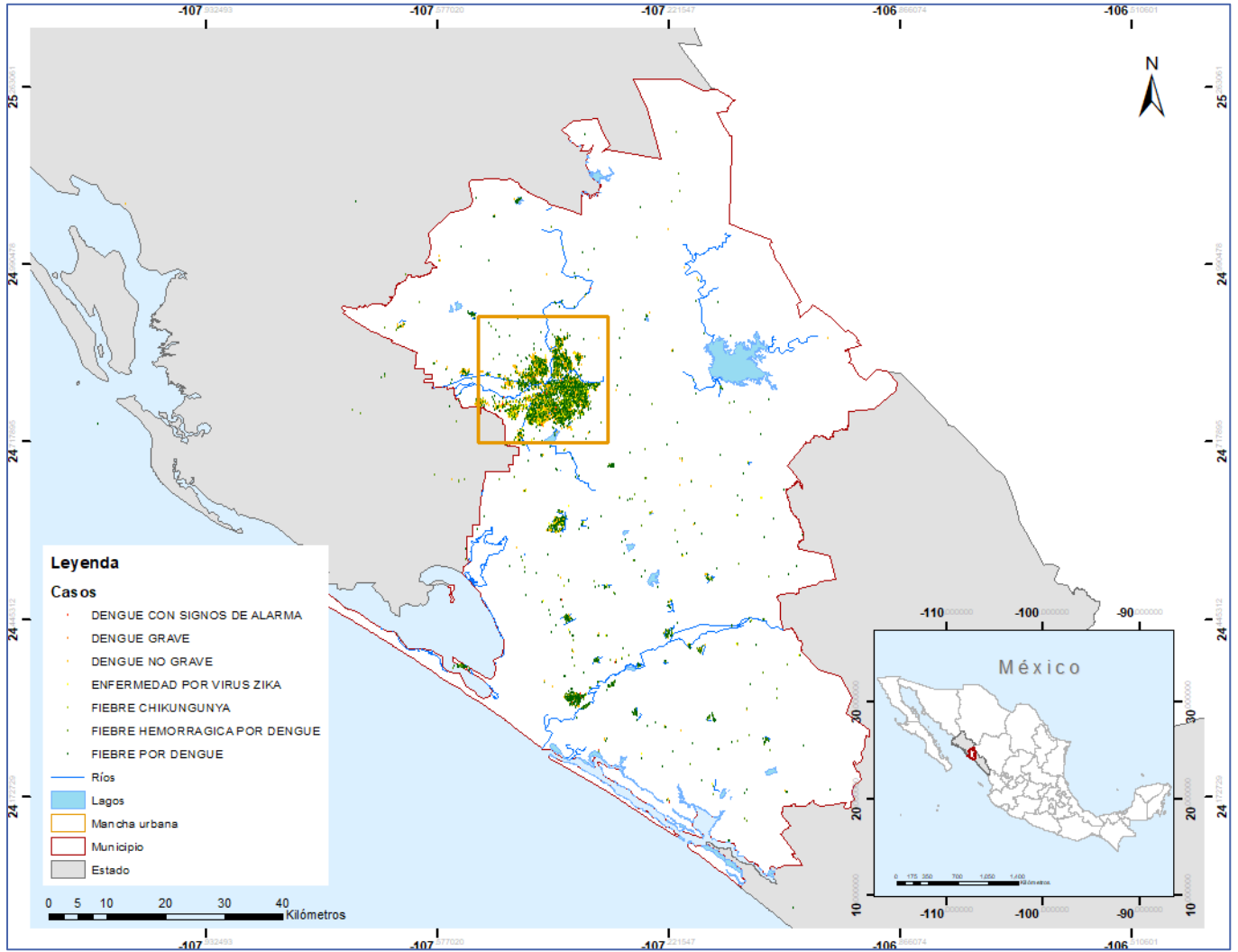


Fig. 4 Municipio Culiacán, Sinaloa
Fuente: INEGI 2020.

Culiacán cuenta con un clima seco muy cálido y cálido (37.40%), semi-seco muy cálido y cálido (31.96%), cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (27.98%), cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (1.49%), semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (1.13%) y semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (0.04%), con una temperatura de 18 a 26°C y un rango de precipitación de 400-1,200 mm. (INEGI, 2010) (Figura 5).

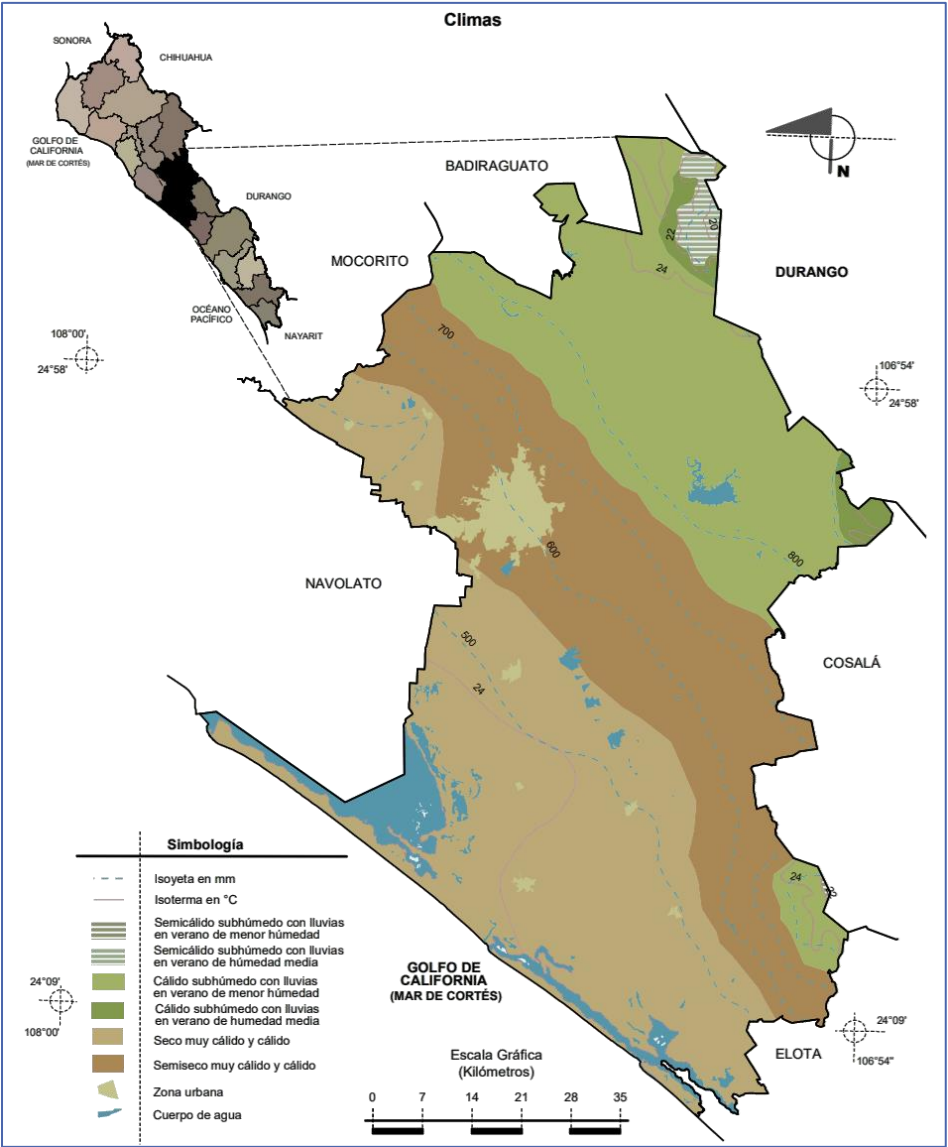


Fig. 5 Compendio de información geográfica municipal, Culiacán, Sinaloa. Fuente: INEGI 2010.

En la figura 6 se puede ver que el municipio Centro, Tabasco es el que tiene mayor número de casos reportados, 37.2% de casos probables y confirmados del total de casos del estado.



Fig. 6 Casos probables y confirmados por dengue del municipio Centro, Tabasco, 2010-2020.

Fuente: SINAVE-DGE

Para el estado de Tabasco de acuerdo con lo reportado por la DGE los serotipos circundantes del periodo 2014 al 2020 son el 1, 2, 3 y 4. En este estado se observa mayor relación en la aparición de los serotipos y los casos probables y confirmados reportados. Esta información es estatal, no se cuenta con información más detallada para cada municipio y mucho menos para cada AGEB (Tabla2).

Año	Tabasco	
	Serotipo DENV	Casos reportados
2014	1,2,3	612
2015	1,2,3,4	3,323
2016	1,2,3	4,386
2017	1,2	360
2018	1,2	513
2019	1,2,3	2,594
2020	1,2,3,4	1,217

*Antes del año 2014 no se encontró información.

Tabla 2 Serotipos circundantes en el estado de Tabasco del 2014 al 2020.

Fuente: Panorama epidemiológico de dengue y SINAVE, DGE, 2014-2020.

El municipio Centro se ubica entre los paralelos 17°42' y 18°21' de latitud norte; los meridianos 92°34' y 93°16' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m y con una altitud entre 0 y 100 metros (INEGI, Compendio de información geográfica municipal 2010 Centro Tabasco, 2010) (Figura 7). Tiene una población de 683,607 habitantes de los cuales el 48.29% son hombres y el 51.71% son mujeres (INEGI, 2020).

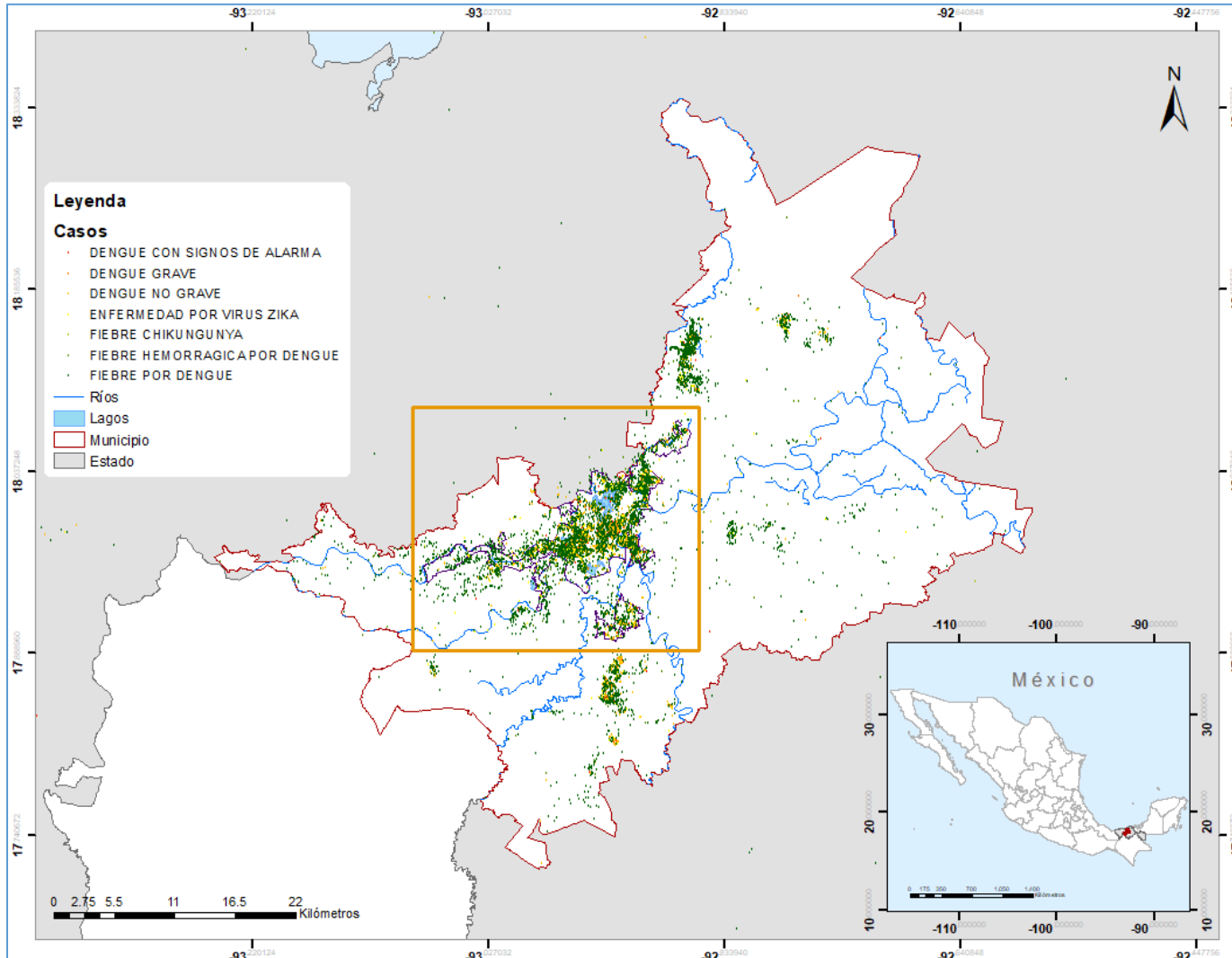


Fig. 7 Municipio Centro de Tabasco

Fuente: INEGI 2020.

El municipio Centro cuenta con un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (93.13%) y cálido húmedo con lluvias todo el año (6.87%), con una temperatura entre 24 a 28°C y un rango de precipitación de 400-1 200 mm (INEGI, Compendio de información geográfica municipal 2010 Centro Tabasco, 2010) (Figura 8)

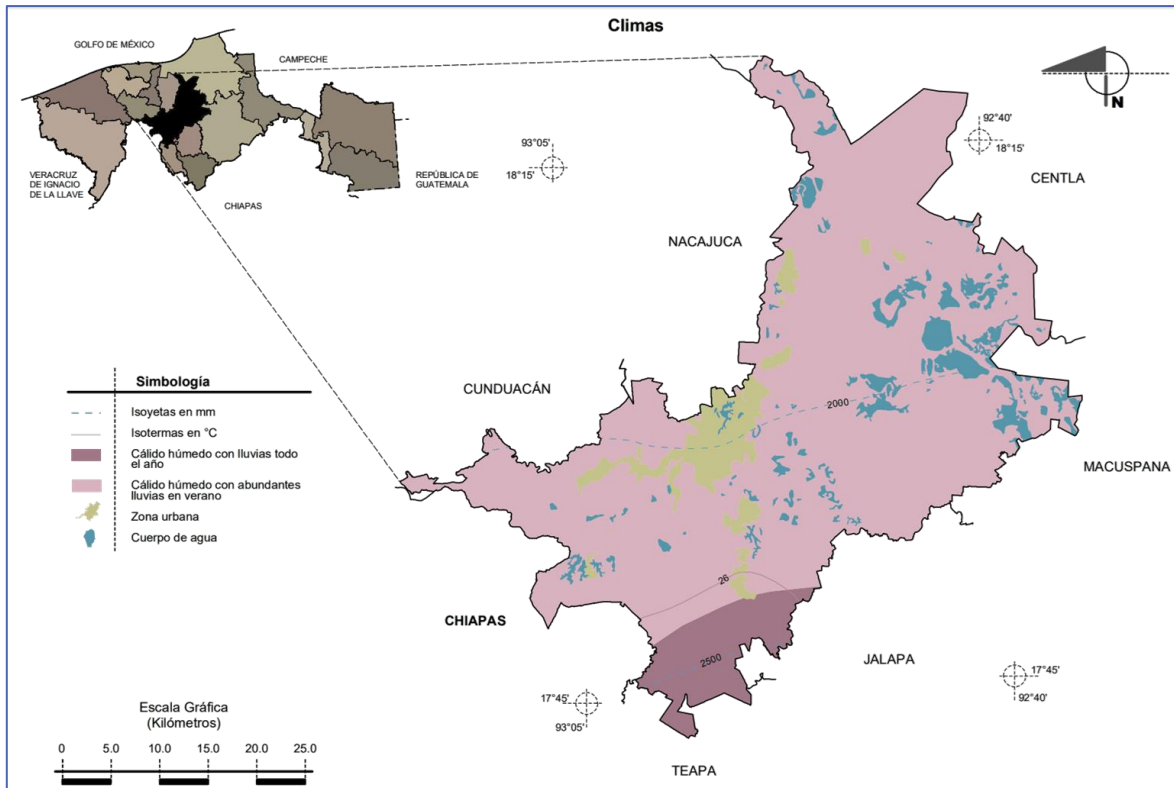


Fig. 8 Compendio de información geográfica municipal, Centro, Tabasco.

Fuente: INEGI 2010.

2.2 Metodología de la investigación

2.2.1 Fuentes de información

- Se utilizó información de imágenes satelitales Landsat 8 OLI-TIRS de la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) del periodo 2013-2020.
- Datos estadísticos de condiciones de la vivienda del Censo de Población y Vivienda 2010 y 2020 del INEGI.
- Modelo digital de elevación del INEGI 2010.
- Datos entomológicos de ovitrampas del SIMV que utiliza el CENAPRECE para la vigilancia y control de los vectores del periodo de 2010-2020.
- Casos por dengue del SINAVE que regula la DGE del periodo de 2010-2020.

2.2.2 Variables de estudio

- Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST por sus siglas en inglés).
- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés).
- Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI por sus siglas en inglés).
- Altitud.
- Porcentaje de viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento.
- Densidad de población.
- Densidad de huevos por ovitrampa positiva.
- Casos probables y confirmados por dengue.

Las variables de estudios se dividieron en variables espacio-temporales y variables espaciales. Como variables espacio-temporales se tiene el LST, NDVI, NDMI, huevos por ovitrampa positiva y casos probables y confirmados por dengue, esto debido a que se cuenta con datos del periodo del 2010 al 2020. Las variables espaciales son la Altitud, porcentaje de viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento y la densidad de población, esto debido a que solo se tiene una sola medición de todo el periodo.

En la figura 9 se muestra el proceso del manejo de datos para la generación de las capas espaciales utilizadas para la identificación de áreas de riesgo.

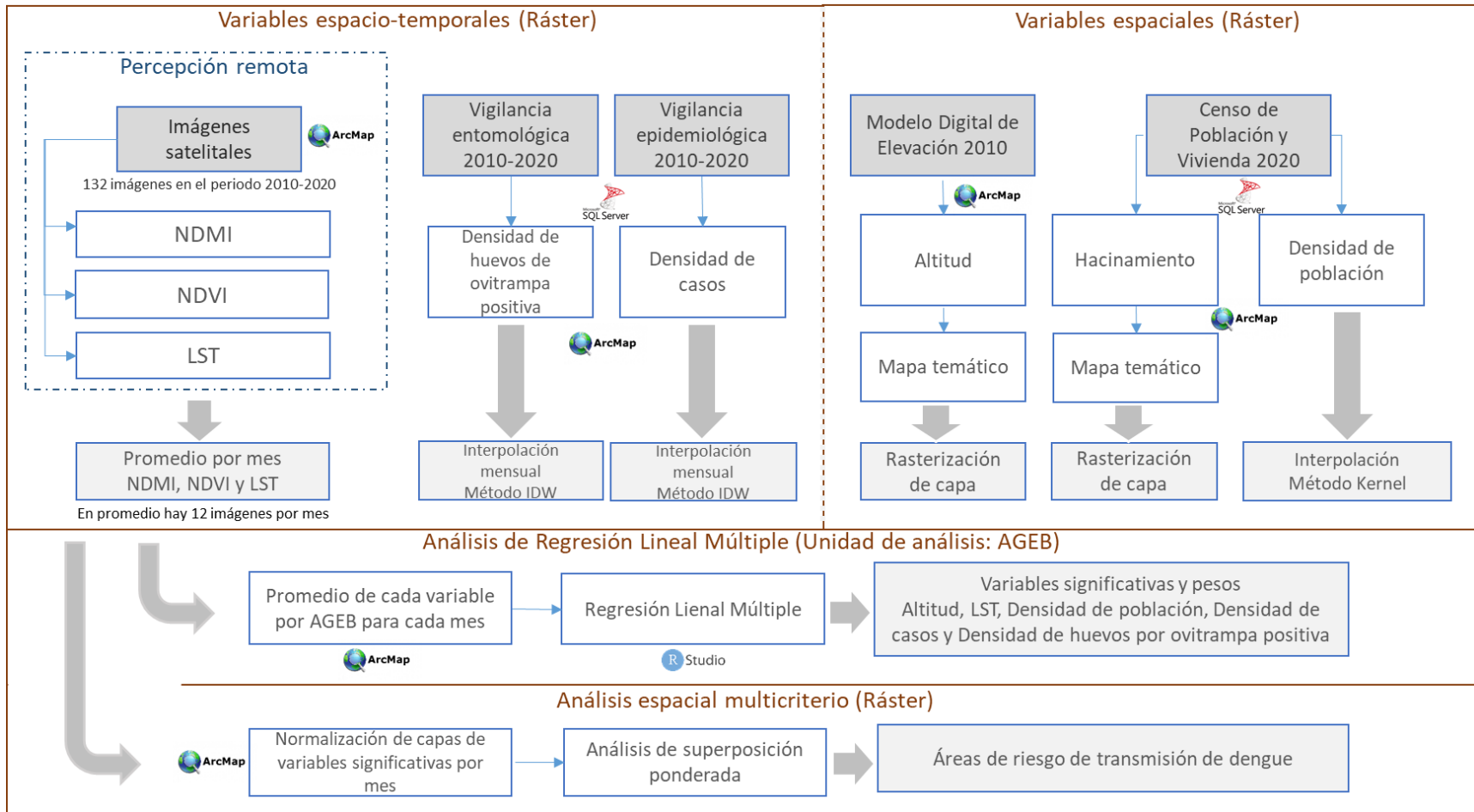


Fig. 9 Diagrama del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Técnicas de recolección y análisis de la información

- Se procesaron imágenes satelitales del área de estudio que fueron procesadas para obtener el LST, NDVI y NDMI a través del software ArcGIS Desktop 10.6.1.
- Se generaron capas espaciales de datos a través de mapas temáticos de Altitud, Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento en el software ArcGIS Desktop 10.6.1.
- Se generaron capas espaciales de densidad de población, densidad de huevos por ovitrampa positiva y densidad de casos probables a través de métodos de interpolación en el software ArcGIS Desktop 10.6.1.
- Se procesó información a través del manejador de base de datos SQL Server 2019 para generar datos tabulados de información entomológica y epidemiológica por mes del periodo de estudio.
- Se generaron capas espaciales de las variables de interés en formato ráster en el software ArcGIS Desktop 10.6.1.
- El análisis estadístico se realizó de forma anual por Área Geo Estadística Básica (AGEB) en IBM SPSS Statistics versión 20 y en RStudio versión 2022.07.1.
- El análisis espacial para la obtención de áreas de riesgo se realizó de forma mensual en ArcGIS Desktop 10.6.1.

2.3 Variables espacio-temporales

Para cada imagen satelital se generó el LST, NDVI y NDMI, después de obtener estas variables se calculó el promedio mensual de todas las imágenes del periodo de estudio a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{x}Var_i = \frac{\sum_{j=1}^n Var_{ij}}{n} \quad (1)$$

Donde *Var* es la imagen procesada del LST, NDVI o NDMI, *i* es el mes (1-12) y *n* es el número de imágenes obtenidas en el mes del periodo de estudio.

Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8 que cuenta con dos sensores; el primero es el generador de imágenes terrestres operacionales (OLI por sus siglas en inglés) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS por sus siglas en inglés). A continuación, se muestra a detalle la información de las bandas del sensor OLI.

Banda	Descripción	Longitud de onda	Resolución
1	Aerosol costero	0.43 - 0.45 μm	30 m
2	Azul	0.45 - 0.51 μm	30 m
3	Verde	0.53 - 0.59 μm	30 m
4	Rojo	0.64 - 0.67 μm	30 m
5	Infra-Rojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88 μm	30 m
6	Infra-Rojo de Onda Corta 1 (SWIR1)	1.57 - 1.65 μm	30 m
7	Infra-Rojo de Onda Corta 2 (SWIR2)	2.11 - 2.29 μm	30 m
8	Pancromática (PAN)	0.50 - 0.68 μm	15 m
9	Cirrus	1.36 - 1.38 μm	30 m

Tabla 3 Rangos espectrales de las bandas del sensor OLI.

Fuente: (USGS y NASA, 2022).

Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelve a re-muestrear a 30 metros. A continuación, se muestra a detalle la información de las bandas del TIRS (Ariza, 2013).

Banda	Descripción	Longitud de onda	Resolución
10	Sensor Infra Rojo Térmico 1 (TIRS 1)	10.6 - 11.19 μm	100 m
11	Sensor Infra Rojo Térmico 2 (TIRS 2)	11.5 - 12.51 μm	100 m

Tabla 4 Rangos espectrales de las bandas del TIRS.

Fuente: (USGS y NASA, 2022).

Para las capas que resultaron de las imágenes satelitales fueron procesadas 1,209 bandas de un total de 206 imágenes distribuidas de la siguiente forma:

Mes	Bandas	
	Culiacán	Centro
Enero	80	30
Febrero	56	42
Marzo	89	24
Abril	88	36
Mayo	80	42
Junio	64	42
Julio	24	42
Agosto	48	48
Septiembre	32	24
Octubre	104	30
Noviembre	80	24
Diciembre	56	24
Total	801	408

Tabla 5 Total de imágenes satelitales del sensor Landsat 8 OLI-TIRS

Como se puede observar para el municipio Centro de Tabasco hay la mitad de imágenes que las que se tienen para Culiacán Sinaloa, esto derivado de la cantidad de nubes que hay en todo el año para esta región.

2.3.1 Temperatura de superficie de la tierra (TLS)

Para calcular el LST se utilizó el método denominado Ventana Dividida (SW por sus siglas en inglés) desarrollo por Jiménez-Muñoz y Sobrino, la fórmula es la siguiente:

$$LST = TB_{10} + C_1 (TB_{10} - TB_{11}) + C_2 (TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 (C_3 + C_4 W) (1 - \epsilon) + (C_5 + C_6 W) \Delta \epsilon \quad (2)$$

Donde:

LST = Land Surface Temperature en grados Kelvin (K).

C₀ to C₆ = Valores del coeficiente para SW.

Constante	Valor
C ₀	-0.268
C ₁	1.378
C ₂	0.183
C ₃	54.300
C ₄	-2.238
C ₅	-129.200
C ₆	16.400

Tabla 6 Coeficientes para SW.

Fuente: (Juan C. Jiménez-Muñoz, 2014).

TB₁₀ y TB₁₁ = Temperatura de brillo de la banda 10 y 11 (K).

ε = Valor medio de la Emisividad de la Superficie de la Tierra (LSE por sus siglas en inglés) de las bandas del sensor TIRS.

W = Contenido de vapor de agua en la atmósfera.

Δ ε = Diferencia en LSE.

Para utilizar este método es necesario realizar la conversión a reflectancia en el techo de la atmósfera (TOA por sus siglas en inglés) para después obtener la temperatura de brillo del satélite para las bandas 10 y 11.

La conversión a reflectancia en el TOA se calcula con la siguiente formula:

$$P\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

Donde:

Pλ = Es el valor de radiancia espectral del TOA medida en valores de (Watts /m² * srad * μm)

M_L = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda).

A_L = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Q_{cal} = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Para realizar la conversión a temperatura de brillo en el satélite se requiere de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Donde:

T = Temperatura de brillo aparente en grados kelvin (K)

Lλ = Corresponde a la reflectancia en el techo de la atmosfera TOA (Watts/(m2 * srad* μm)).

K1 = Es la constante de conversión K1 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato (K1_CONSTANT_BAND_x, donde x es el número de la banda, 10 u 11).

K2 = Es la constante de conversión K2 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato (K2_CONSTANT_BAND_x, donde x es el número de la banda, 10 u 11).

La corrección de las imágenes satelitales de las bandas Roja e Infrarroja, tiene la finalidad de corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera. Se puede utilizar el método Dark Substract ya que es uno de los más sencillos. La corrección se aplica asumiendo un porcentaje de reflectancia del 1% en áreas oscuras (Chávez, 1977).

Una vez corregidas las imágenes se debe realizar el cálculo del NDVI a partir de la siguiente fórmula:

$$NDVI = \left(\frac{NIR - R}{NIR + R}\right) \quad (5)$$

Donde:

IR = Valores de píxel de la banda infra roja (IR por sus siglas en inglés) (Rouse, 1973).

R = Valores de píxel de la banda roja (R)

La Cobertura Vegetal Fraccionaria (FVC por sus siglas en inglés) es un índice que permite estimar la fracción de superficie ocupada por vegetación, y se obtiene a partir del NDVI. Este índice es necesario para hallar los valores de Emisividad de la Superficie de la Tierra (LSE por sus siglas en inglés).

$$Pv = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right] \quad (6)$$

Donde:

NDVI_{max} = Vegetación densa.

NDVI_{min} = Suelo desnudo.

La LSE se calcula con la siguiente fórmula y tomando en cuenta los valores para la emisividad del suelo y la vegetación de cada banda:

$$LSE = \varepsilon_s * (1 - FVC) + \varepsilon_v * FVC \quad (7)$$

Emisividad	Banda 10	Banda 11
Suelo	0.971	0.977
Vegetación	0.987	0.989

Tabla 7 Emisividad para las bandas 10 y 11 del TIRS

La última parte corresponde a la aplicación del algoritmo SW. Para ello es necesario calcular lo siguiente:

ε = El valor medio de la LSE, con la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \quad (8)$$

$\Delta \varepsilon$ = La diferencia de la LSE, con la siguiente fórmula:

$$\Delta \varepsilon = LSE_{10} - LSE_{11} \quad (9)$$

Finalmente se convierte de grados Kelvin a grados centígrados con la siguiente fórmula:

$$0 \text{ Kelvin} = -273.15 \text{ Celsius} \quad (10)$$

2.3.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calculó junto con la LST de acuerdo a la fórmula 5.

Para representar las áreas verdes de la zona urbana el NDVI se clasificó tomando el rango de 0.35 a 0.75, esto de acuerdo a lo reportado en otros estudios (Nova Vázquez, 2018).

2.3.3 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI)

El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada se calculó con la siguiente fórmula:

$$NDMI = \left(\frac{(NIR - SWIR 1)}{(NIR + SWIR 1)} \right) \quad (11)$$

Donde:

NIR = Valores de píxel de la banda infra roja cercano (NIR por sus siglas en inglés) (Vermote, 2016).

SWIR 1 = Valores de píxel de la banda infra roja de onda corta 1 (SWIR por sus siglas en inglés).

Para la generación de las capas espaciales del cálculo de la LST, NDVI y NDMI se generó un modelo en Molder builder de ArcGIS.

2.3.4 Densidad de huevos por ovitrampa positiva

Se creó una capa de densidad de ovitrampas positivas medida por la densidad de huevos de *Aedes aegypti* interpolada para cada mes del promedio de huevos de un total de 2,501 y 6,918 ovitrampas del periodo de estudio para Culiacán y Centro respectivamente. Esto se realizó a través del método de análisis espacial de interpolación denominado Ponderación de Distancia Inversa (IDW). Este método determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra (AcrGIS, 2022).

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_i^P} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^P} \right)} \quad (12)$$

Donde:

z_i corresponde a los valores que se conocen, n corresponde a la cantidad de valores que entraron en el radio de búsqueda establecido.

d_i^P corresponde a la distancia entre cada punto y el sitio de interés y P corresponde a la potencia.

2.3.5 Densidad de casos de dengue

Se creó una capa de densidad de casos probables interpolada de los casos probables georeferenciados para cada mes del periodo de estudio de un total de 10,450 y 14,168 casos notificados para Culiacán y Centro respectivamente. Esto se realizó a través del método de análisis espacial denominado IDW.

2.4 Variables espaciales

2.4.1 Altitud

La altitud se generó a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), este modelo es una representación visual y matemática de los valores de altura, a nivel de píxel, con respecto al nivel medio del mar (INEGI, Modelos digitales de elevación. Generalidades y especificaciones, 1999).

2.4.2 Densidad de población

La densidad de población se obtuvo a través del método de análisis espacial Densidad Kernel, como resultado se obtiene la densidad de población por kilómetro cuadrado. Se calcula una magnitud por unidad de área desde una capa espacial de puntos generando una superficie suave para cada punto (ArcGIS, 2022).

$$Density = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{3}{\pi} \cdot pop_i \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right)^2 \right] \quad (13)$$

For $dist_i < radius$

Donde:

$i = 1, \dots, n$ son los puntos de entrada. Solo debe incluir puntos en la suma si están dentro de la distancia de radio de la ubicación (x, y) .

pop_i es el valor de campo de población del punto i , que es un parámetro opcional.

$dist_i$ es la distancia entre el punto i y la ubicación (x, y) .

2.4.3 Porcentaje de viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento.

Se generó una capa espacial del porcentaje de viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento por AGEb, este es el máximo nivel de agregación que existe (INEGI, Metodología de indicadores de la serie histórica censal, 2017). El hacinamiento se define por el porcentaje de viviendas que cuenten con 2.5 o más personas por dormitorio (INEGI, 2017).

2.5 Análisis estadístico

Se utilizó la técnica de regresión lineal múltiple para analizar una asociación matemática, a través de una ecuación generalmente lineal, entre el valor de una variable dependiente y el valor de una o más variables independientes (Daniel, 2005). El análisis de regresión múltiple inspeccionó la influencia en la variable respuesta o dependiente, correspondiente a número de casos probables para detectar áreas de transmisión de dengue, a través de las siguientes variables:

2.5.1 Variables espacio-temporales

- Temperatura de superficie de la tierra.
- Índice de humedad de diferencia normalizada.
- Índice de vegetación de diferencia normalizada.
- Densidad de huevos por ovitrampa positiva.
- Densidad de casos probables.

2.5.2 Variables espaciales

- Altitud.
- Promedio de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento.
- Densidad de población por km^2 .

Para el análisis estadístico la información de todas las variables se reportó por AGEb.

De manera general, el análisis de regresión lineal múltiple se refiere a la extensión de un modelo de regresión lineal simple con más de una variable independiente, al determinar en un hiperplano de regresión el comportamiento de la variable Y a partir de una combinación óptima de variables predictoras o independientes referentes a X_1, \dots, X_n .

Existen diferentes aspectos a considerar en un modelo de regresión lineal múltiple, tales como: a) Ecuación de regresión, b) Validez y ajuste del modelo y c) Análisis de los supuestos.

La ecuación de regresión general se representa por:

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_n X_n + E_i \quad (14)$$

Donde:

B_0 es el intercepto.

B_i representan los coeficientes parciales de regresión para cada variable independiente. Es decir, se interpretan como el cambio que se genera en la variable dependiente Y , por cada unidad que varíe una predictora B_i , con el resto de las predictoras constantes.

La estimación de los parámetros de regresión se lleva a cabo tal que la suma de los cuadrados de los errores o residuos, es mínima y optimiza la predicción (Landerero & González, 2006).

Para el cálculo de la población en áreas de riesgo de transmisión de dengue se generó un modelo en Model Builder de ArcGIS.

2.6 Análisis espacial

Se realizó un análisis espacial multicriterio mensual a través del proceso analítico jerárquico (AHP), este método comprende un conjunto de técnicas que permiten evaluar diversas alternativas de elección a la luz de múltiples criterios (variables de estudio) y prioridades (pesos) (Coord, 2009). Desde el punto de vista espacial, las alternativas son unidades de observación o porciones del territorio que se evalúan con base en sus características geográficas. Este método utiliza la combinación lineal ponderada (Raúl Aguirre Gómez, 2009).

El AHP utiliza matrices de comparación pareadas usando una escala fundamental. La escala va del 1 al 9 (Tabla 8).

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es tan importante como el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente el criterio A sobre el B
5	Gran importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Muy grande importancia	El criterio A es mucho más importante que el criterio B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda.
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando sea necesario aclarar	

Tabla 8 Tabla de Saaty.

Esta matriz cumple con las propiedades de reciprocidad, homogeneidad y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada) (Saaty, 1980).

La consistencia se obtiene mediante el índice de consistencia (*CI*).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

Donde:

λ_{max} es el máximo autovalor.

n es la dimensión de la matriz de decisión.

El índice de consistencia aleatorio (*RCI*) se calcula con la siguiente fórmula:

$$RCI = \frac{1.98 * (n - 2)}{n} \quad (16)$$

Donde:

n es la dimensión de la matriz de decisión.

Una vez obtenido el índice de consistencia y el índice de consistencia aleatorio, se obtiene la proporción de consistencia (*CR*) con la siguiente fórmula.

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad (17)$$

El *CR* es aceptado siempre que no supere los valores de la tabla 9.

Tamaño de la matriz (n)	Tasa de consistencia
3	5%
4	9%
>= 5	10%

Tabla 9 Tabla de consistencia.

Una vez verificada la consistencia, se obtienen los pesos, que representan la importancia relativa de cada criterio o las prioridades de las diferentes alternativas respecto a un determinado criterio. Para

ello, es necesario normalizar los criterios para utilizar el método de los autovalores, donde hay que resolver la siguiente ecuación:

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w \quad (18)$$

Donde:

A representa la matriz de comparación.

w es el autovector o vector de preferencia.

λ_{max} es el autovalor (Piqueras, 2023).

Para concluir con el AHP se aplica la siguiente ecuación:

$$Y = C_1 * X_1 + C_2 * X_2 + C_3 * \dots + C_n * X_n \quad (19)$$

Donde:

Y es la variable dependiente.

C_n son los coeficientes o pesos.

X_n son las variables independientes.

2.7 Limitaciones del estudio

En este estudio no se evaluó el impacto de las acciones del programa de control del dengue. Por lo tanto, esto pudiera reducir el registro de casos por dengue en un determinado momento.

Otro aspecto que es importante mencionar es que no se tomó en cuenta para este estudio los serotipos circundantes, esto debido a que no se contaba con información detallada de esto además de que no hay información de todos los años que cubren el estudio. Sin embargo, es importante resaltar la importancia de la circulación de los distintos serotipos para la incidencia del dengue en cualquier área de estudio.

Capítulo 3 Determinación de áreas de riesgo de transmisión

En este capítulo se presentan los resultados de cada variable espacio-temporal y espacial utilizadas en este estudio mediante gráficas y mapas. También se muestran los resultados del análisis estadístico donde se definieron las variables significativas de cada área de estudio, así como el análisis espacial dada la combinación de las variables de estudio para cada municipio. Finalmente se presentan los mapas de las áreas de riesgo de transmisión de dengue de cada municipio, así como la discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones de la investigación realizada.

3.1 Variables espacio-temporales

Se obtuvieron 12 imágenes ráster para cada variable (LST, NDVI y NDMI), 36 imágenes en total para cada municipio de estudio (Culiacán y Centro). En promedio se procesaron 12 imágenes de cada variable por mes de los 8 años que comprende el periodo de estudio.

Se obtuvieron 12 imágenes ráster para la variable Densidad de huevos por ovitrampa positiva y Densidad de casos, 24 imágenes en total para cada municipio.

3.1.1 Temperatura de Superficie de la Tierra (LST)

3.1.1.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán en la Figura 10 se puede observar que el rango de la media del LST oscila entre 28 y 49°C a lo largo del año, enero es el mes con la media de temperatura más baja, mientras que junio es el mes con la temperatura media más elevada. Se puede apreciar una tendencia de incremento continuo durante el primer semestre de 28 a 49°C, mientras que en el segundo semestre se presenta un descenso escalonado, con una marcada estacionalidad entre los meses de agosto, septiembre y octubre alrededor de los 40°C, posteriormente hay un descenso en noviembre que concluye en diciembre.

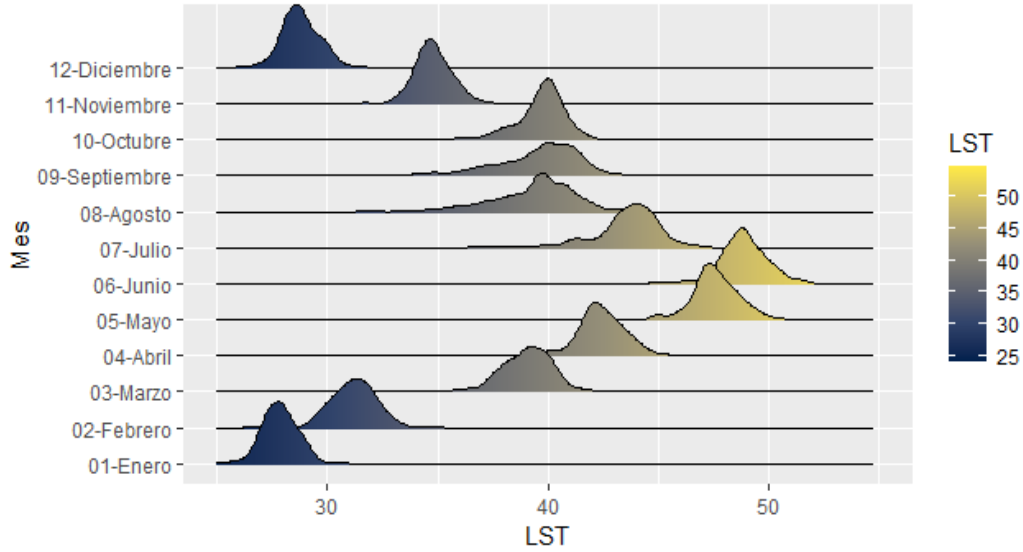


Fig. 10 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Culiacán, el mes donde se presenta menor reporte de casos del LST es el mes de abril con el 2% y el mes donde se presenta mayor reporte de casos es el mes de octubre con el 29%.

De acuerdo a lo que se reporta en la literatura, el mosquito transmisor del dengue se desarrolla mejor entre el rango de temperatura de 15 a 40°C. En el municipio de Culiacán no se reporta temperatura menor a los 25°C.

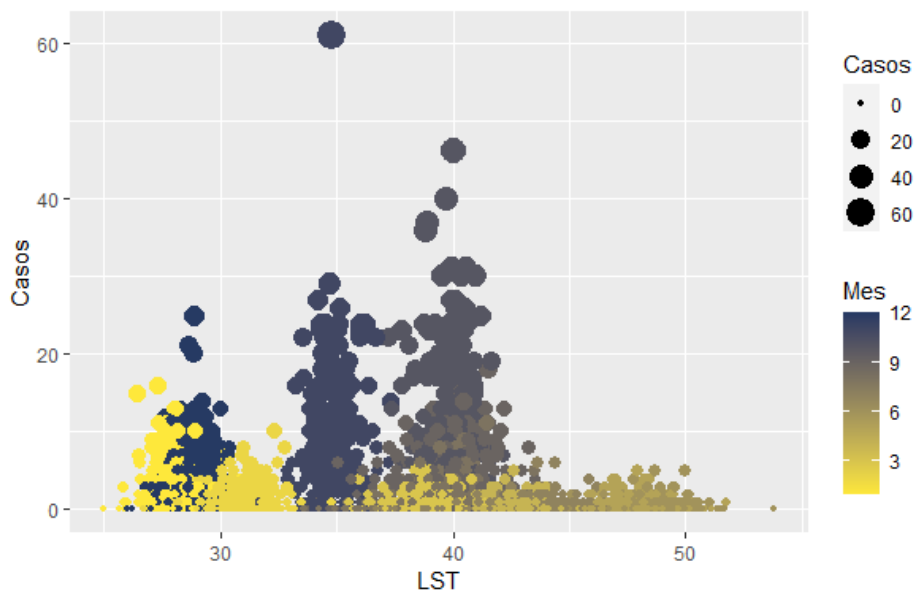


Fig. 11 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

La Figura 11 muestra que el 55% de los AGEB se encuentran en el rango de temperatura adecuado para la proliferación del mosquito transmisor del dengue. Se puede observar cierta relación lineal entre el incremento de la temperatura y el incremento de los casos desde el rango de temperatura de 25 a 42°C. De ahí en adelante los casos disminuyen considerablemente. El rango de temperatura de 25 a 35°C corresponde al primer trimestre del año y el reporte de casos por dengue llega por debajo de los 20 casos. A partir del segundo semestre del año los casos se incrementan. Esto es debido a la temporada de lluvias la cual ayuda en el desarrollo del mosquito y la transmisión del dengue.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de la Temperatura de Superficie de la Tierra en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 12 a la Figura 17.

Para el mes de enero el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 71% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 52% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 83% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 47% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 2% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 14% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentra por arriba de los 40°C de las cuales el 37% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentra por arriba de los 40°C de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

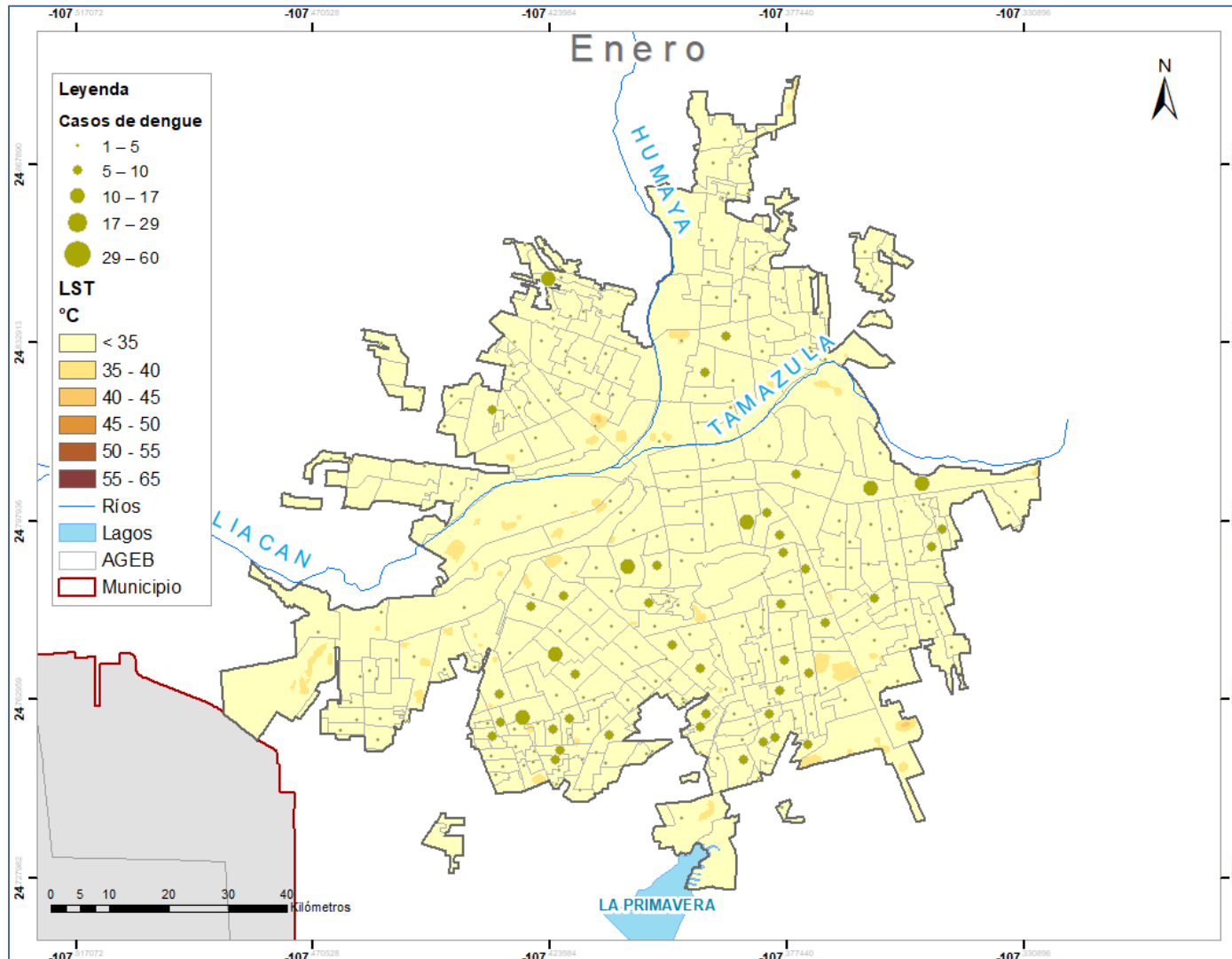


Fig. 12 LST y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

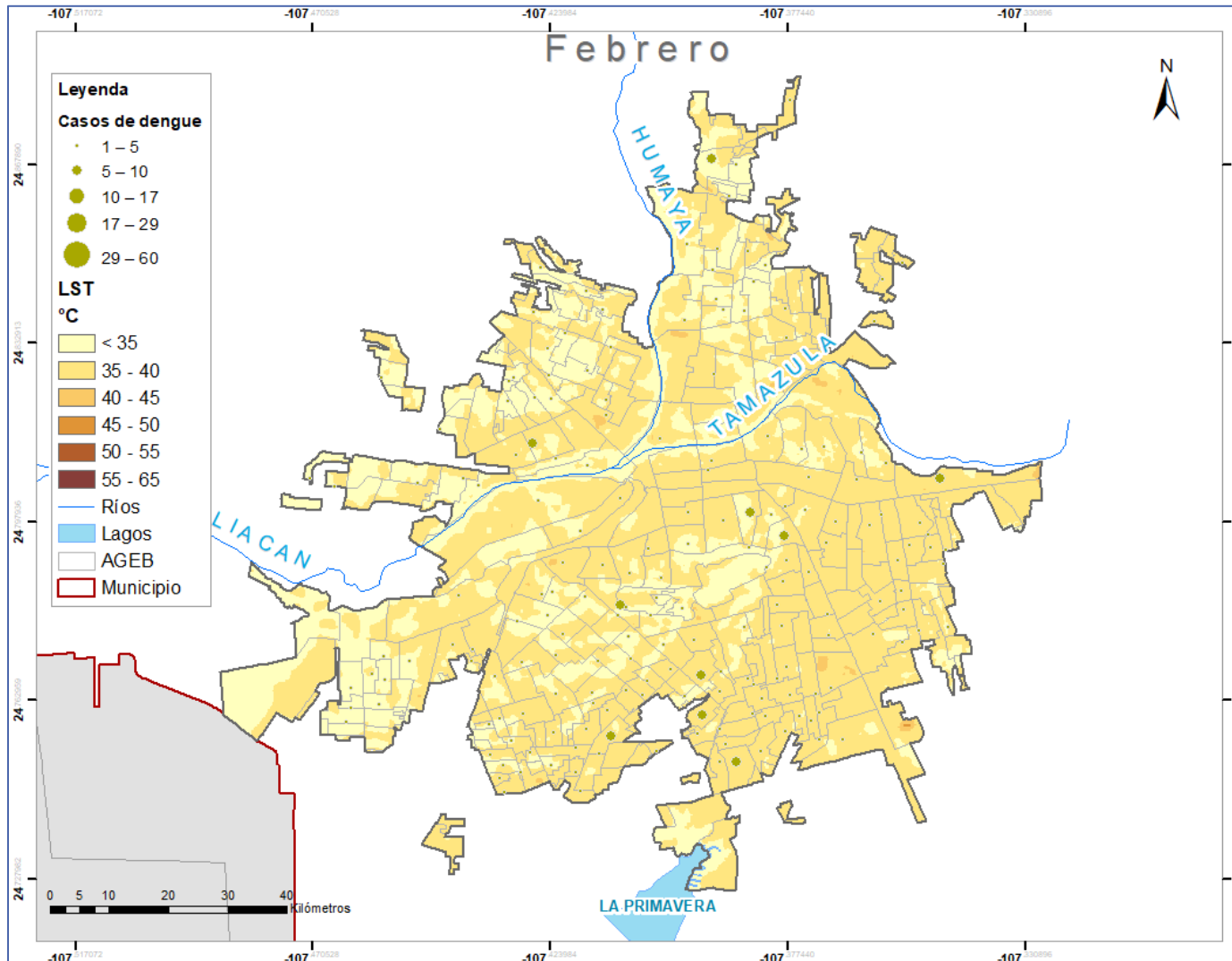


Fig. 13 LST y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

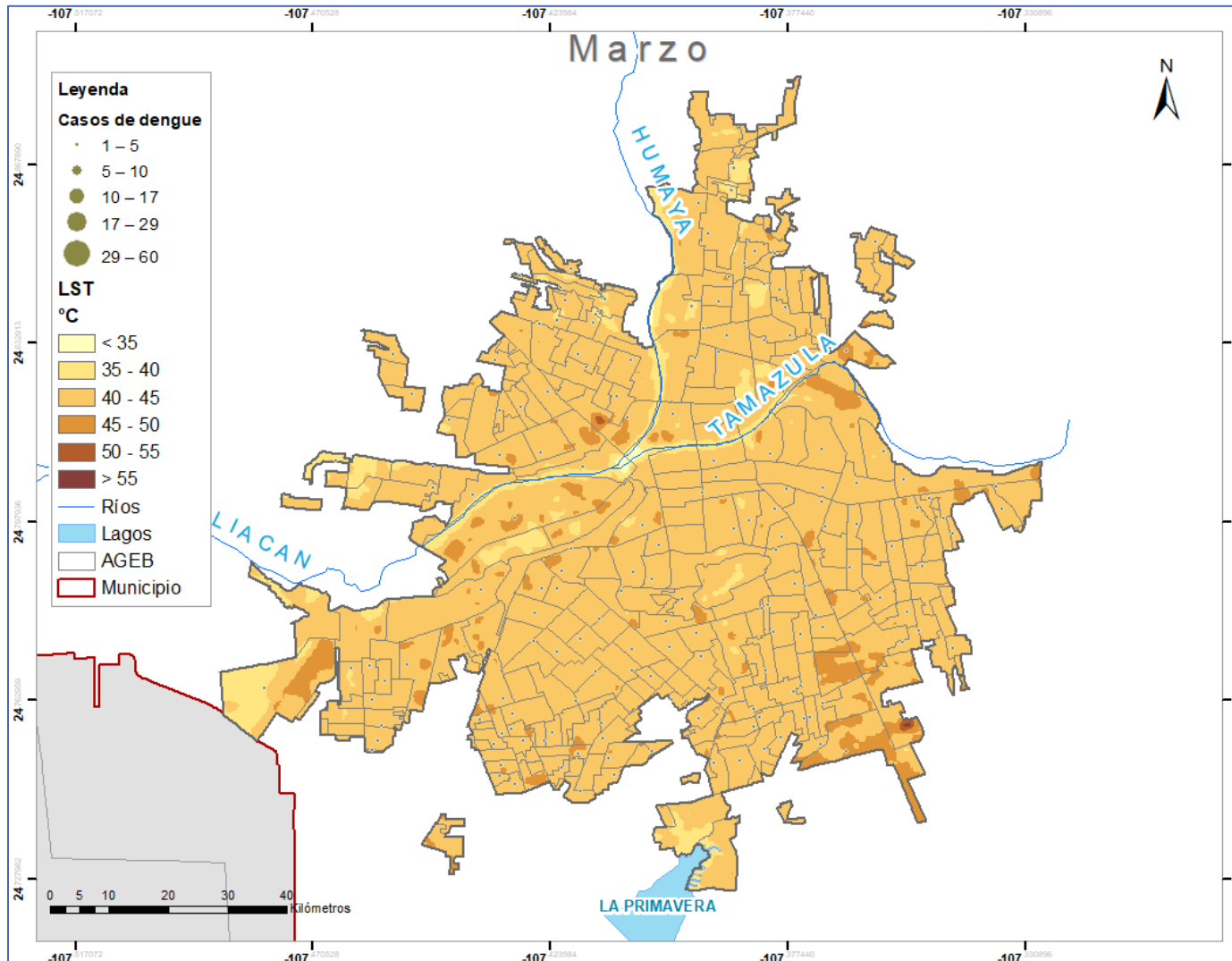


Fig. 14 LST y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

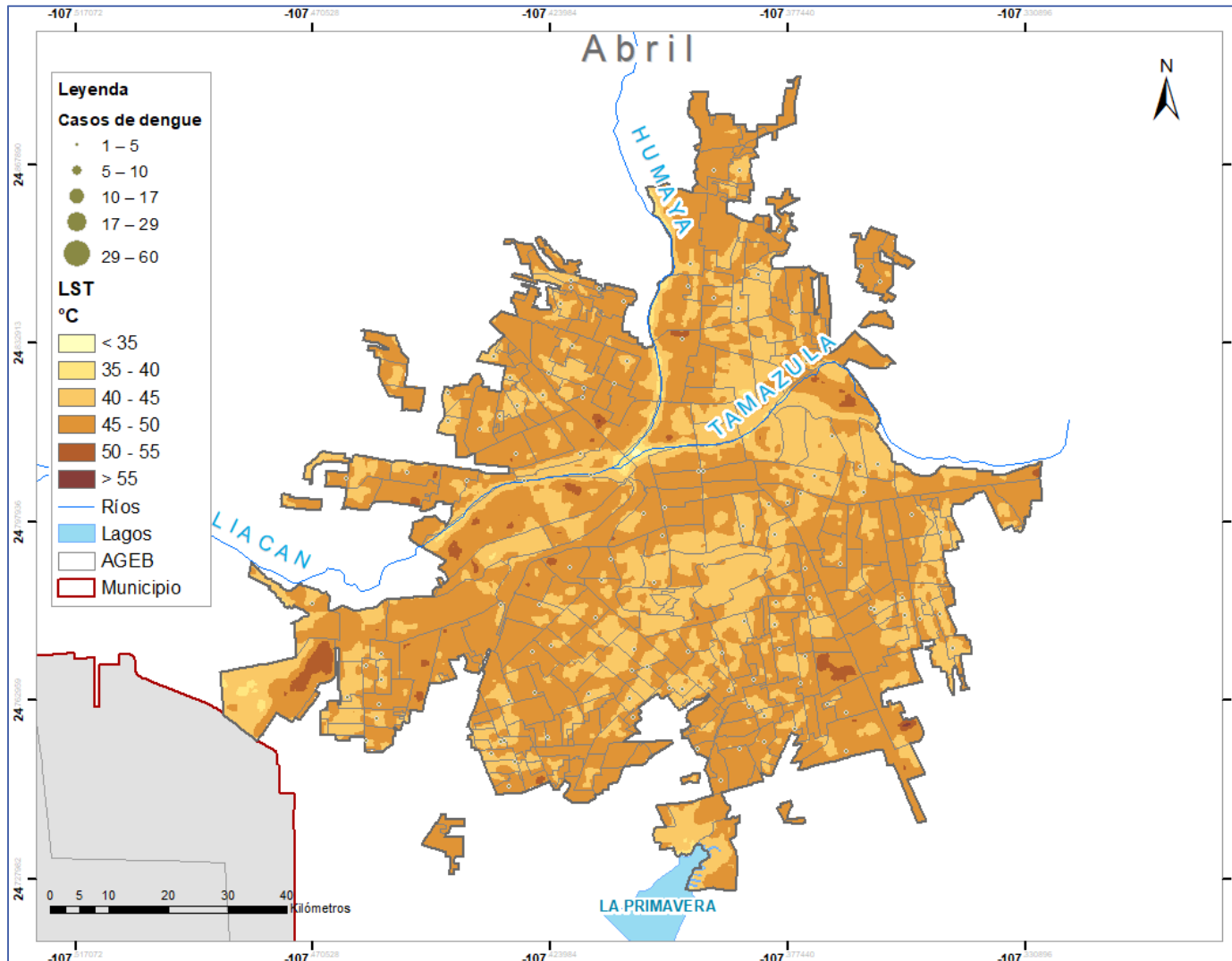


Fig. 15 LST y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

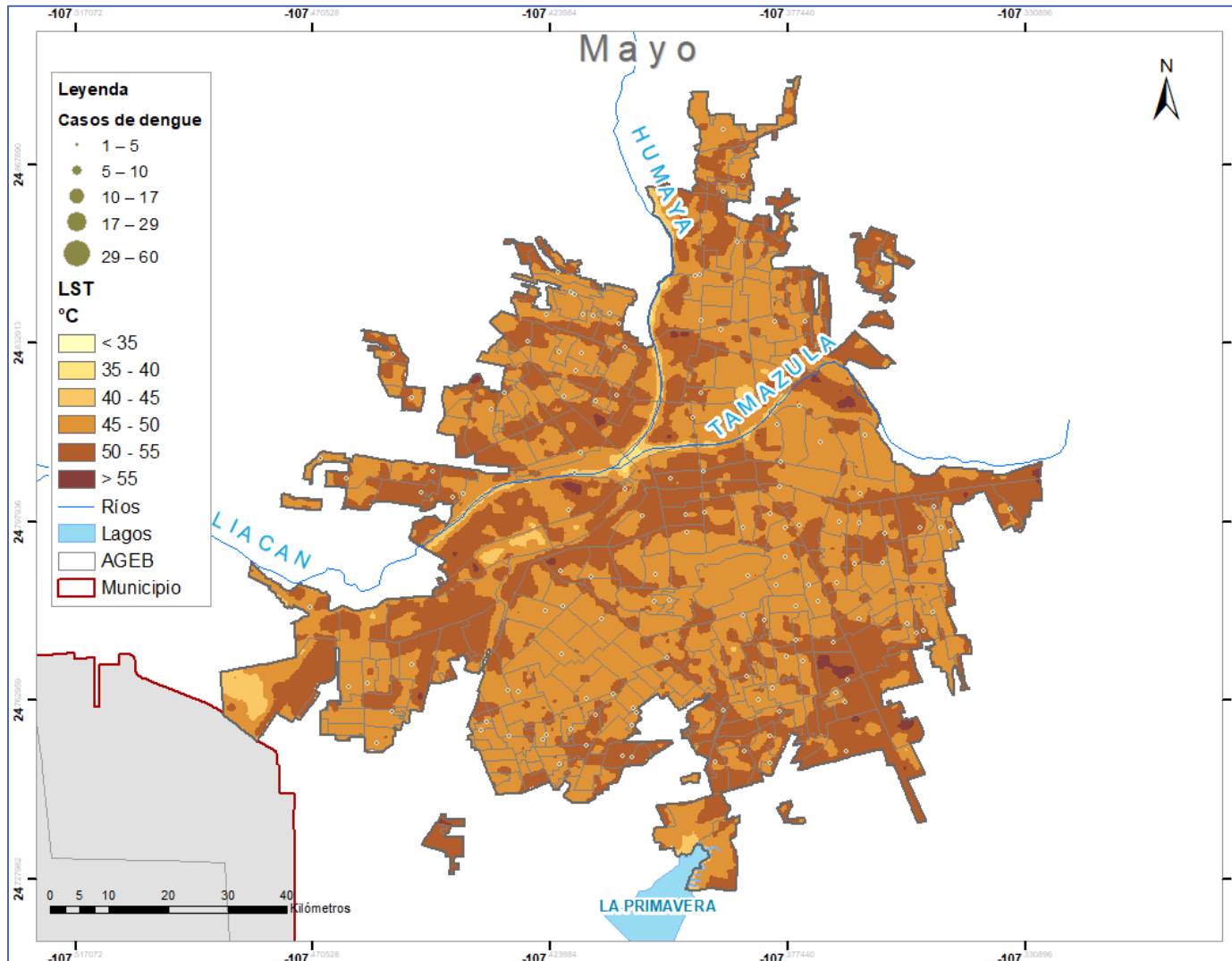


Fig. 16 LST y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

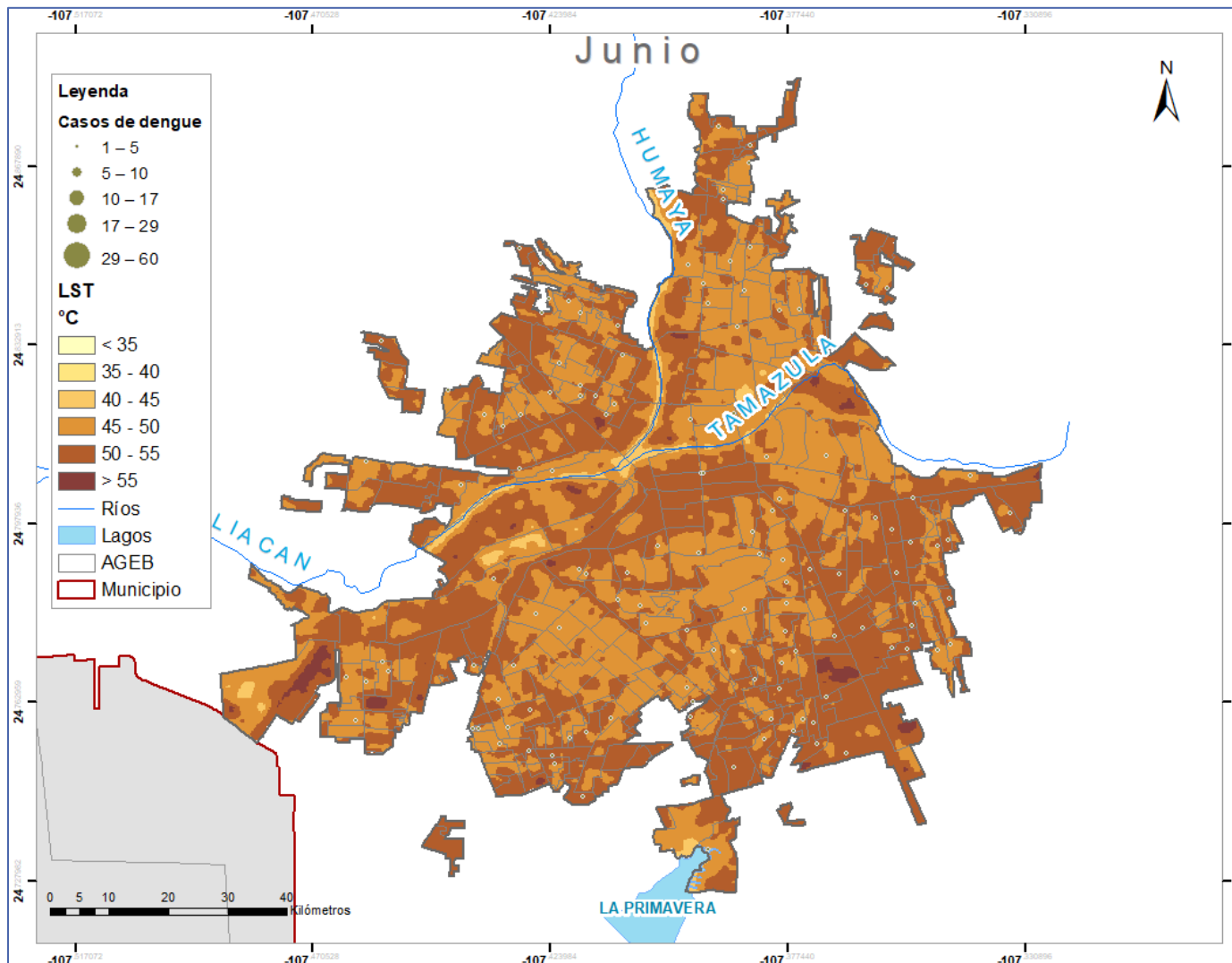


Fig. 17 LST y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de la Temperatura de Superficie de la Tierra en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 18 a la Figura 23.

Para el mes de julio el 96% de las AGEB del área de estudio se encuentran por arriba de los 40°C de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 62% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 43% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 54% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 56% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 60% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 77% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 84% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 71% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Una observación importante en los mapas es la presencia de cuerpos de agua, en Culiacán confluyen los ríos Humaya y Tamazula, que dan origen al río Culiacán, esto podría proporcionar la humedad necesaria para la proliferación del mosquito transmisor del dengue.

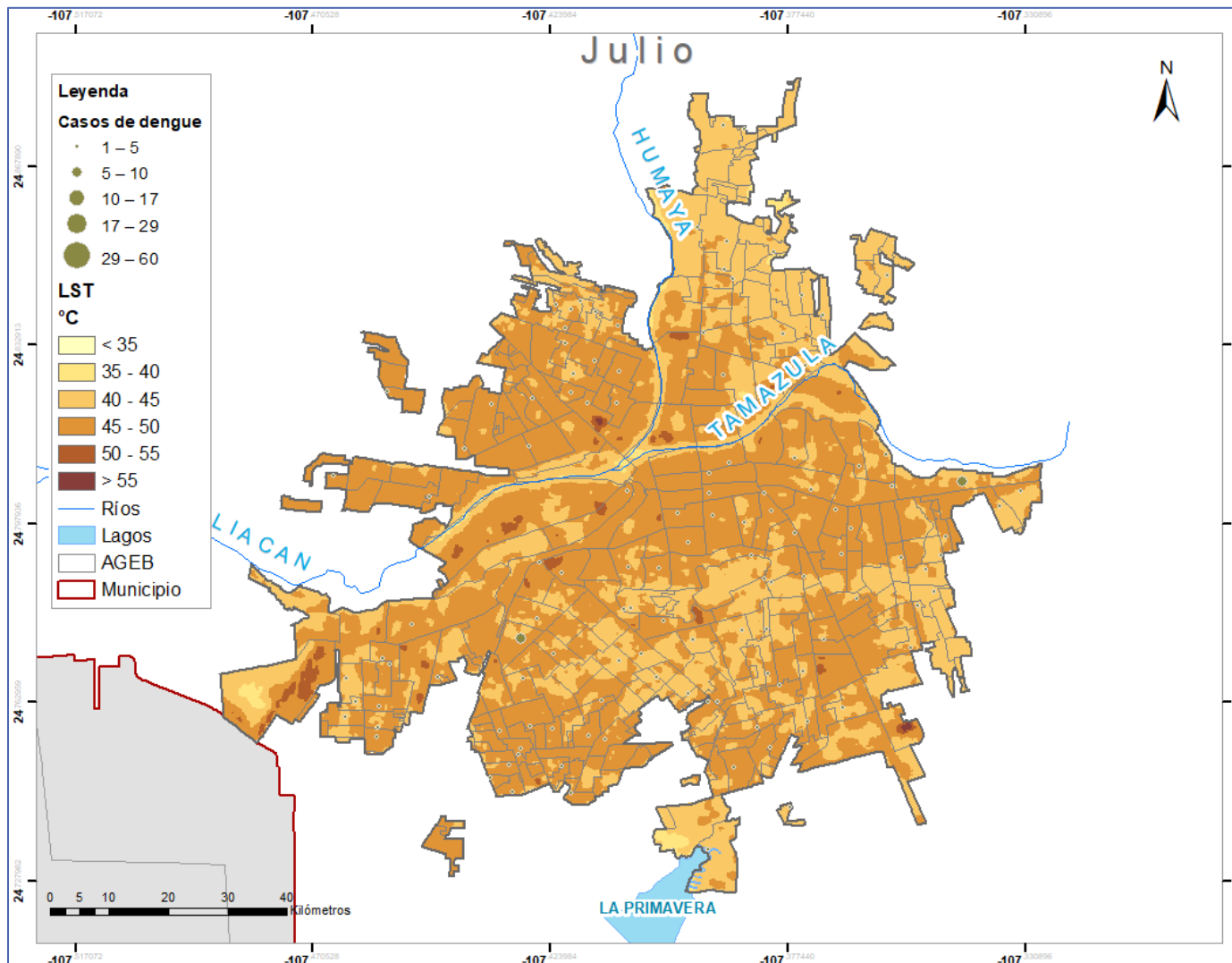


Fig. 18 LST y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

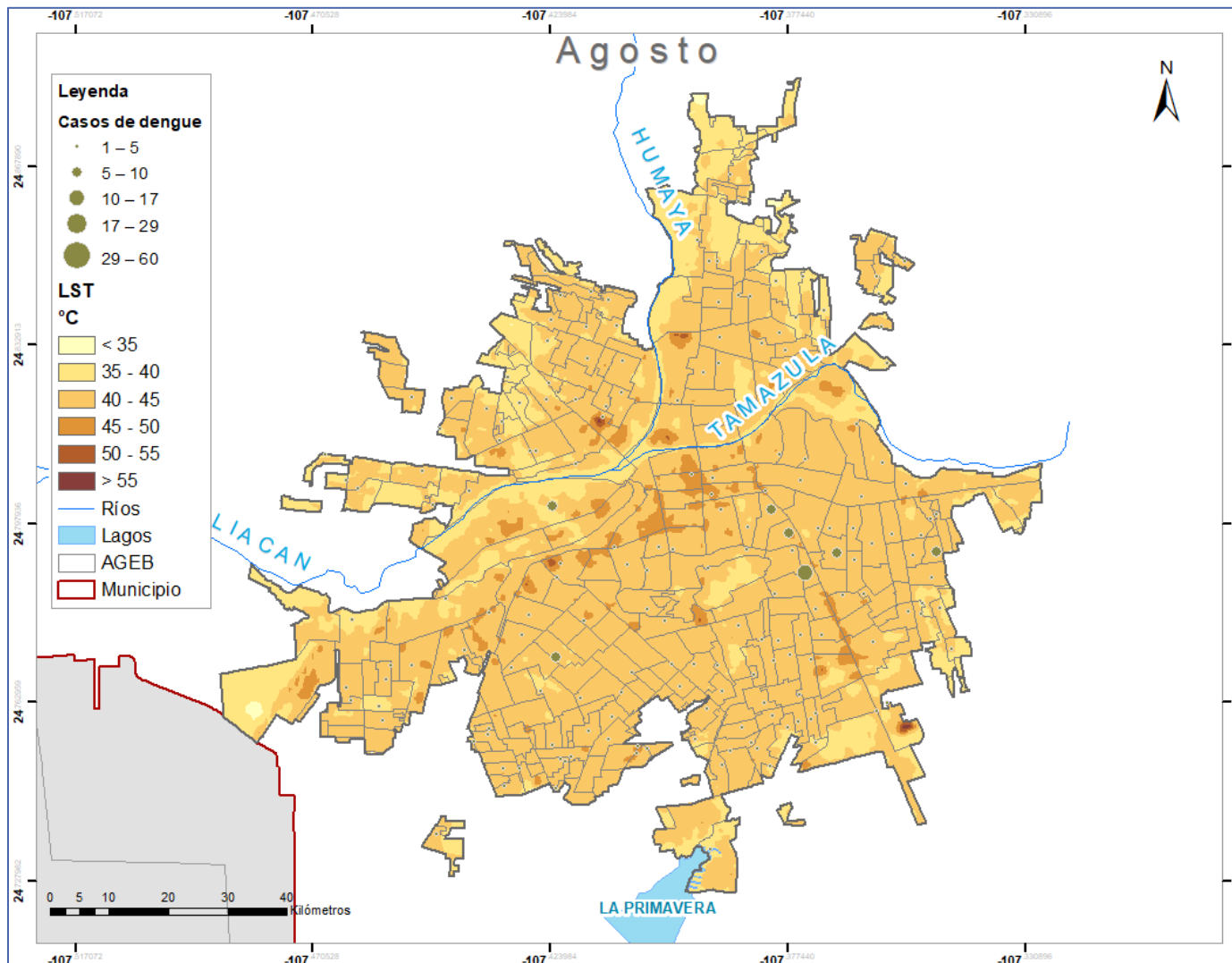


Fig. 19 LST y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

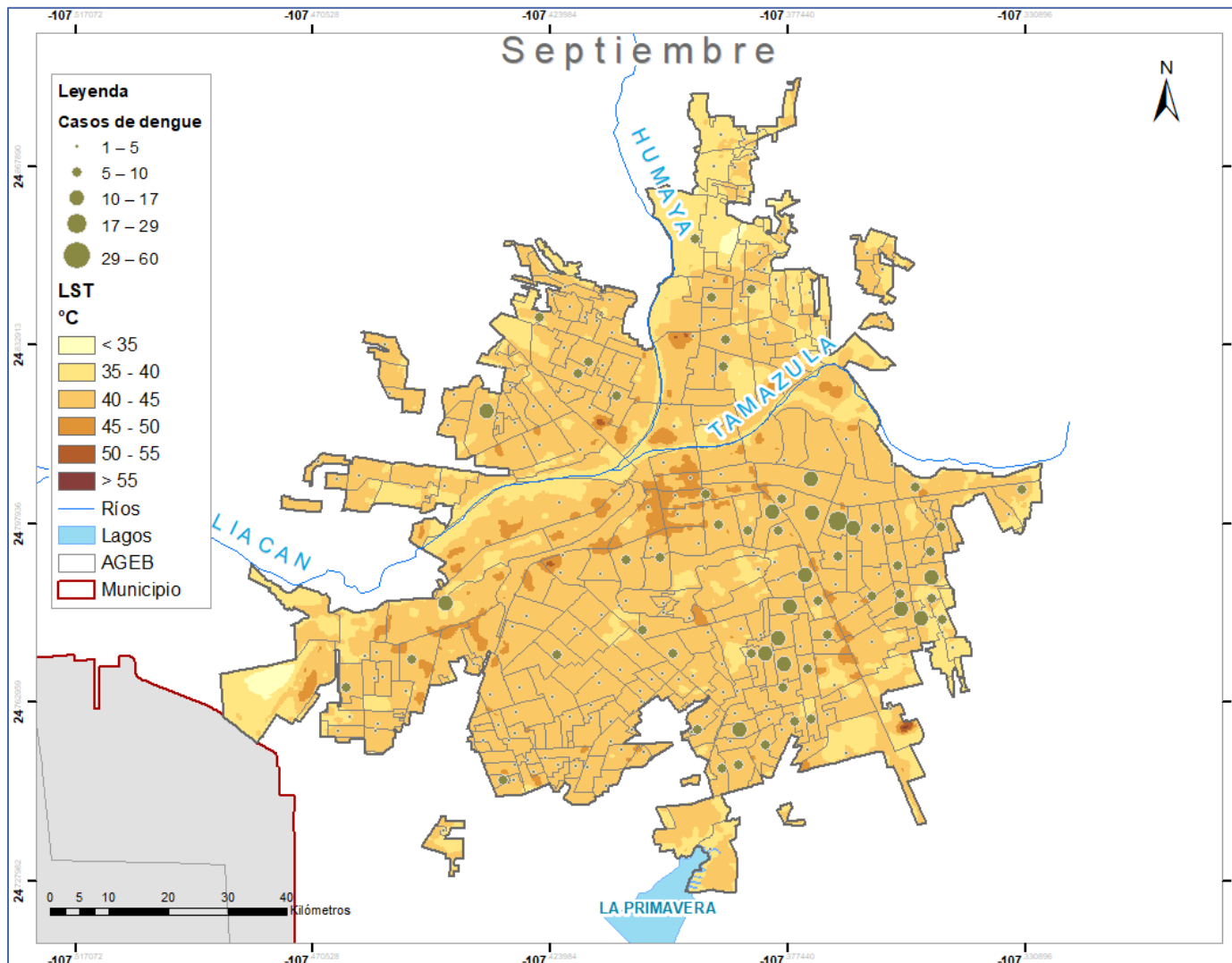


Fig. 20 LST y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

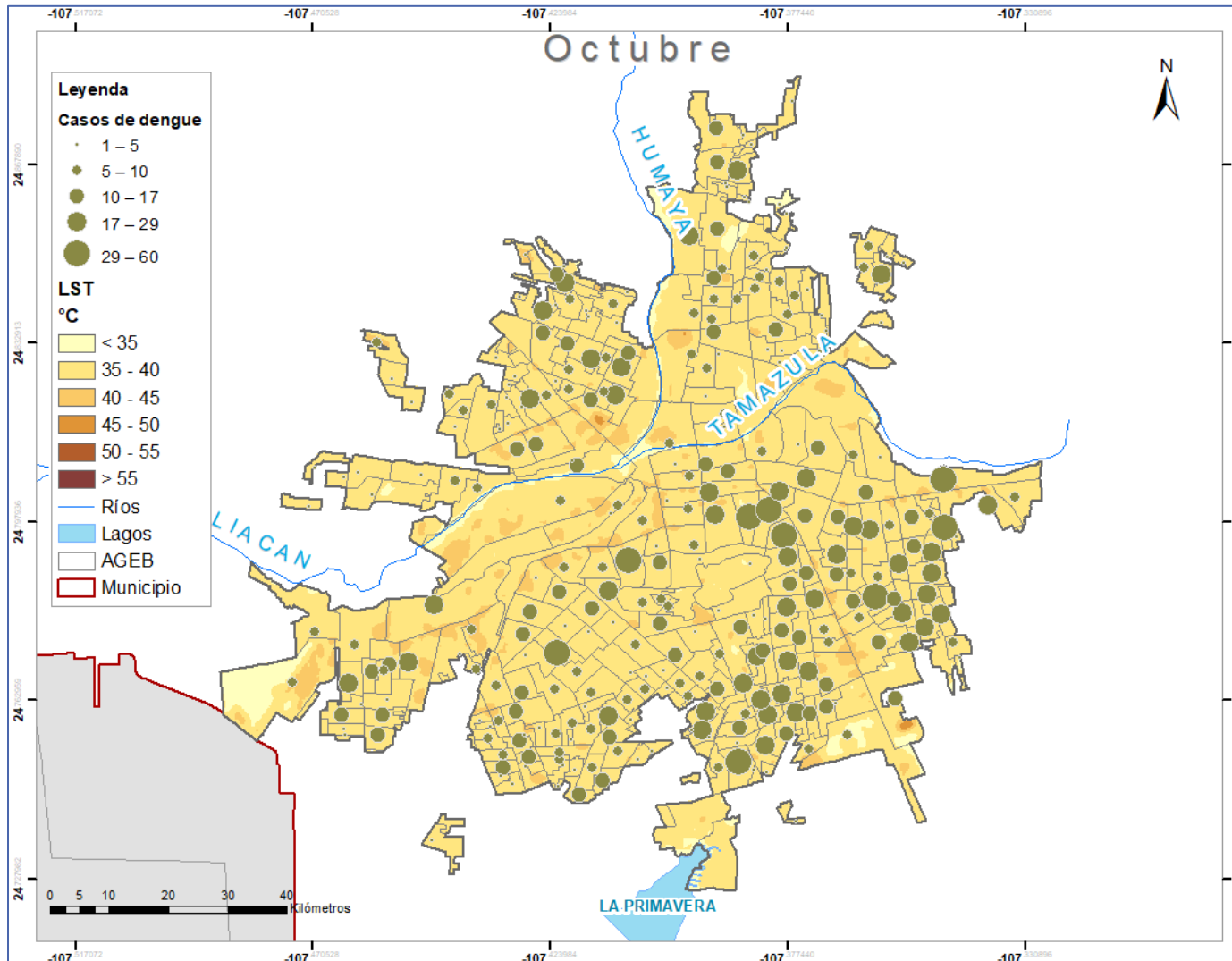


Fig. 21 LST y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

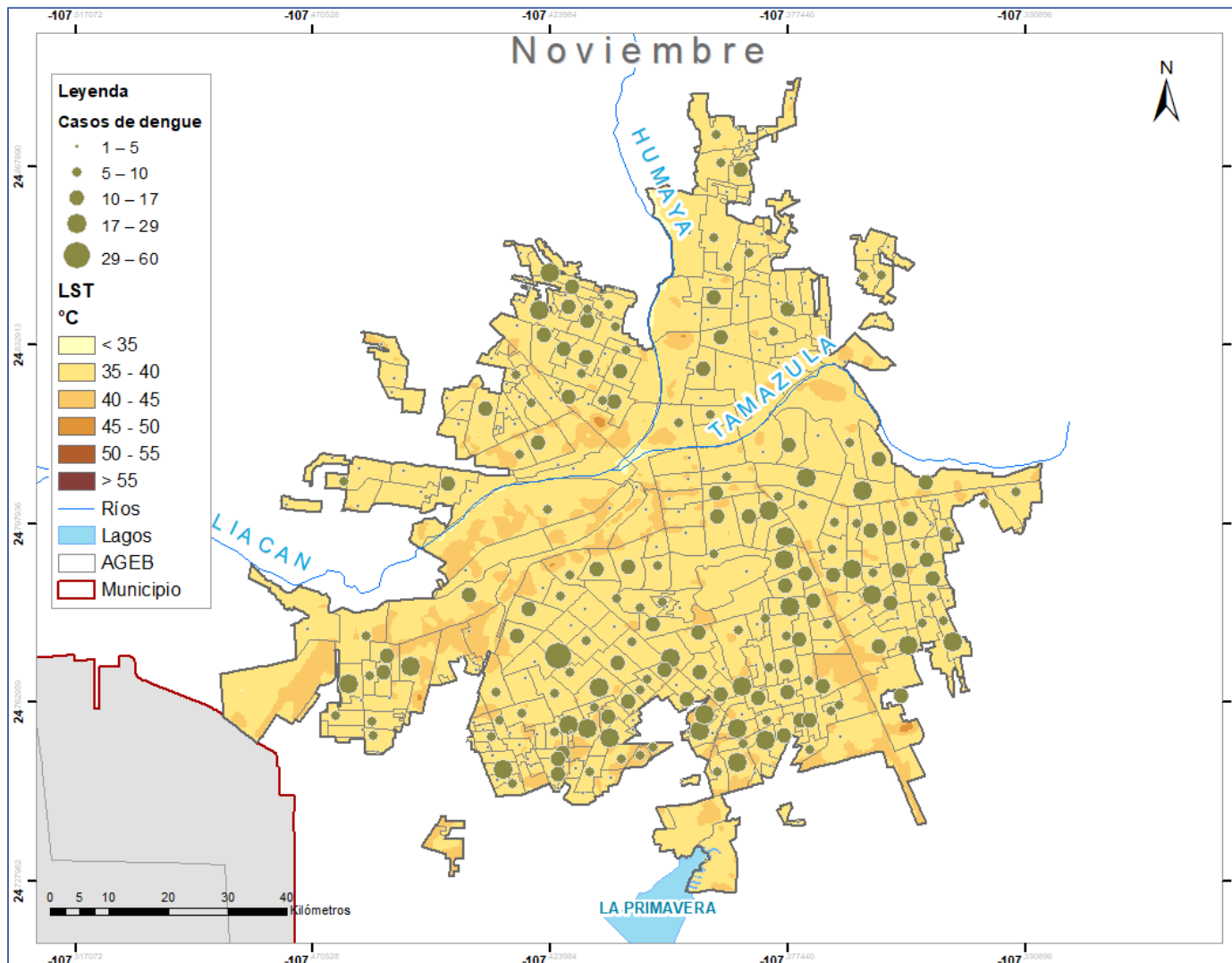


Fig. 22 LST y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

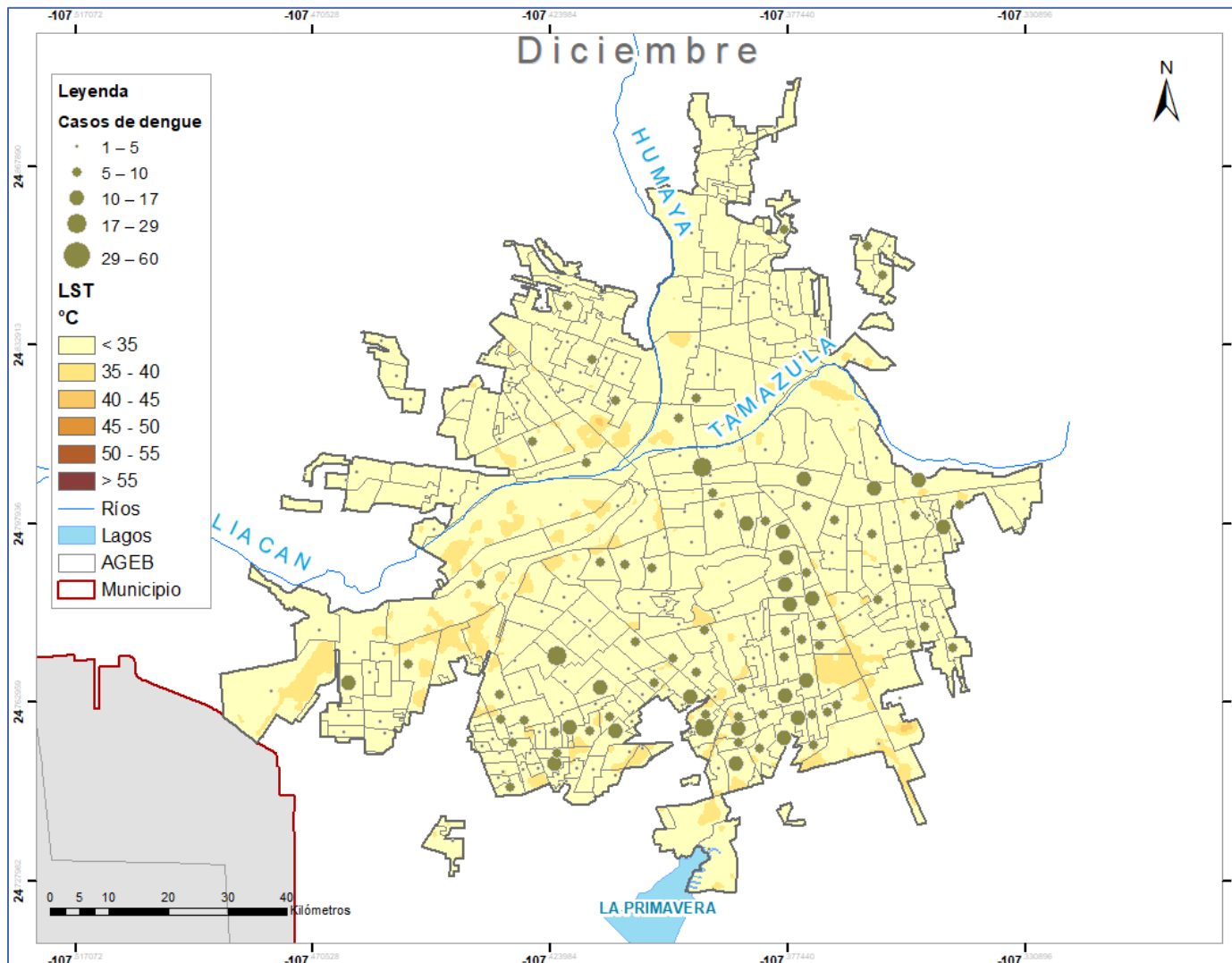


Fig. 23 LST y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.1.1.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro en la Figura 24, se observa que el LST mensual oscila entre los 28 y 41°C a lo largo del año. Noviembre es el mes con la media más baja, mientras que julio es el mes con la temperatura media más elevada. En el primer semestre se aprecia una curva suave, con un ascenso de aproximadamente 2°C por mes que inicia en abril y termina en julio, después viene un descenso rápido y continuo que inicia en agosto y termina en noviembre.

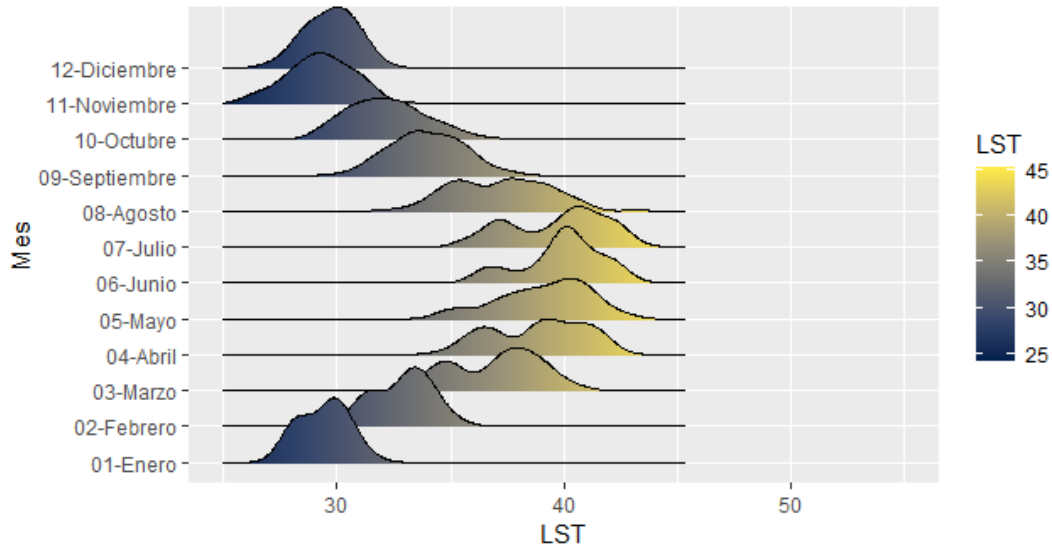


Fig. 24 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

En el municipio Centro, se observa una diferencia de hasta 10°C especialmente durante todos los meses del primer semestre, en cambio para Culiacán en la misma época se puede ver una diferencia de hasta 21°C.

Para el municipio Centro el mes donde se presenta menor reporte de casos del LST es el mes de marzo con el 4% y el mes donde se presenta mayor reporte de casos es el mes de octubre con el 17%.

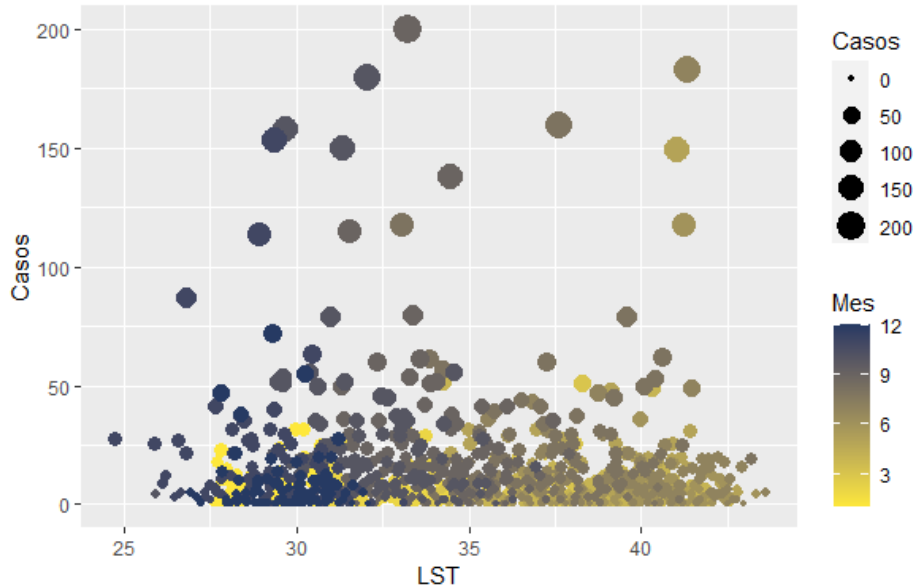


Fig. 25 Temperatura de la Superficie de la Tierra (LST) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

La Figura 25 muestra que el 84% de los AGEB se encuentran en el rango de temperatura adecuado para la proliferación del mosquito transmisor del dengue. Se puede observar cierta relación lineal entre el incremento de la temperatura y el incremento de los casos desde el rango de temperatura de 25 a 43°C. De ahí en adelante los casos disminuyen considerablemente. El rango de temperatura de 25 y 35°C corresponde al último trimestre del año y el reporte de casos por dengue llega por debajo de los 200 casos. A partir del segundo trimestre del año los casos se incrementan. Esto es debido a las constantes lluvias las cuales ayudan en el desarrollo del mosquito y la transmisión del dengue.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de la Temperatura de Superficie de la Tierra en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 26 a la Figura 31.

Para el mes de enero el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 90% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 97% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 77% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 66% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 82% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 62% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 85% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 54% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 87% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

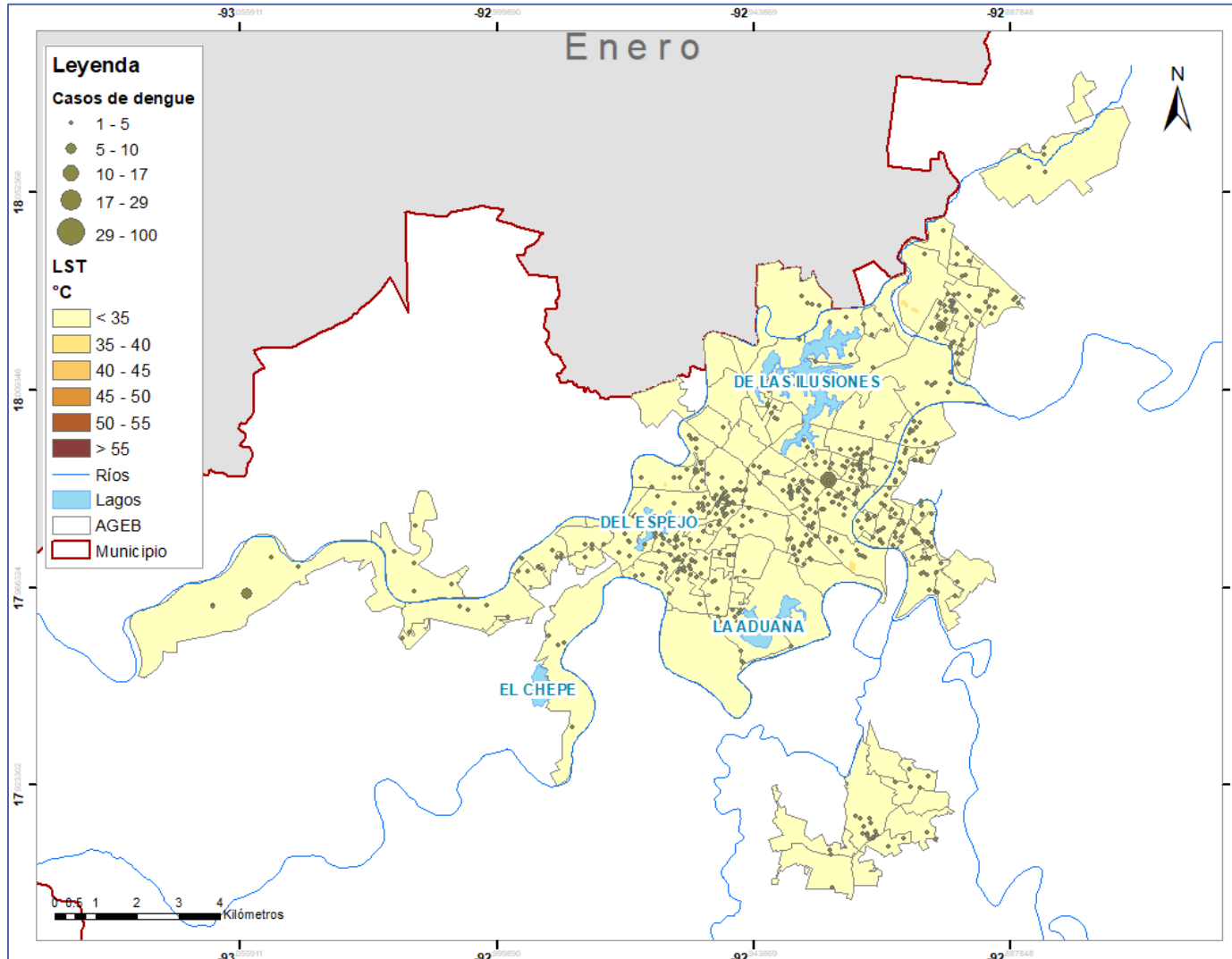


Fig. 26 LST y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

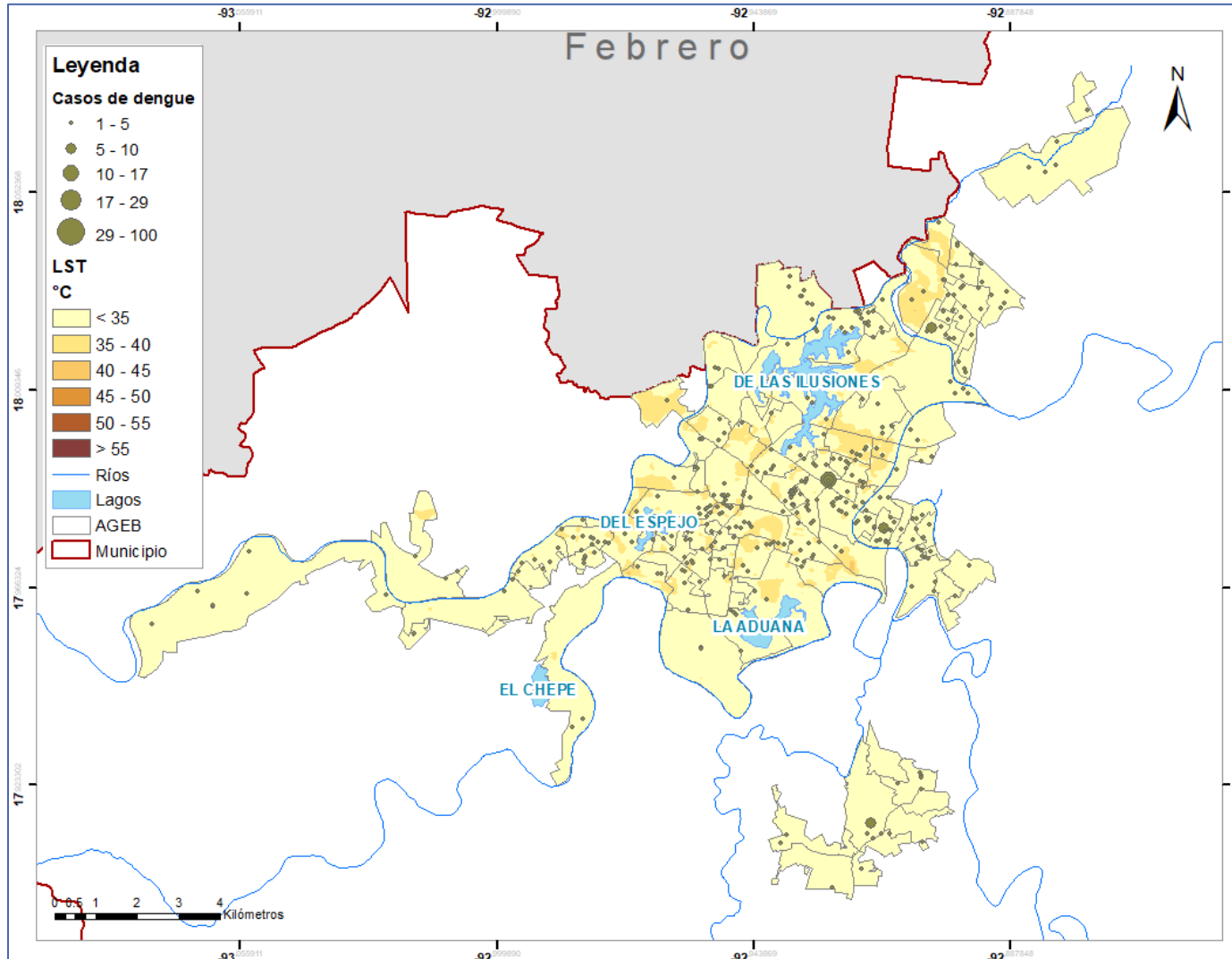


Fig. 27 LST y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

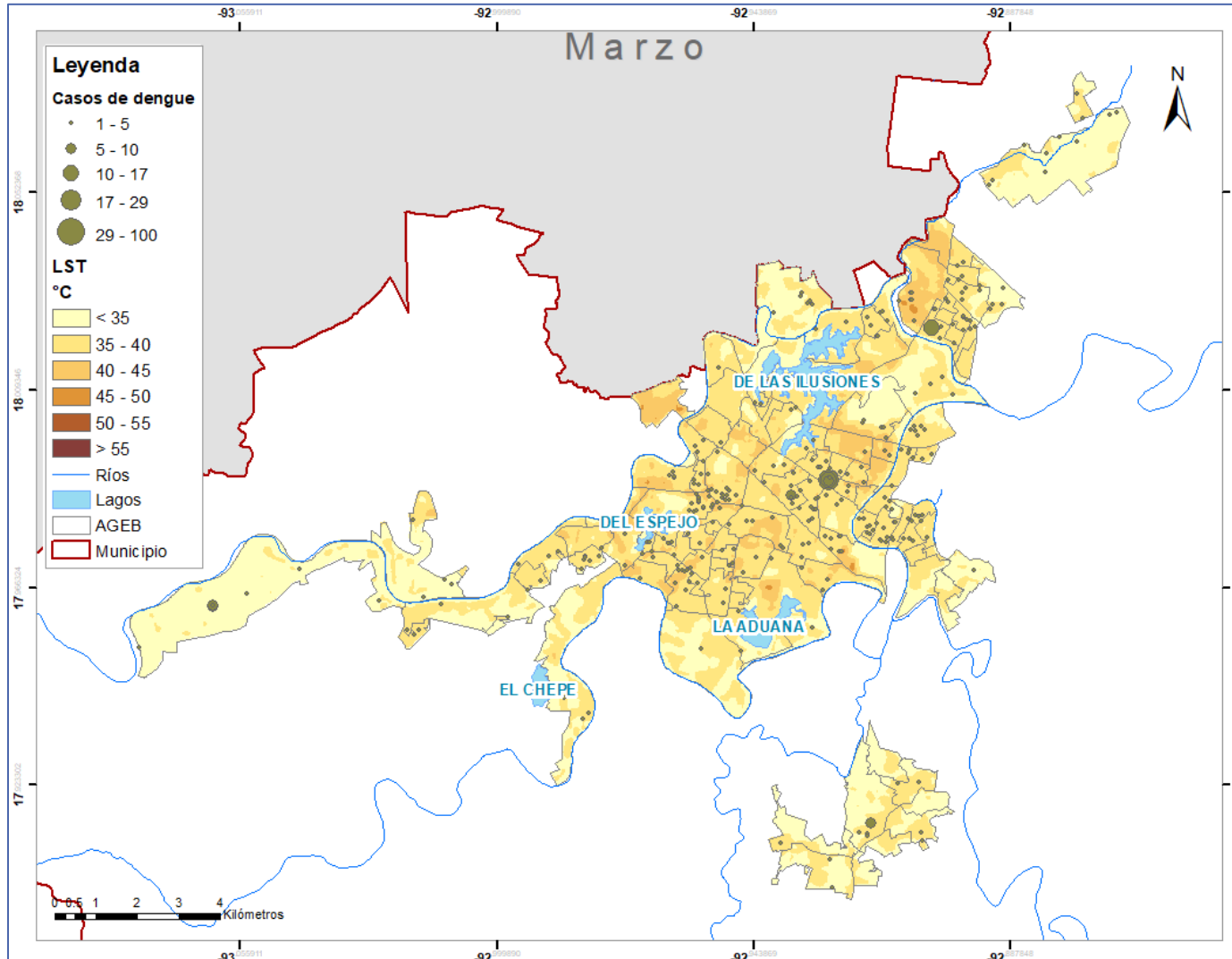


Fig. 28 LST y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

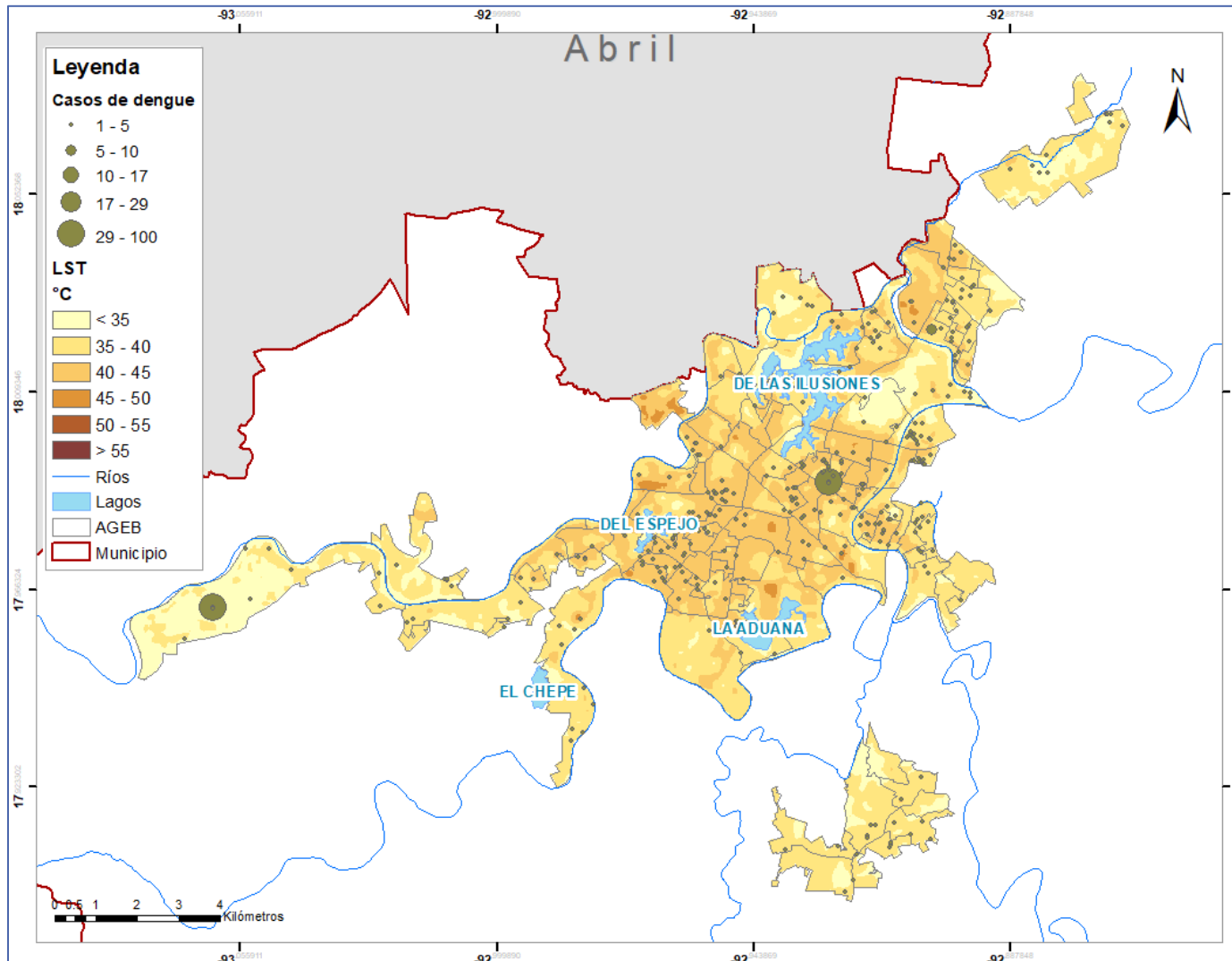


Fig. 29 LST y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

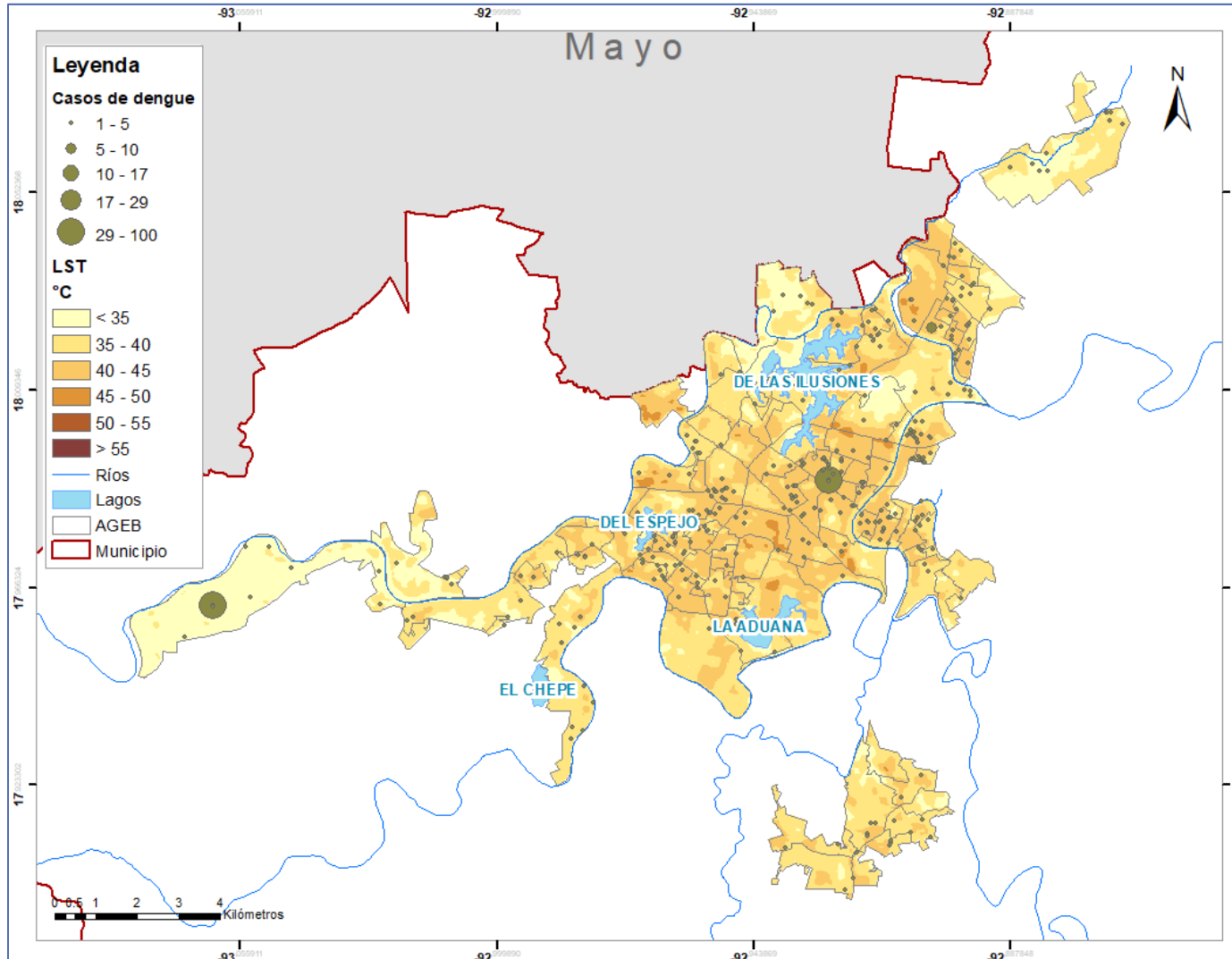


Fig. 30 LST y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

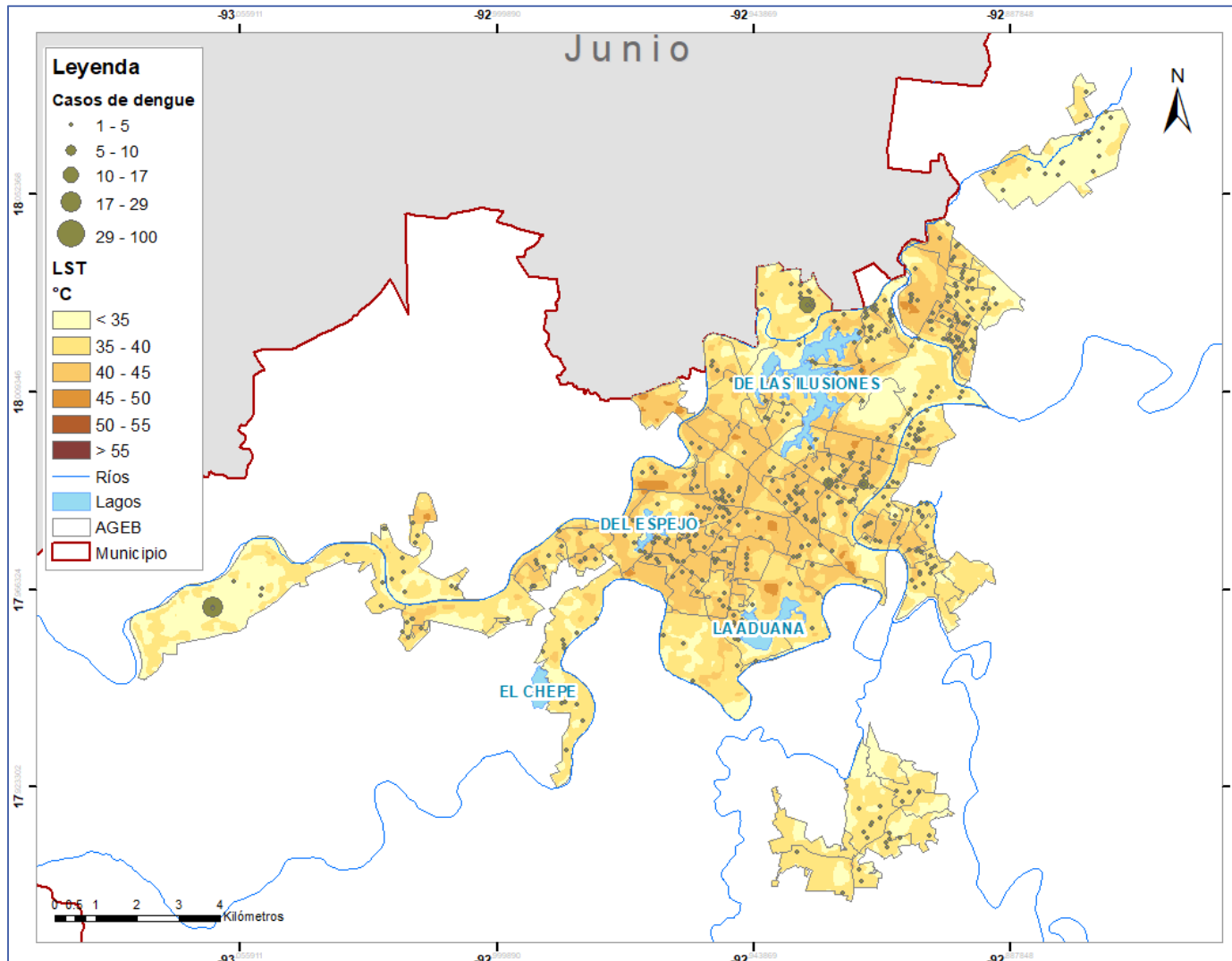


Fig. 31 LST y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de la Temperatura de Superficie de la Tierra en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 32 a la Figura 37.

Para el mes de julio el 54% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 94% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 90% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 93% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 96% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 95% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 93% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 100% de las AGEB del área de estudio se encuentran por debajo de los 40°C de las cuales el 83% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Otra observación importante en los mapas es la presencia de cuerpos de agua, en el municipio Centro confluyen los ríos Carrizal y Grijalva, que además rodean prácticamente el 75% del perímetro de la ciudad, confluyen en la parte noreste, y aquí cabe señalar que al interior del municipio Centro se ubica la laguna de Las Ilusiones que tiene una cobertura importante, además hay otros cuerpos de agua al interior de la ciudad y otros más en las afueras de la misma. La abundancia de cuerpos de agua en el municipio Centro explica porque la temperatura de suelo tiene un incremento suave durante el ciclo anual, sin embargo, si se puede apreciar variabilidad espacial en esta variable.

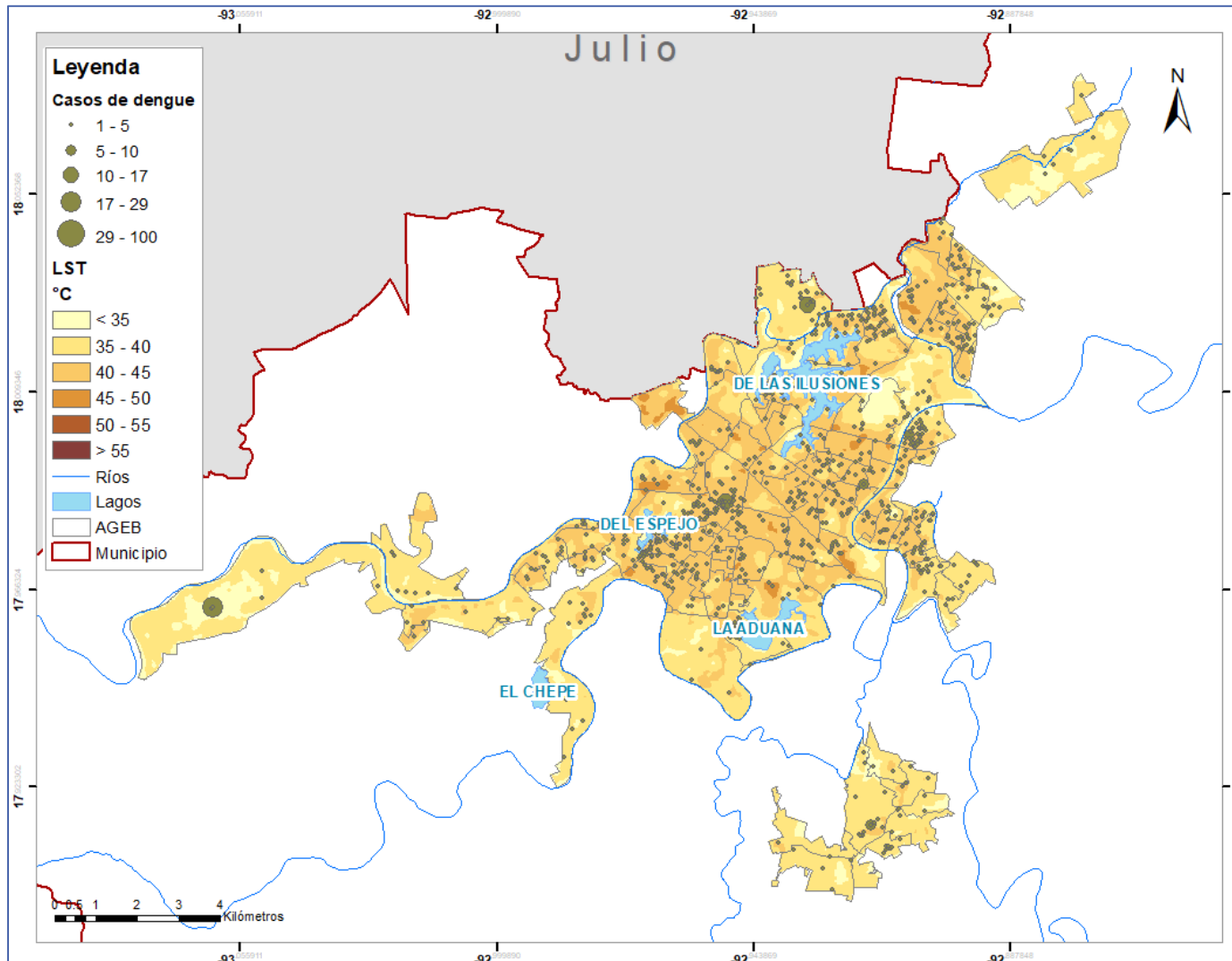


Fig. 32 LST y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

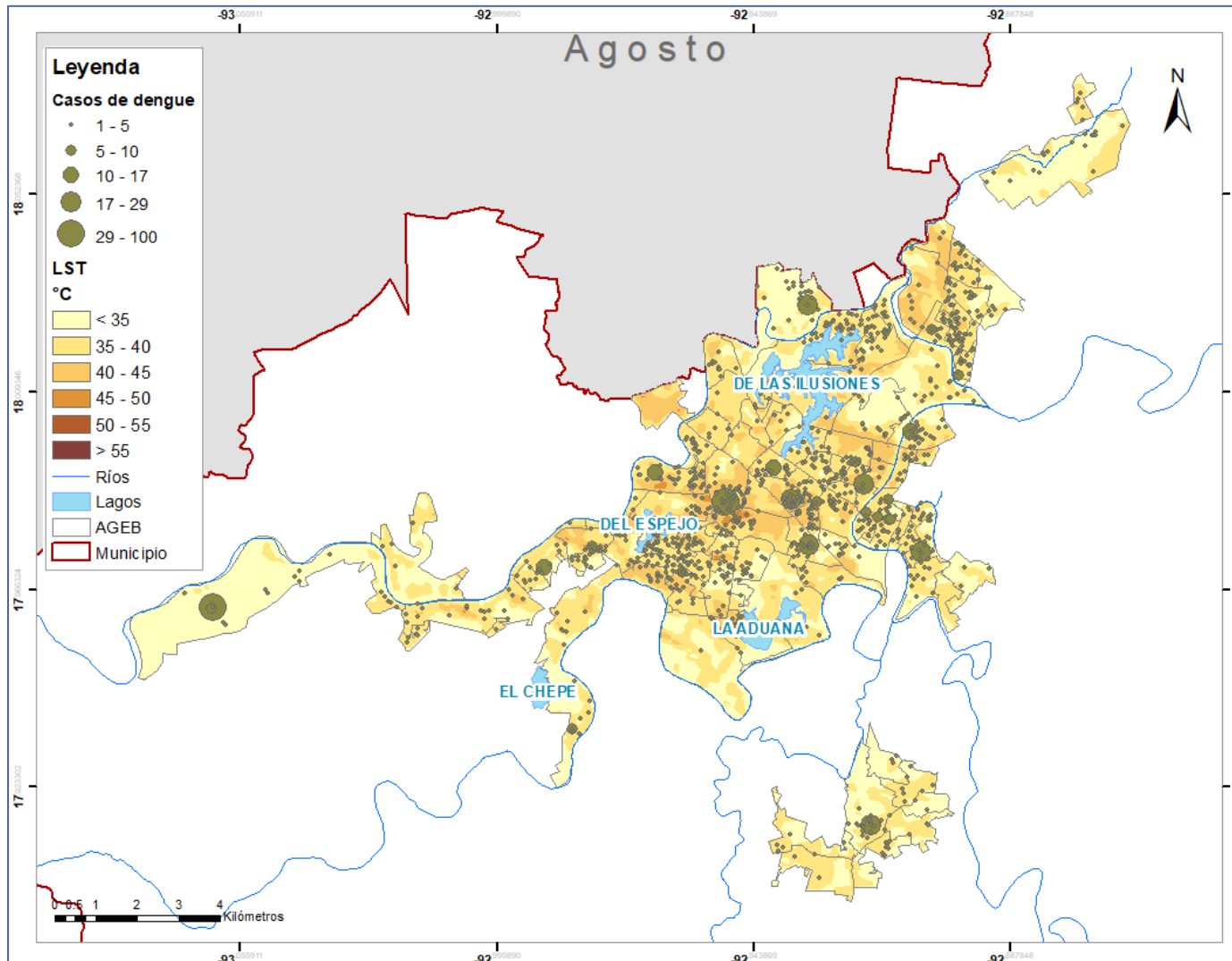


Fig. 33 LST y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

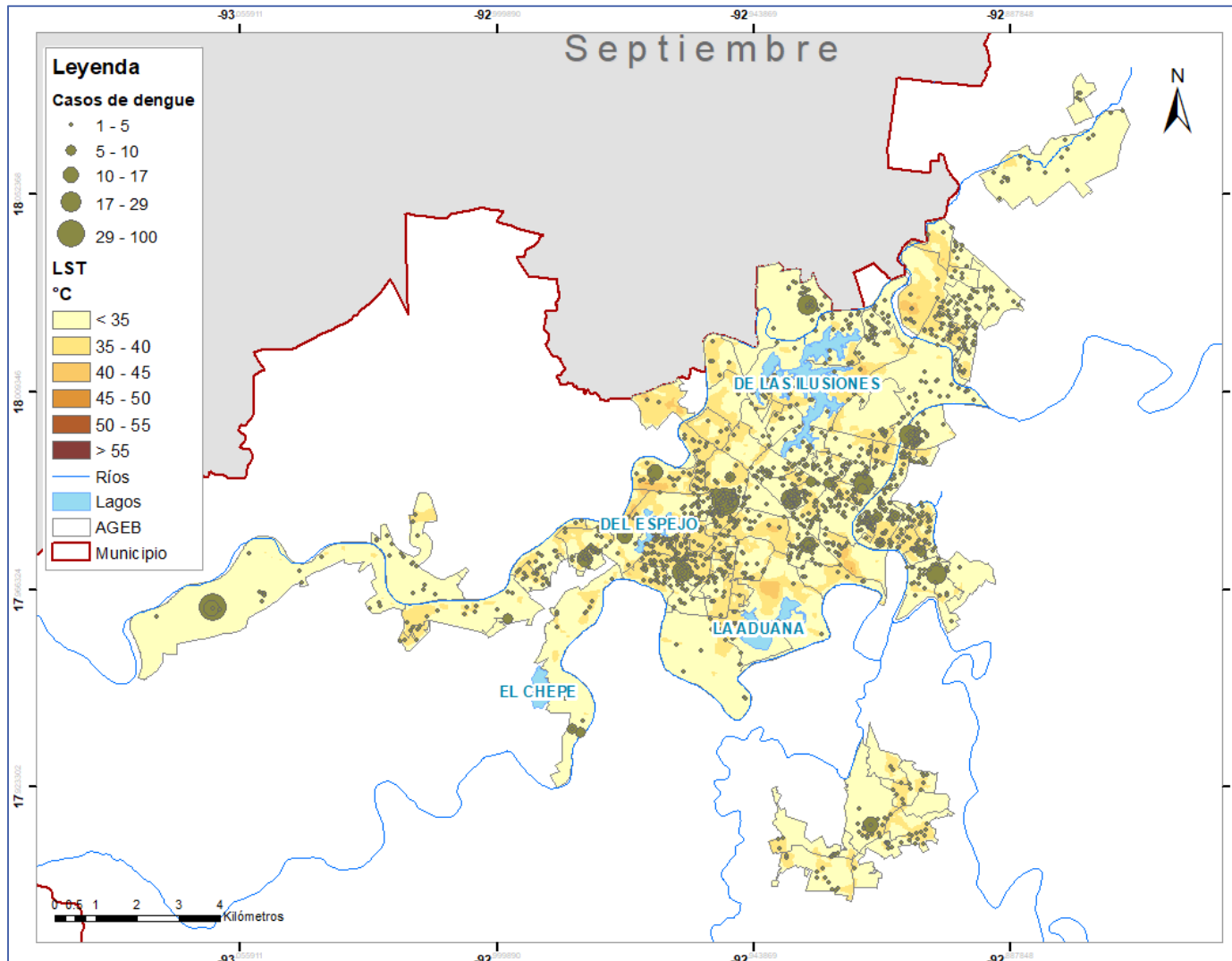


Fig. 34 LST y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

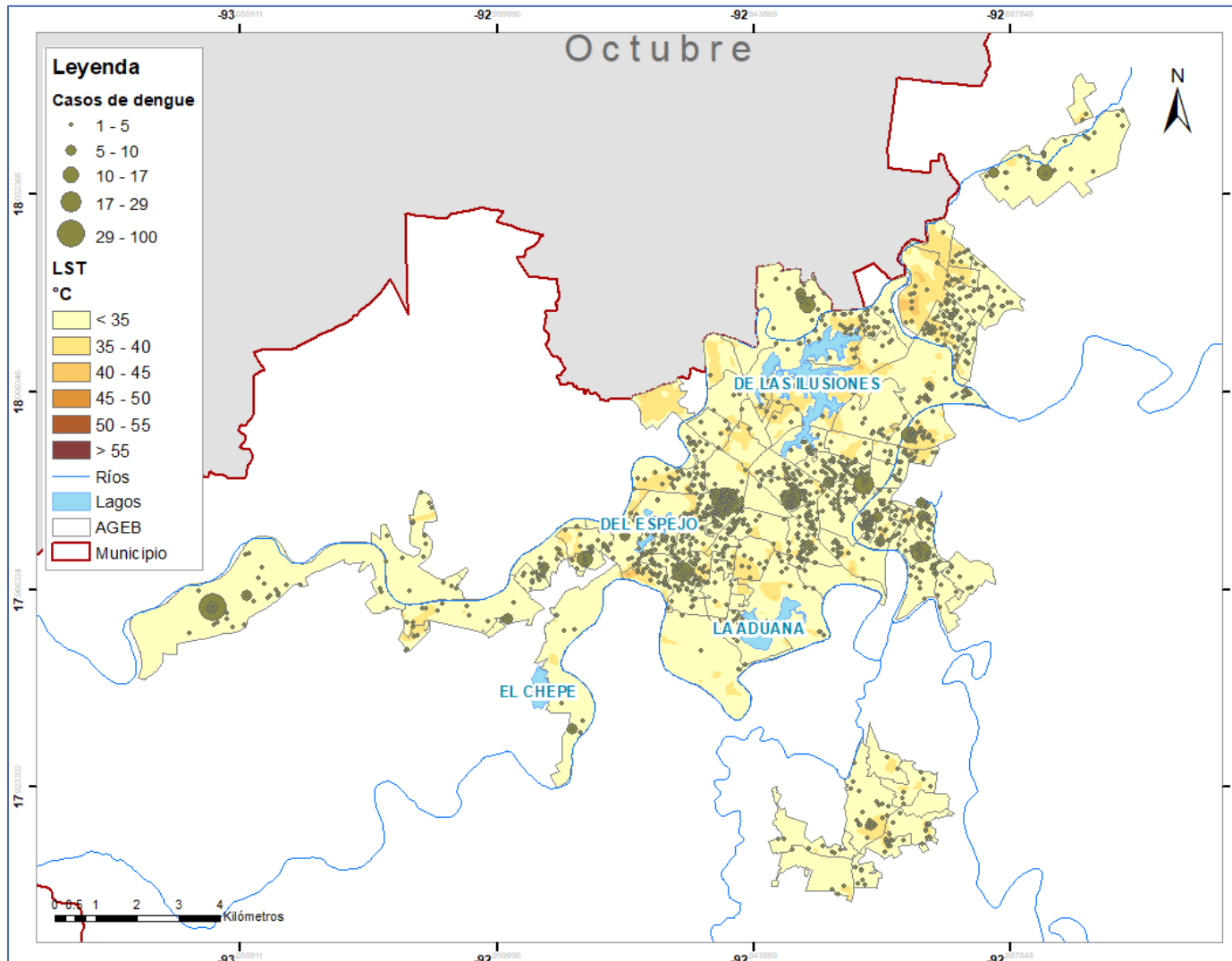


Fig. 35 LST y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

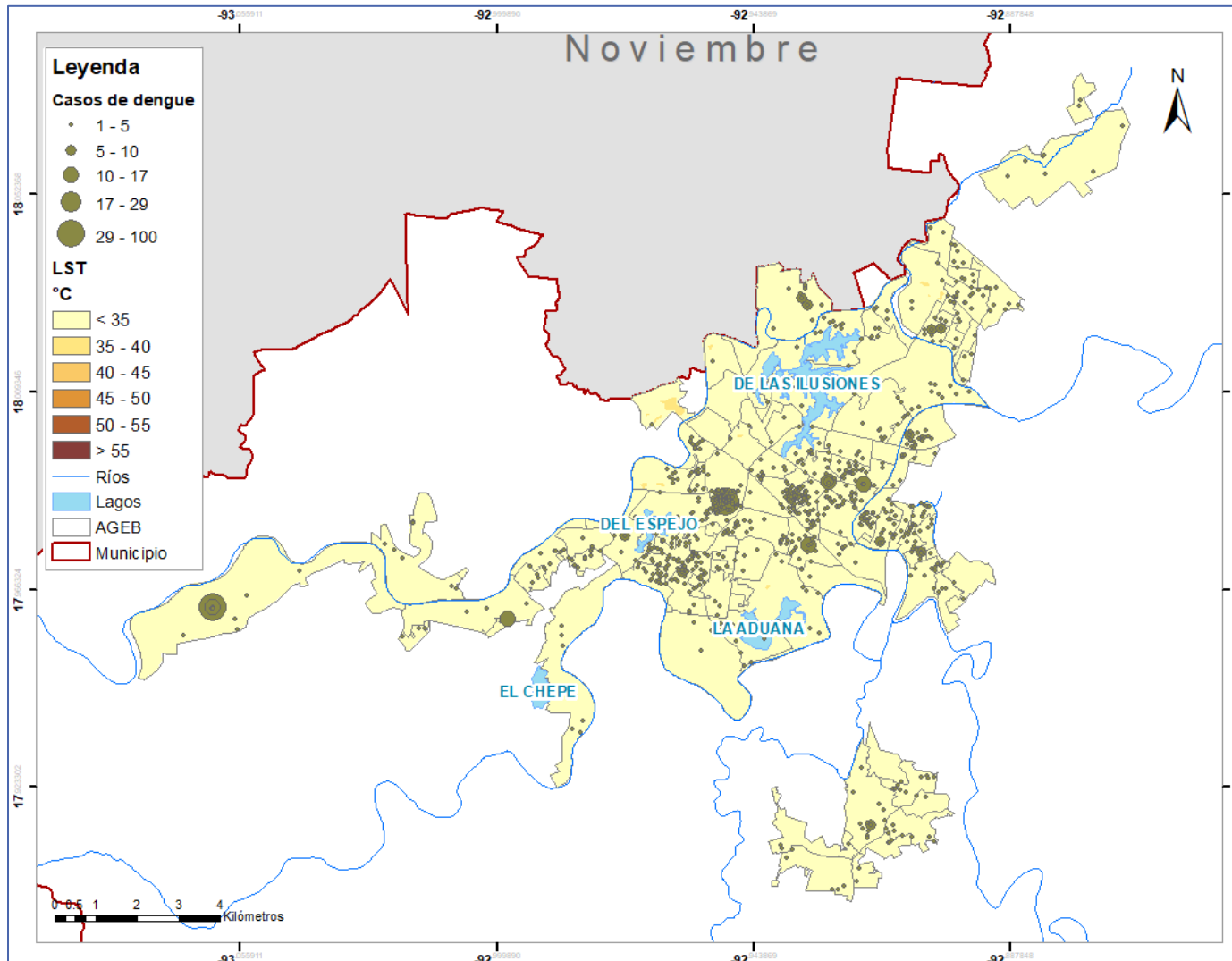


Fig. 36 LST y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

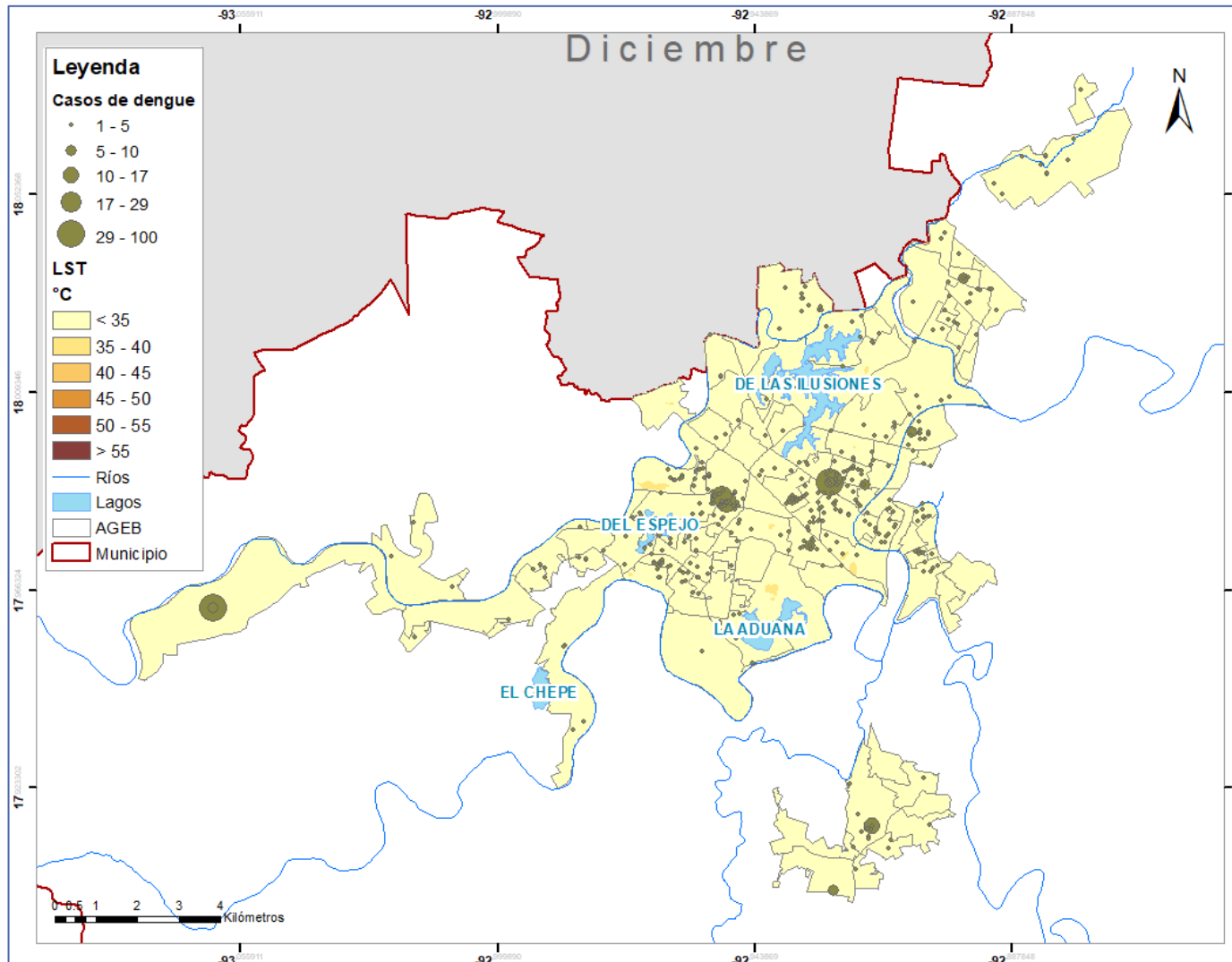


Fig. 37 LST y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

3.1.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

3.1.2.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán, en la Figura 38 se puede observar que el índice de vegetación en el primer semestre del año tiene un ligero decremento. En el mes de junio hay un ligero incremento en la vegetación, pero en el mes de julio el incremento es más notable concluyendo el mes de septiembre. A partir del mes de octubre inicia un leve descenso en el índice de vegetación que concluye en el mes de diciembre.

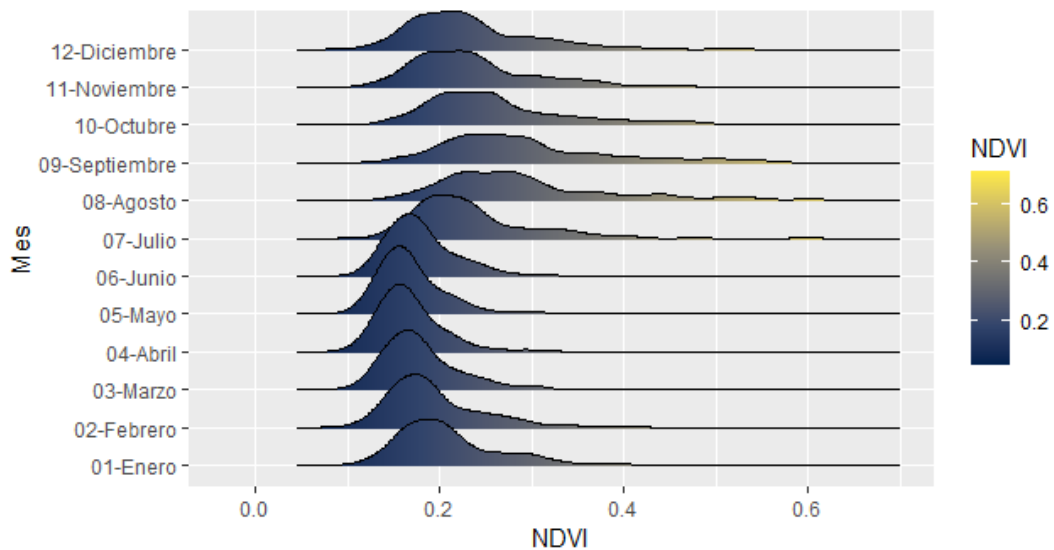


Fig. 38 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Culiacán de toda el área de estudio el 4% representa áreas verdes para el mes de abril, dato que para el mes de octubre llega al 27%.

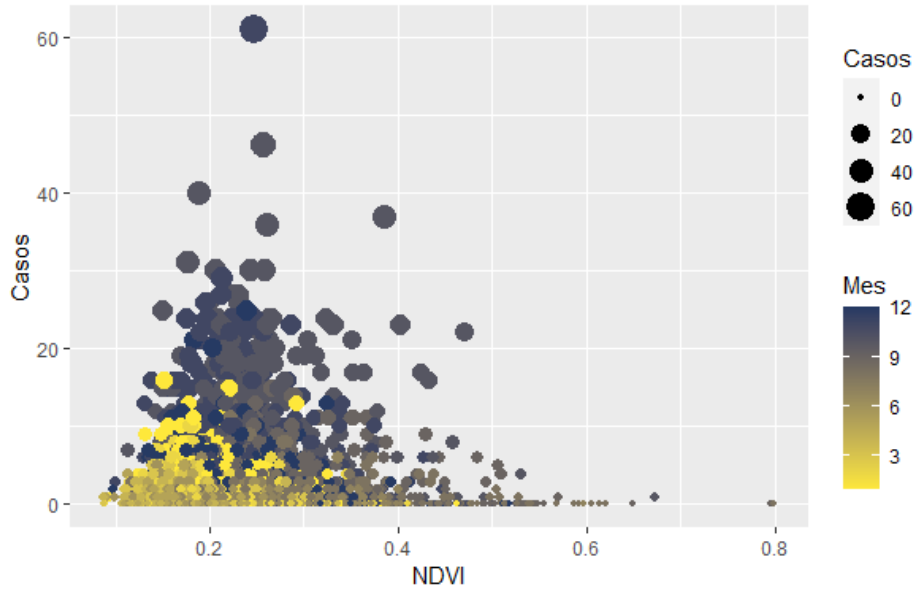


Fig. 39 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

La Figura 39 muestra que el 96% de los AGEB se encuentran en el nivel del NDVI menor o igual a 0.4, esto es adecuado para el desarrollo del mosquito transmisor del dengue. No se observa una relación lineal entre el incremento del NDVI y el incremento de los casos. Se puede ver en el primer semestre del año que los casos registrados por dengue están por debajo de 10 casos, conforme transcurre el año los casos van incrementando, esto ya había sido identificado en el LST y que esto concuerda con la temporada de lluvias en esta área de estudio.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 40 a la Figura 45.

Para el mes de enero el 95% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 73% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

En el mes de febrero el 98% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 53% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

En el mes de marzo el 99% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 45% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 99% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 33% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 99% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 37% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

En el mes de junio el 99% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

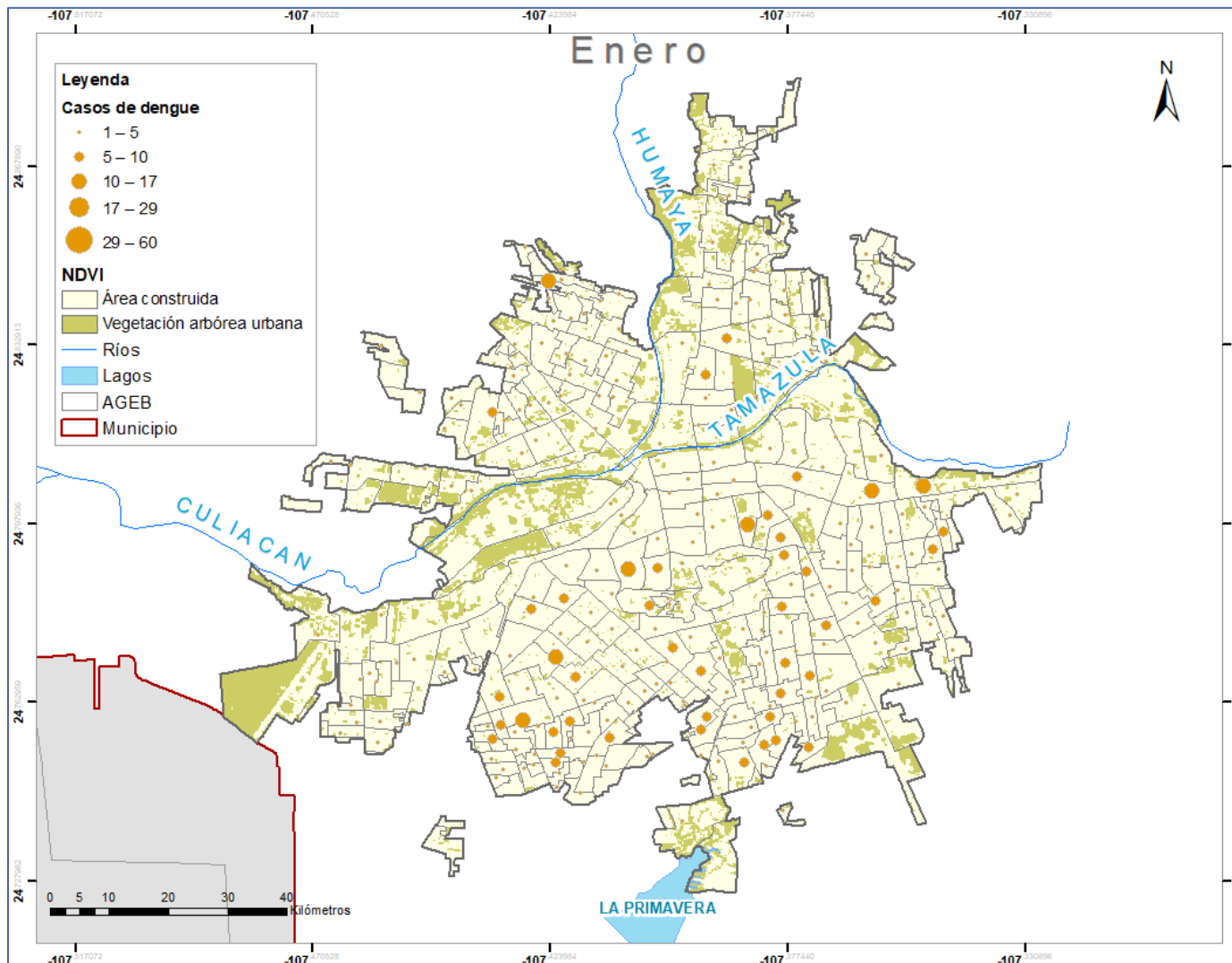


Fig. 40 NDVI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

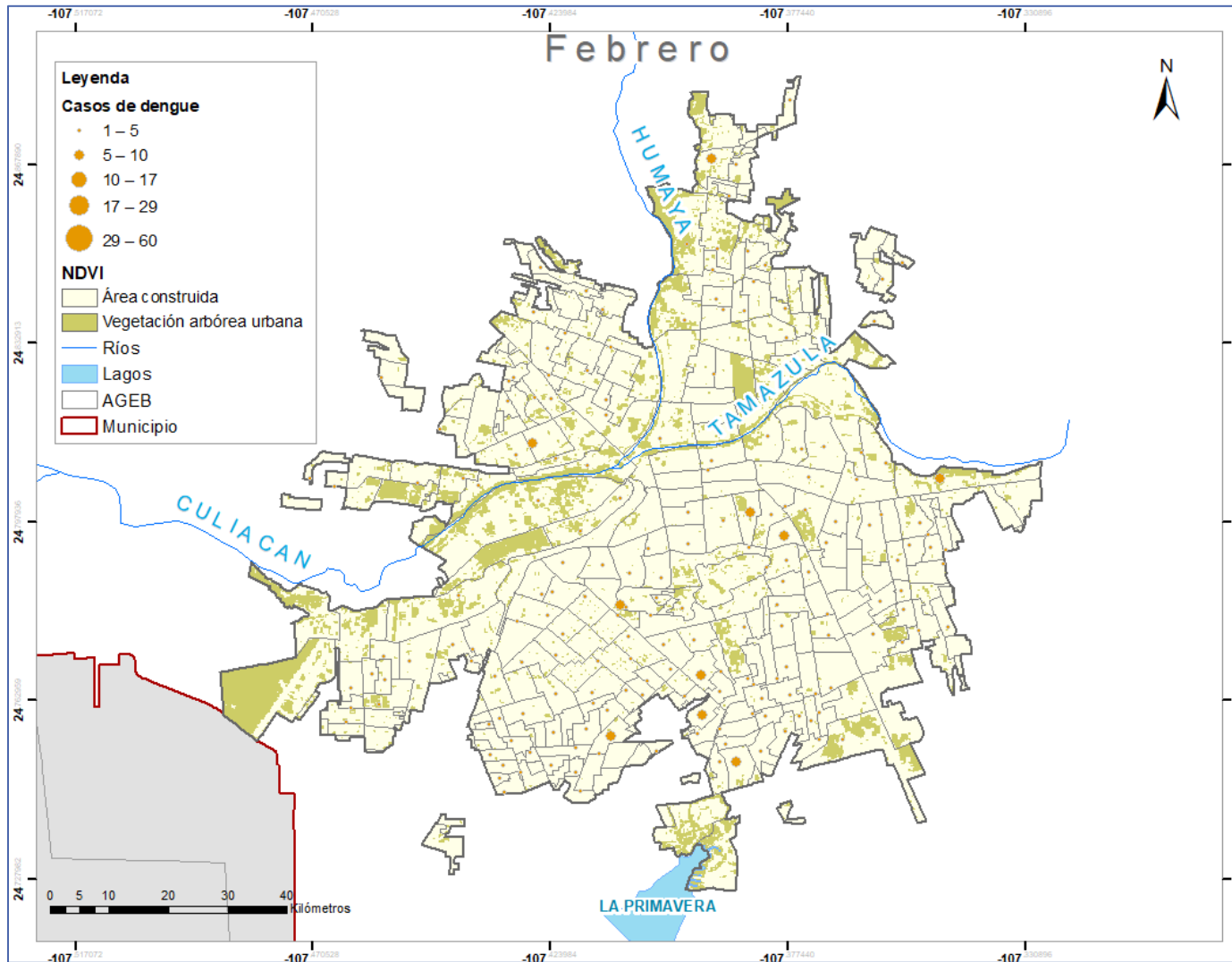


Fig. 41 NDVI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

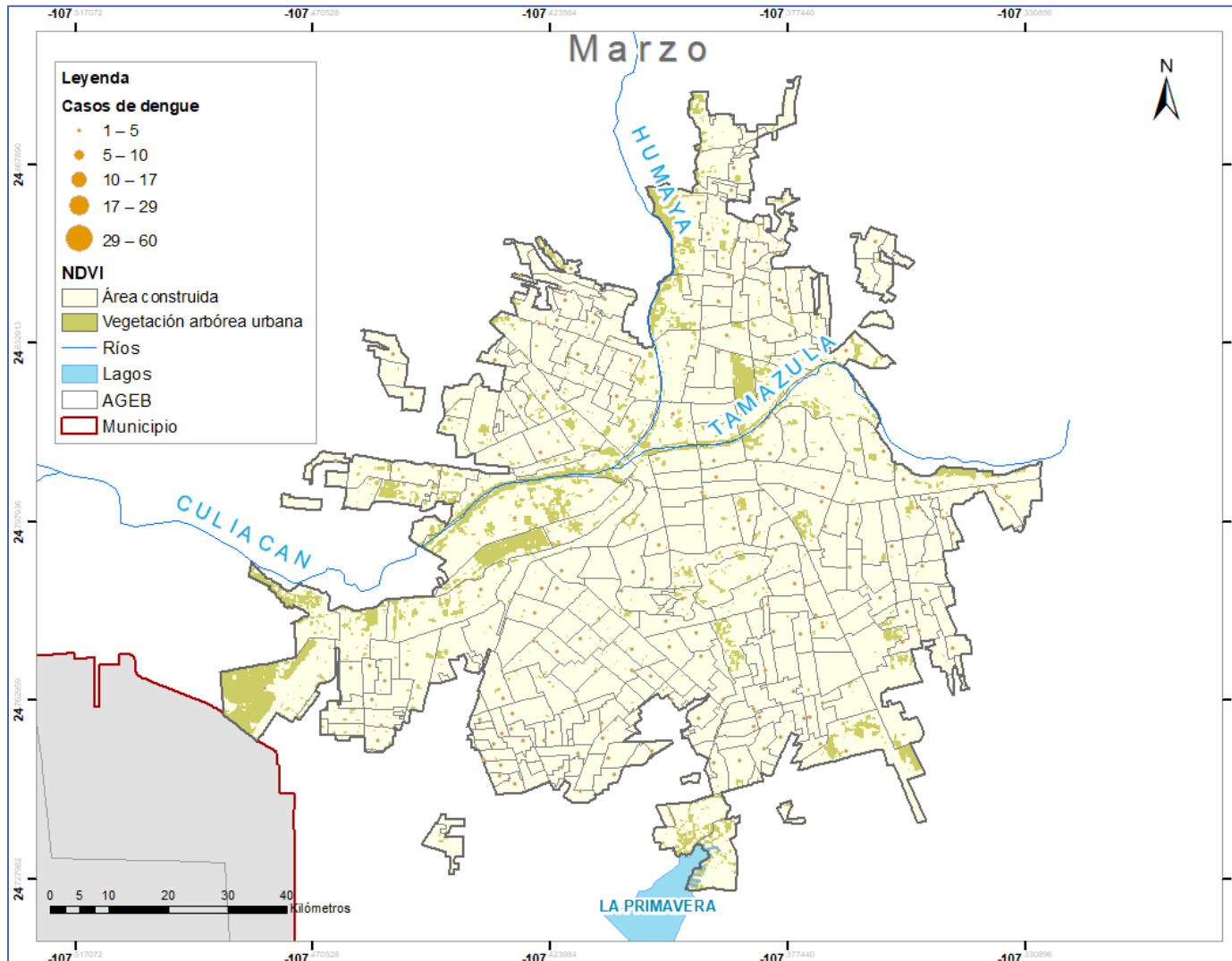


Fig. 42 NDVI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

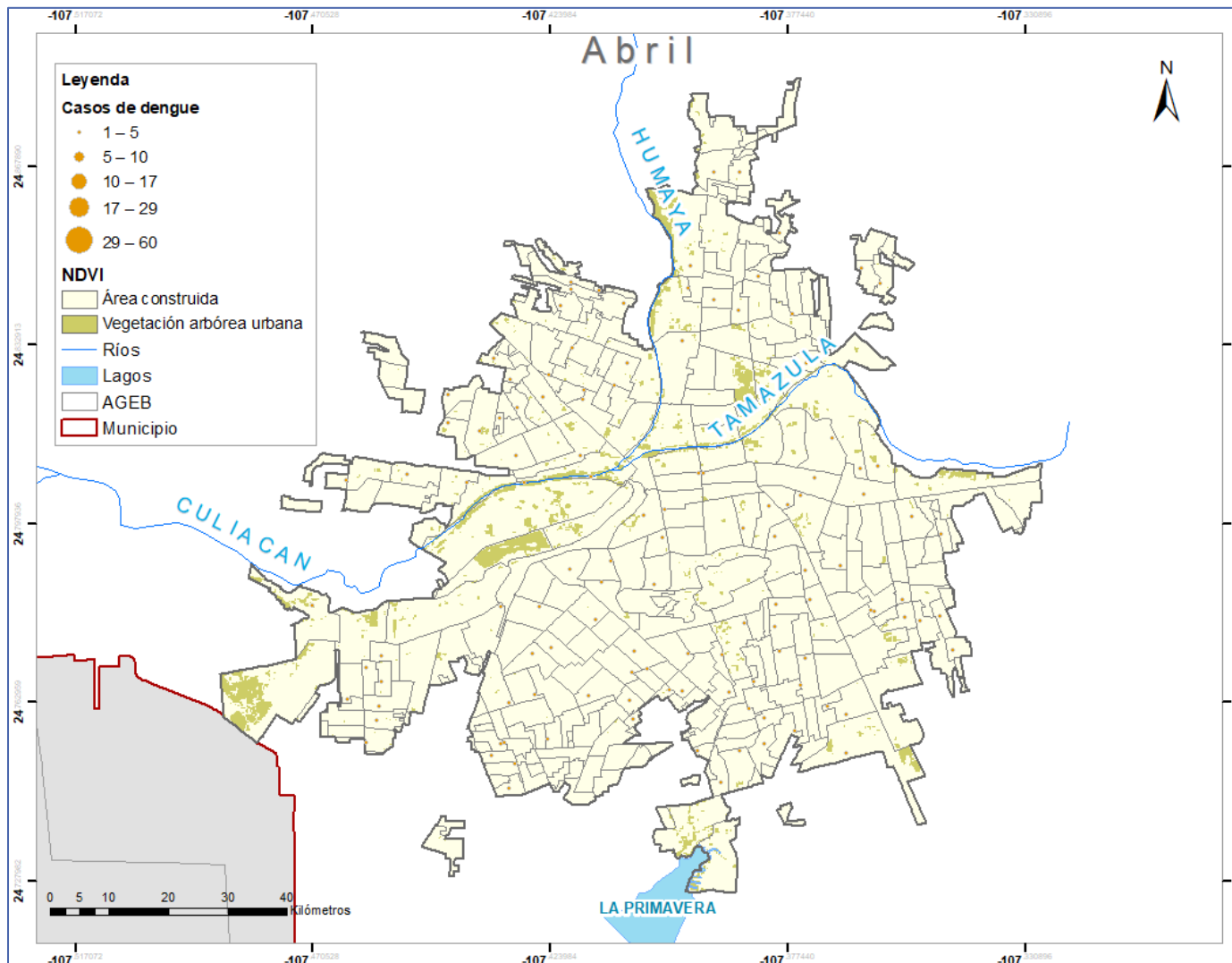


Fig. 43 NDVI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

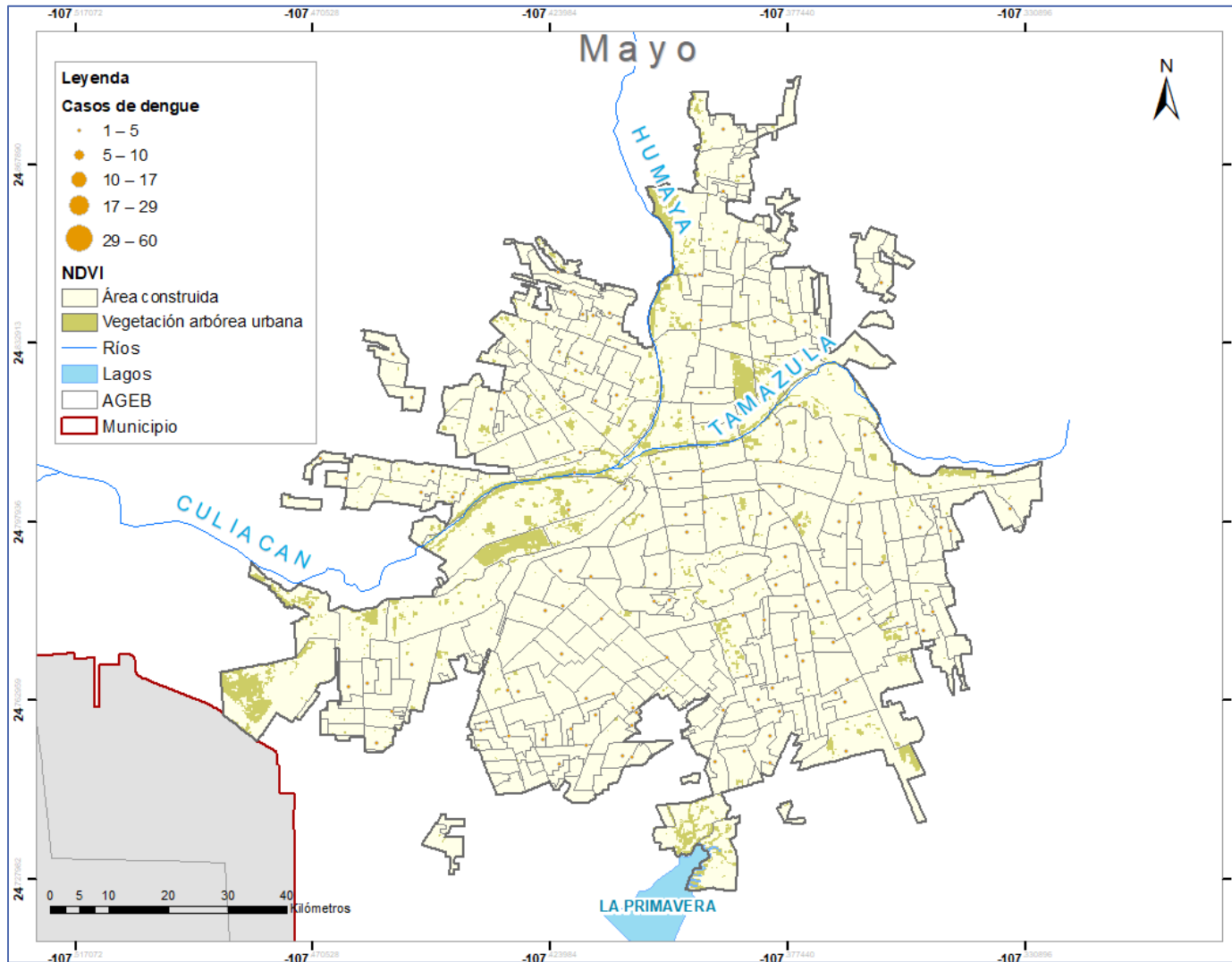


Fig. 44 NDVI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

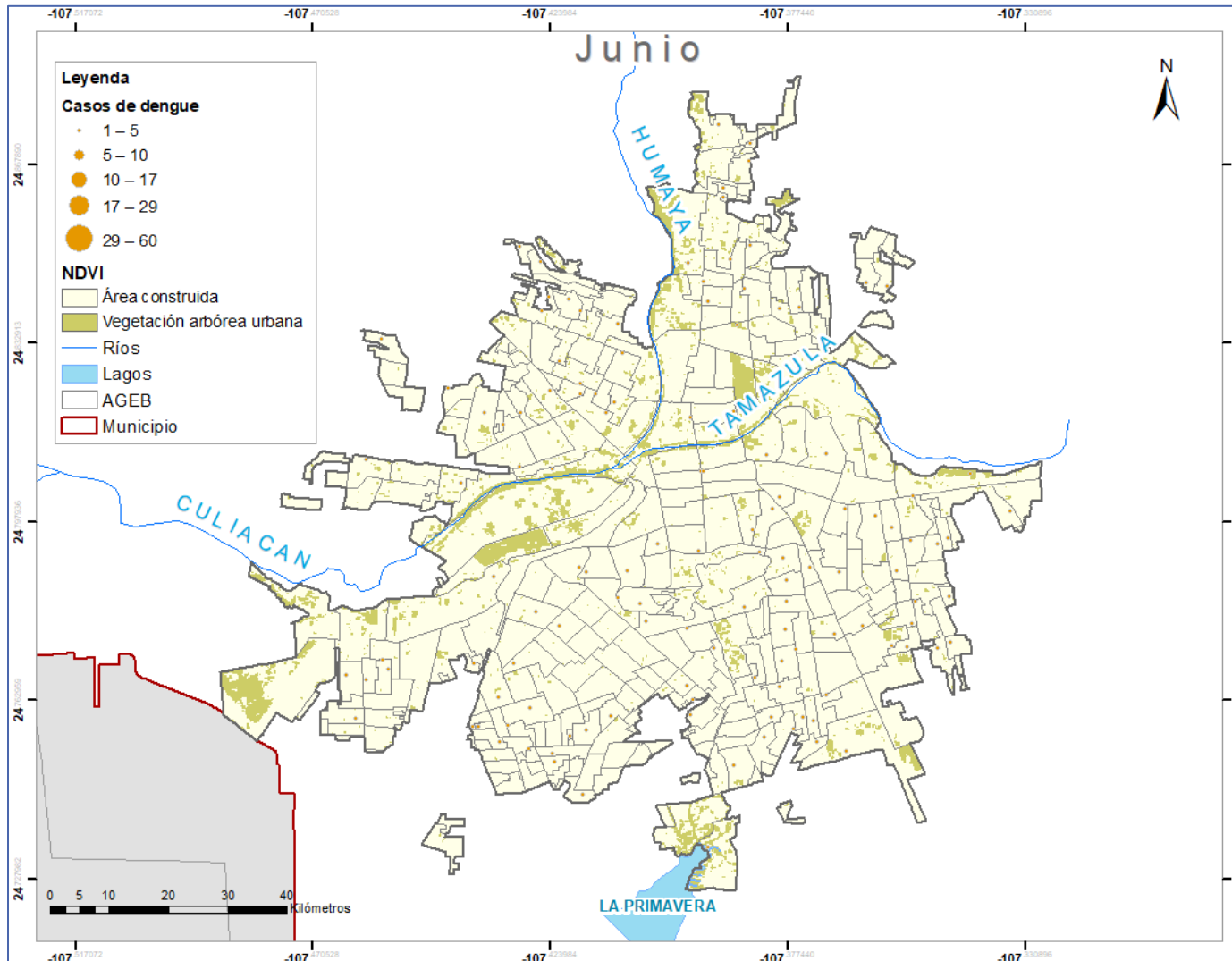


Fig. 45 NDVI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se presentan los mapas temáticos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue para este municipio para los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 46 a la Figura 51.

Para el mes de julio el 89% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 73% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 55% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 72% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 72% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 79% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 87% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 87% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 88% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 89% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 88% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

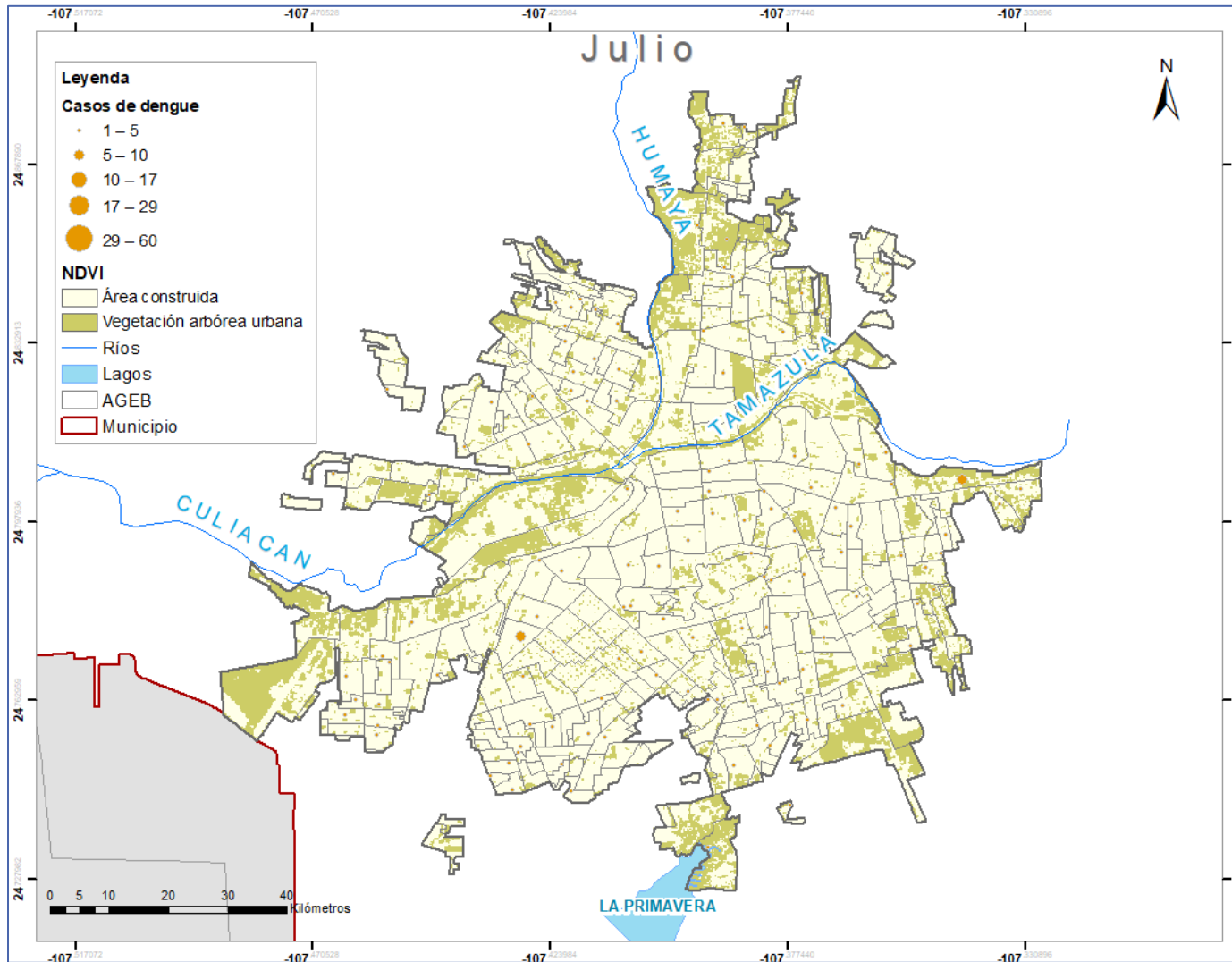


Fig. 46 NDVI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

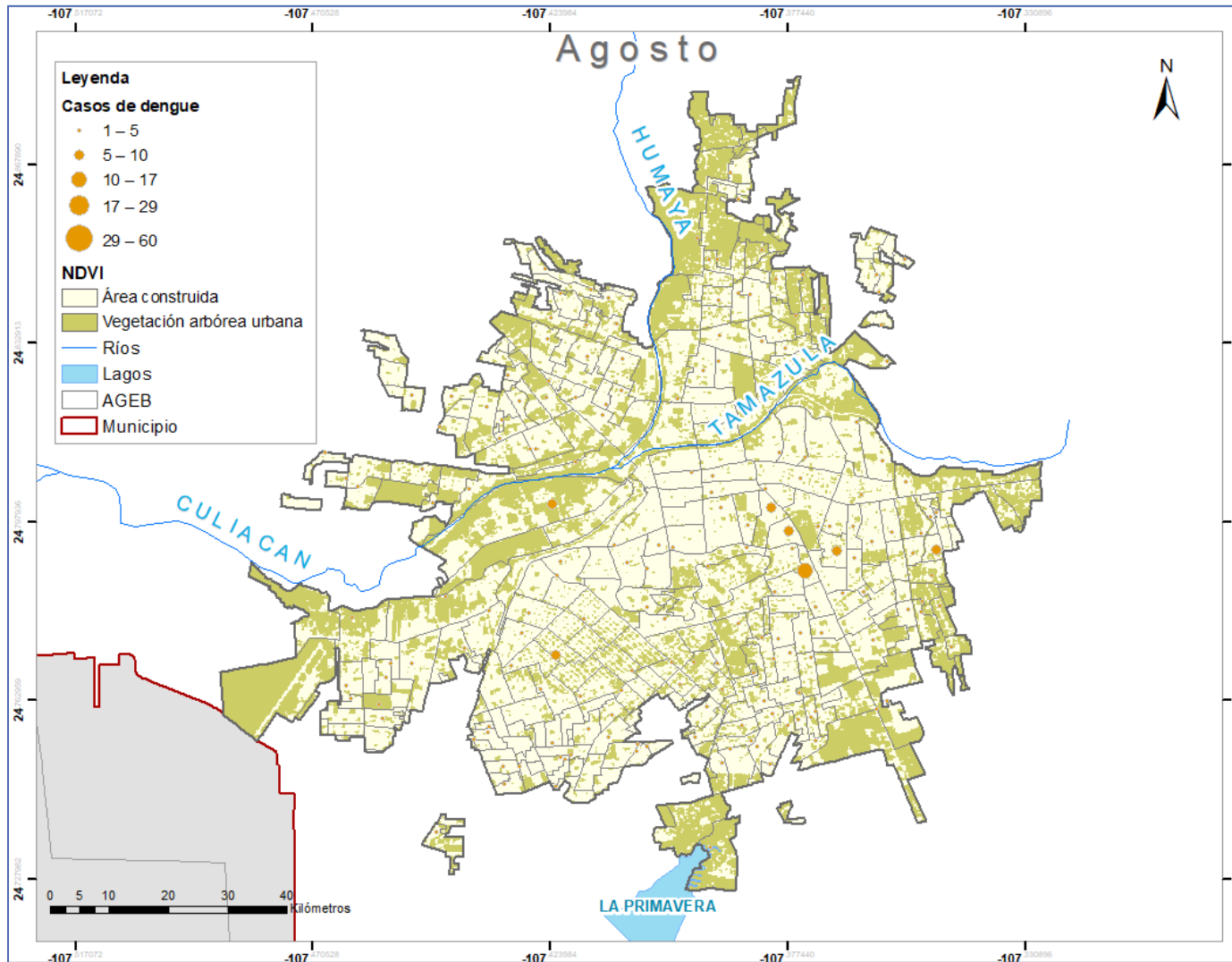


Fig. 47 NDVI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

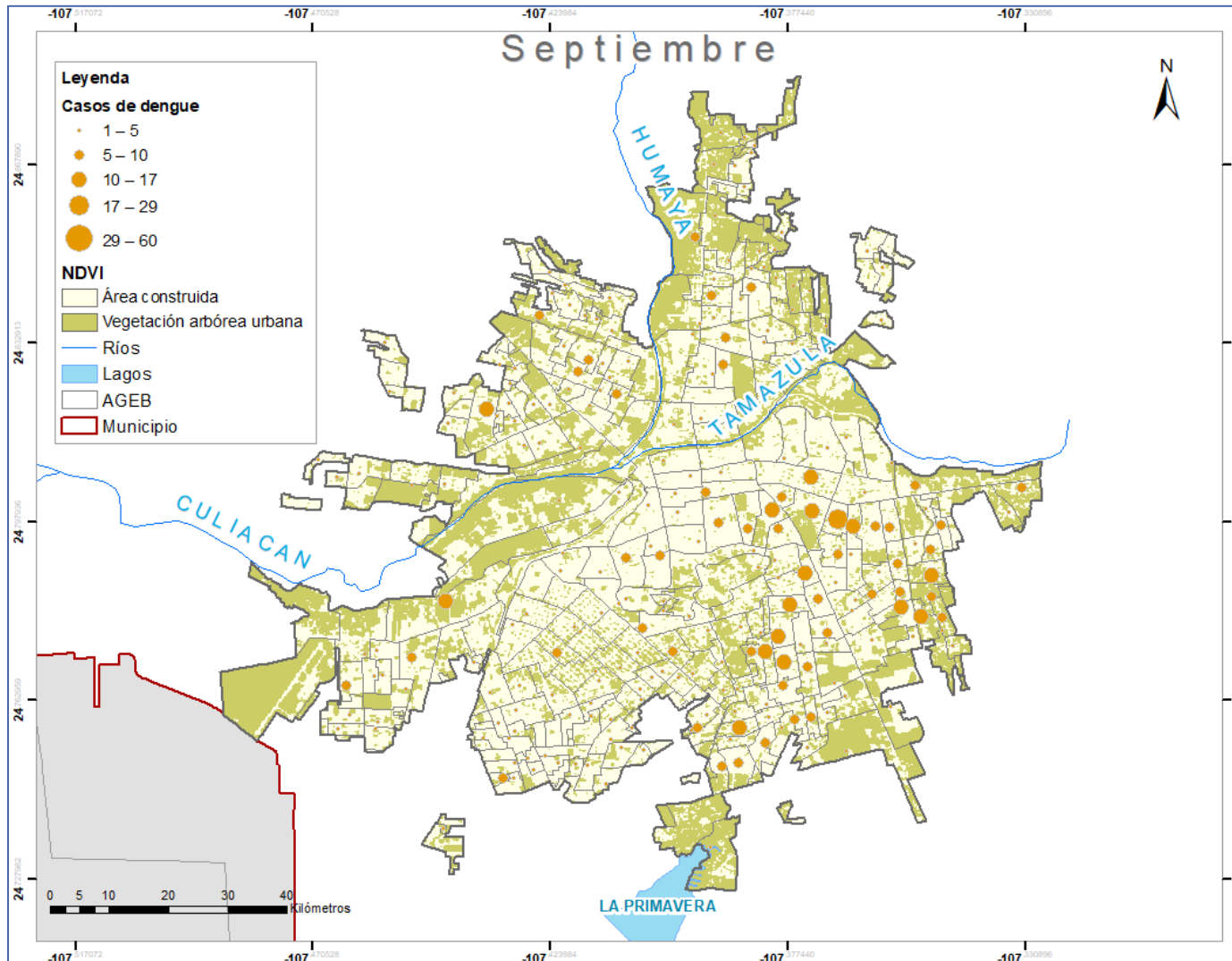


Fig. 48 NDVI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

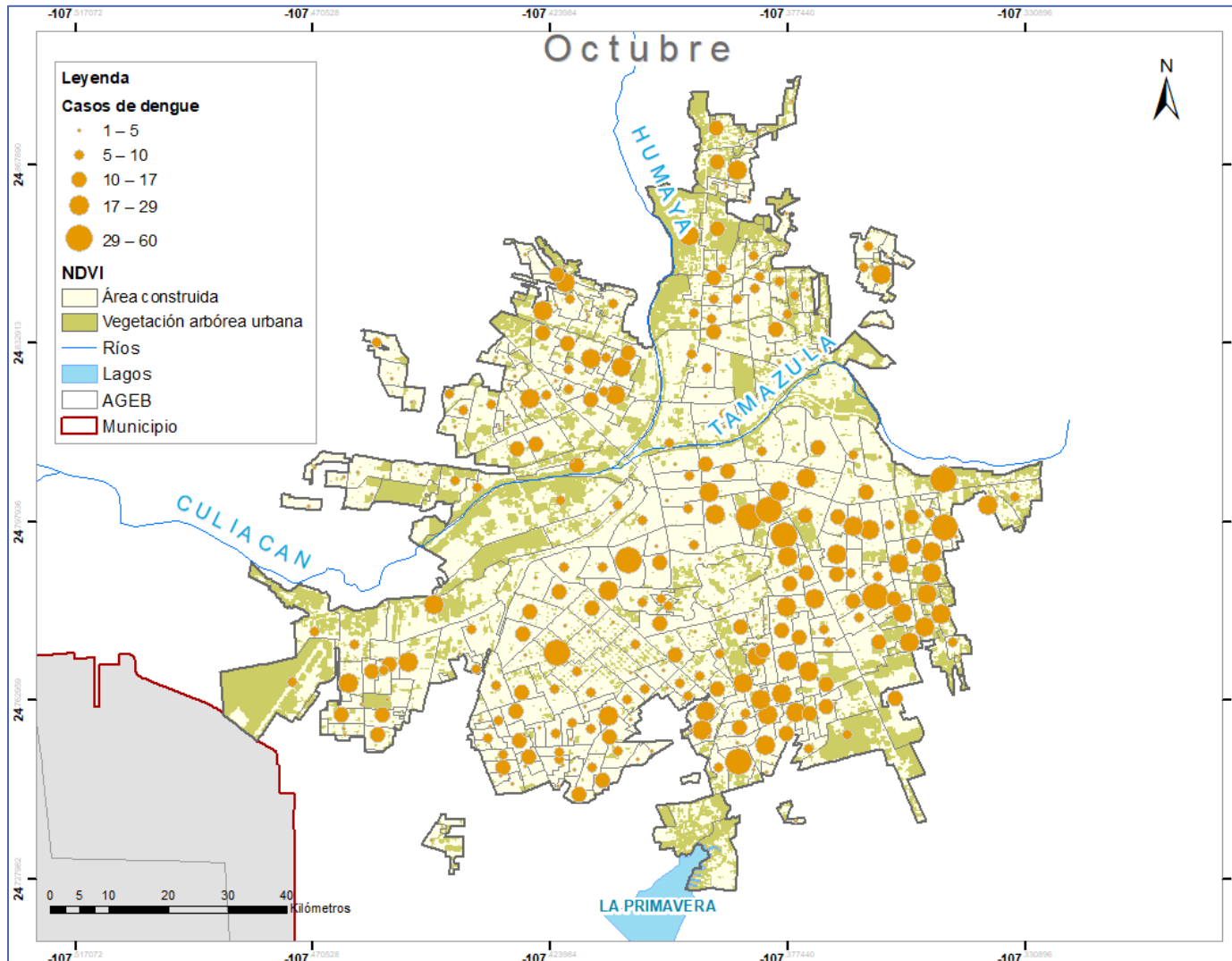


Fig. 49 NDVI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

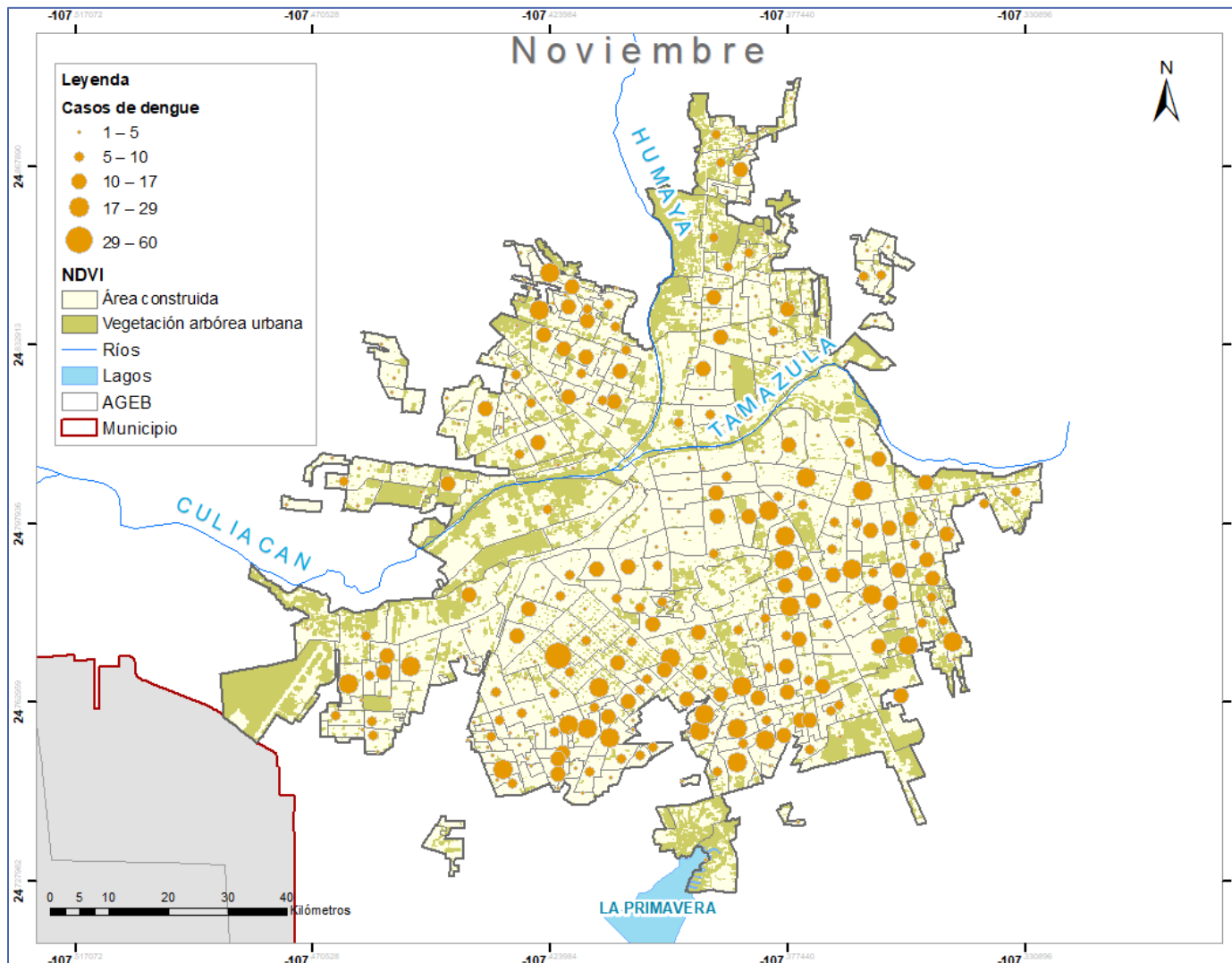


Fig. 50 NDVI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

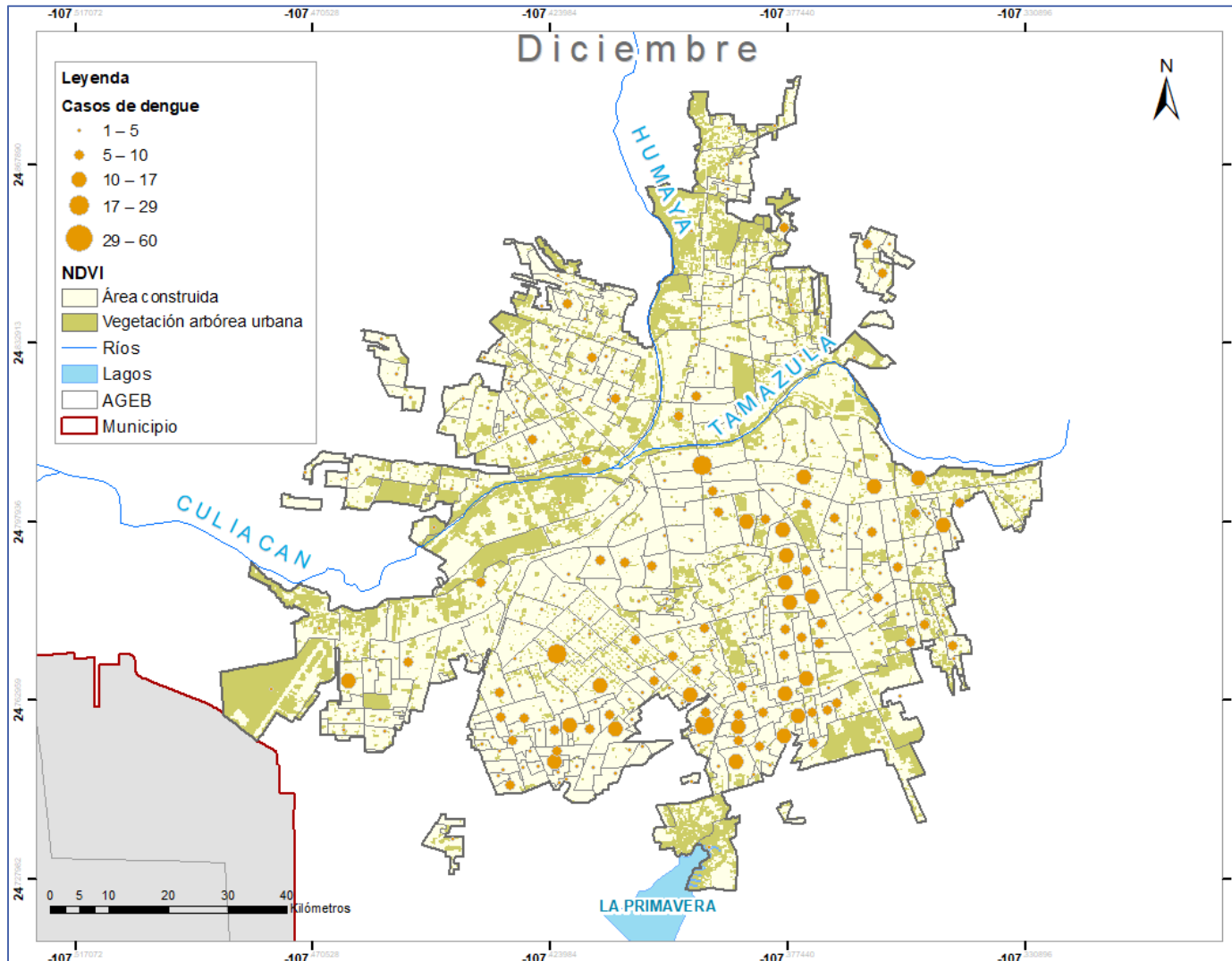


Fig. 51 NDVI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.1.2.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro, en la Figura 52 se puede observar que el comportamiento de la mediana del índice de vegetación no parece tener una estacionalidad en el año. Al igual se puede observar que para este municipio hay gran variabilidad espacial en las AGEB durante todo el año.

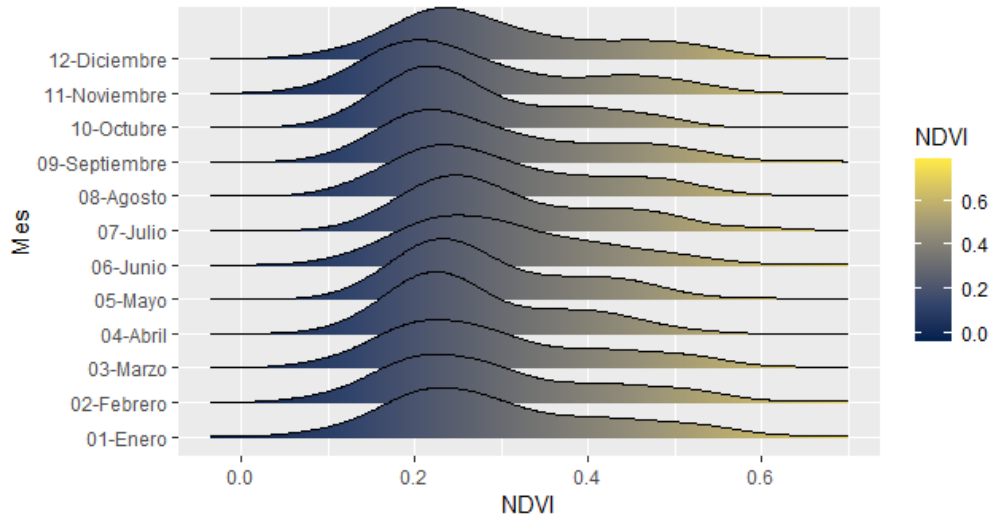


Fig. 52 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

Para el municipio Centro, de toda el área de estudio el 54% representa áreas verdes para el mes de marzo, dato que para el mes de septiembre es de 55%.

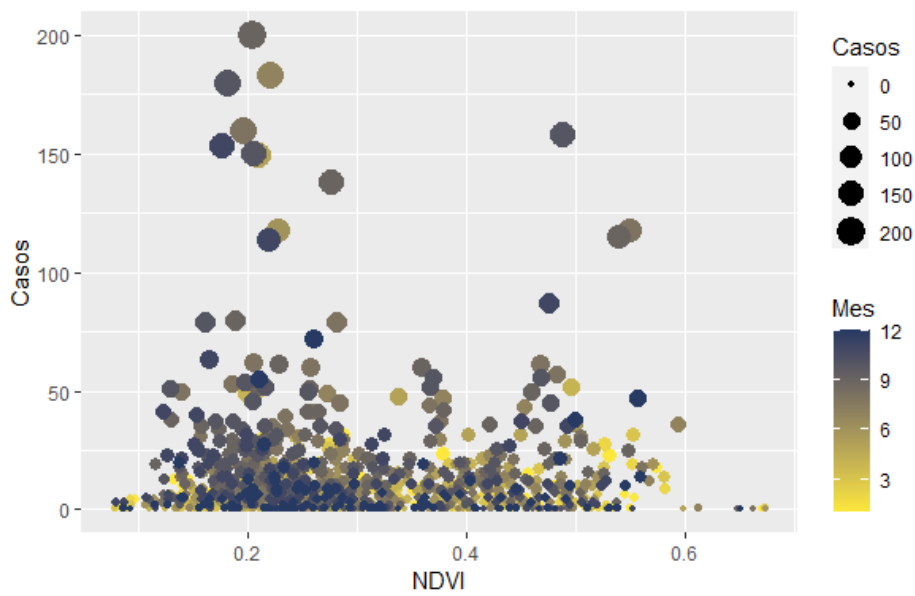


Fig. 53 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

La Figura 53 muestra que el 80% de los AGEB se encuentran en el nivel del NDVI menor o igual a 0.4, esto es adecuado para el desarrollo del mosquito transmisor del dengue. No se observa una relación lineal entre el incremento del NDVI y el incremento de los casos. Se puede ver que el total de casos por AGEB es igual para cualquier mes del año. Entre el rango de 0.1 a 0.3 se encuentran los AGEB con mayor número de casos.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 54 a la Figura 59.

Para el mes de enero el 65% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 92% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 66% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 66% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 82% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 70% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 83% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 69% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 90% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 62% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 92% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

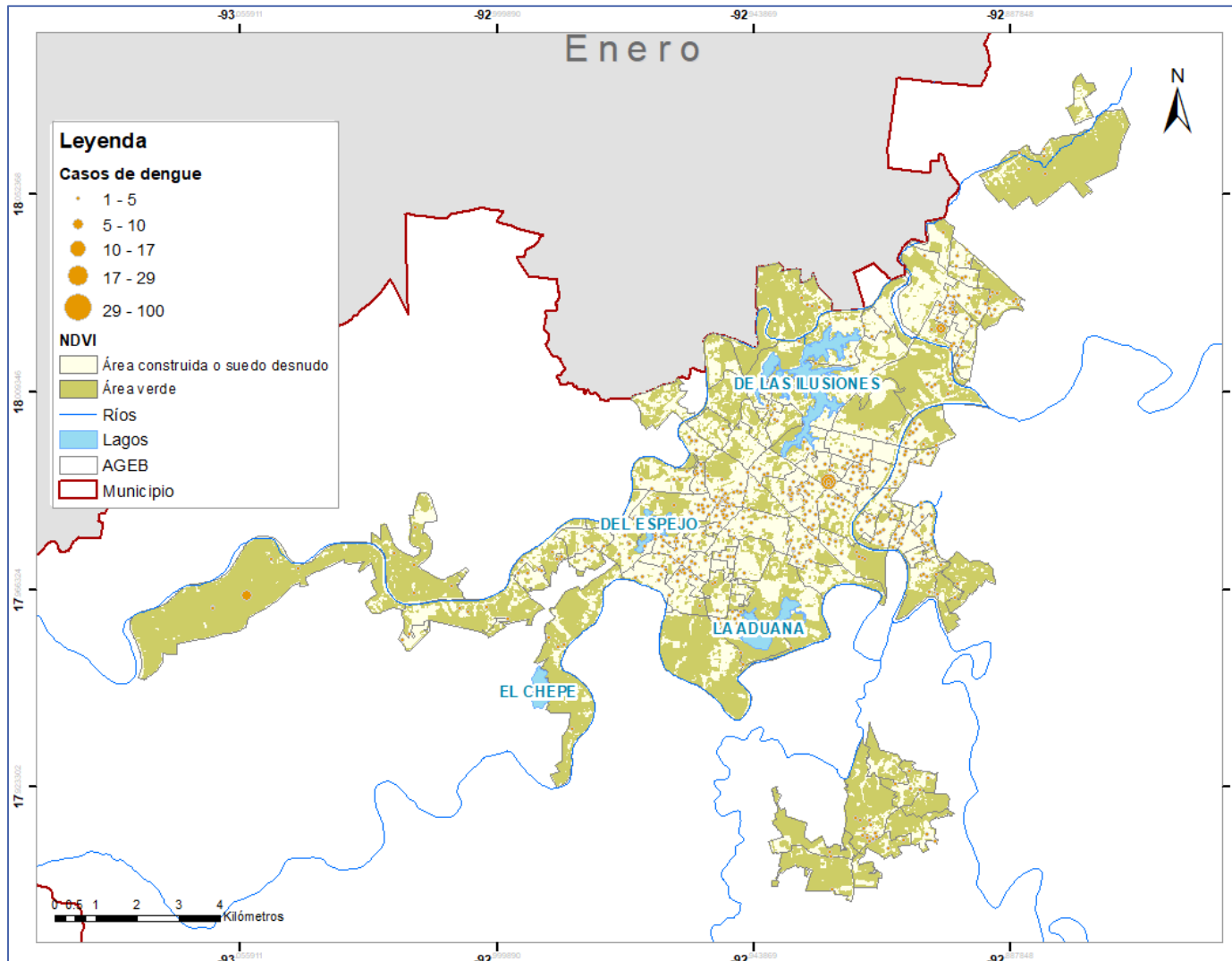


Fig. 54 NDVI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

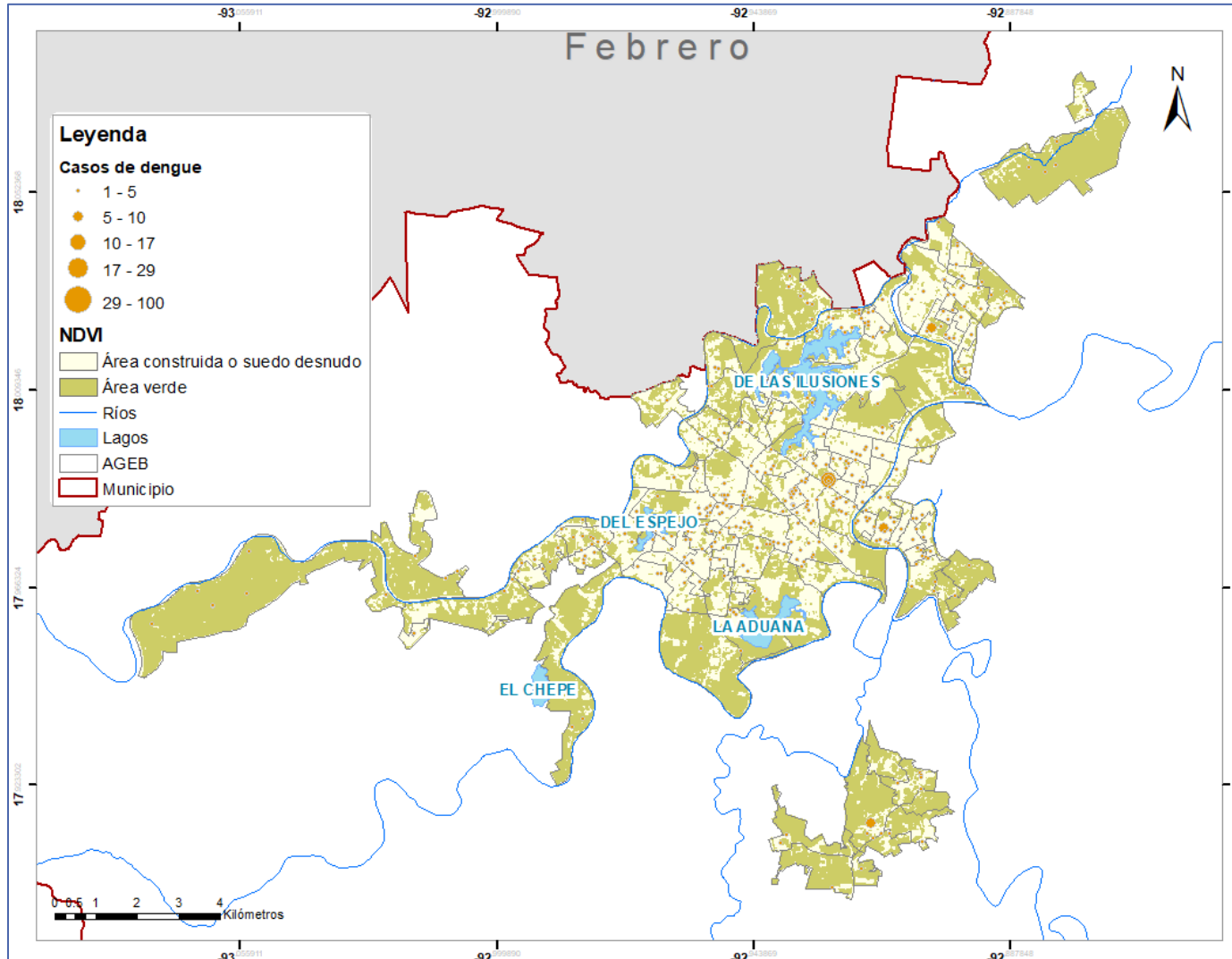


Fig. 55 NDVI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

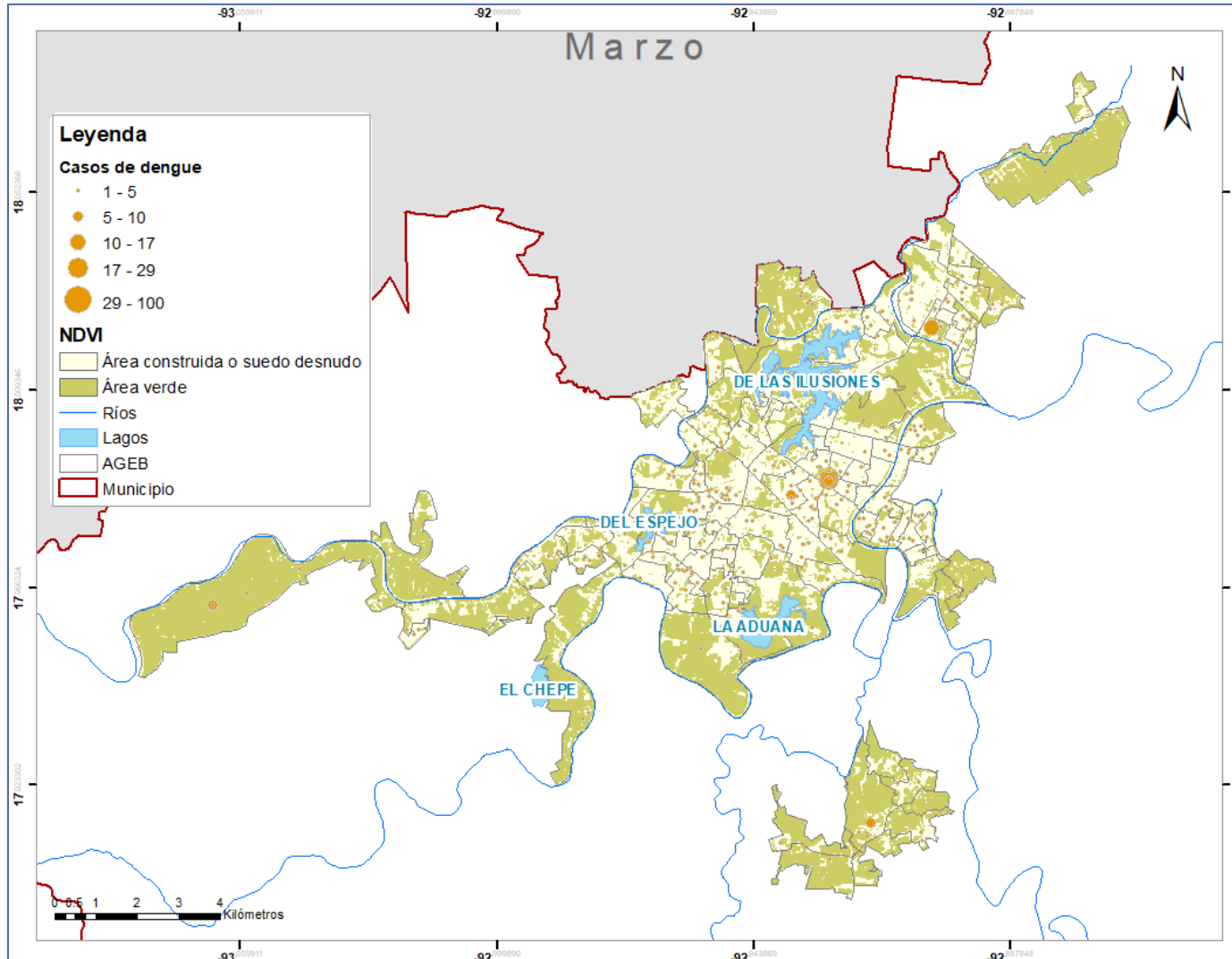


Fig. 56 NDVI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

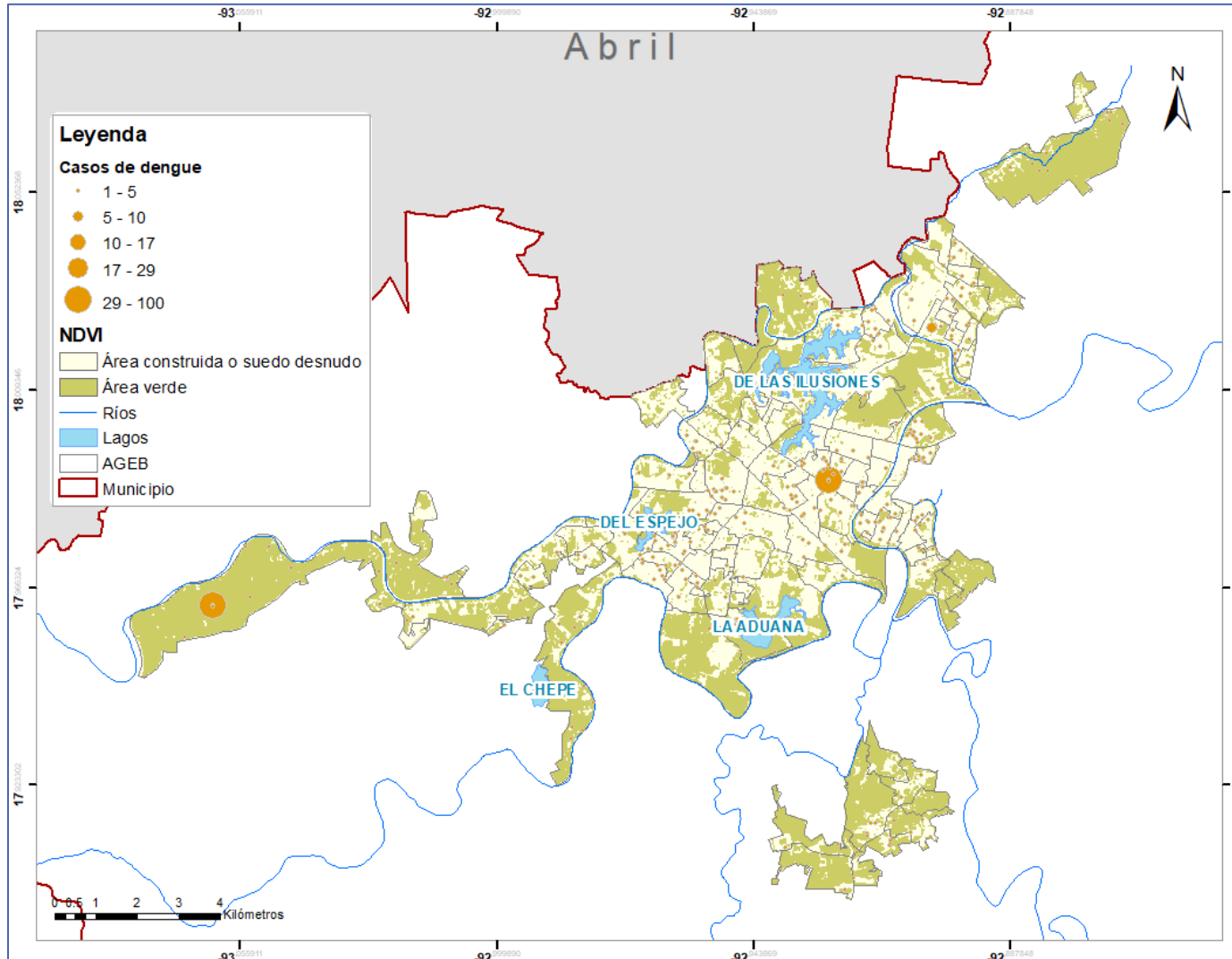


Fig. 57 NDVI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

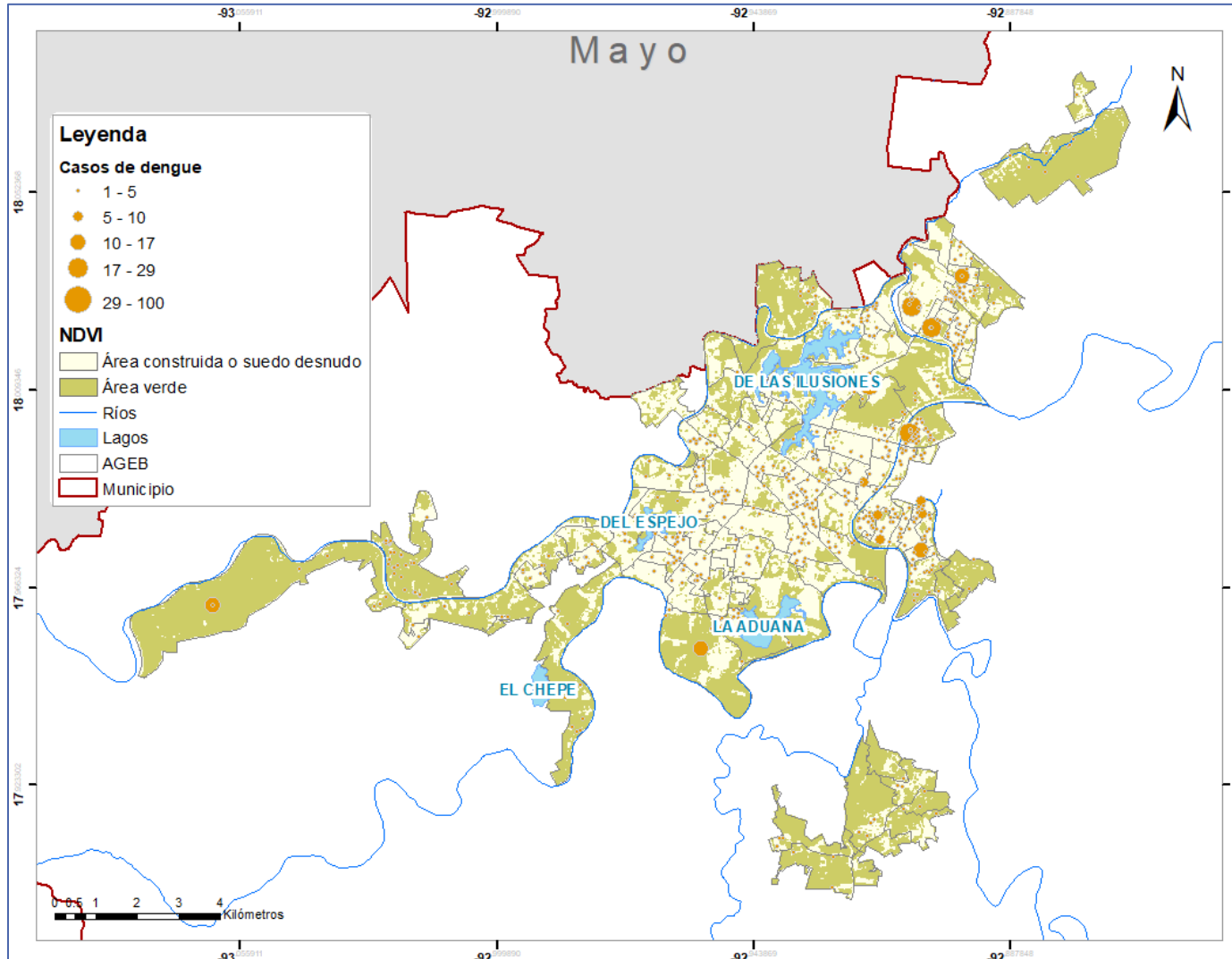


Fig. 58 NDVI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

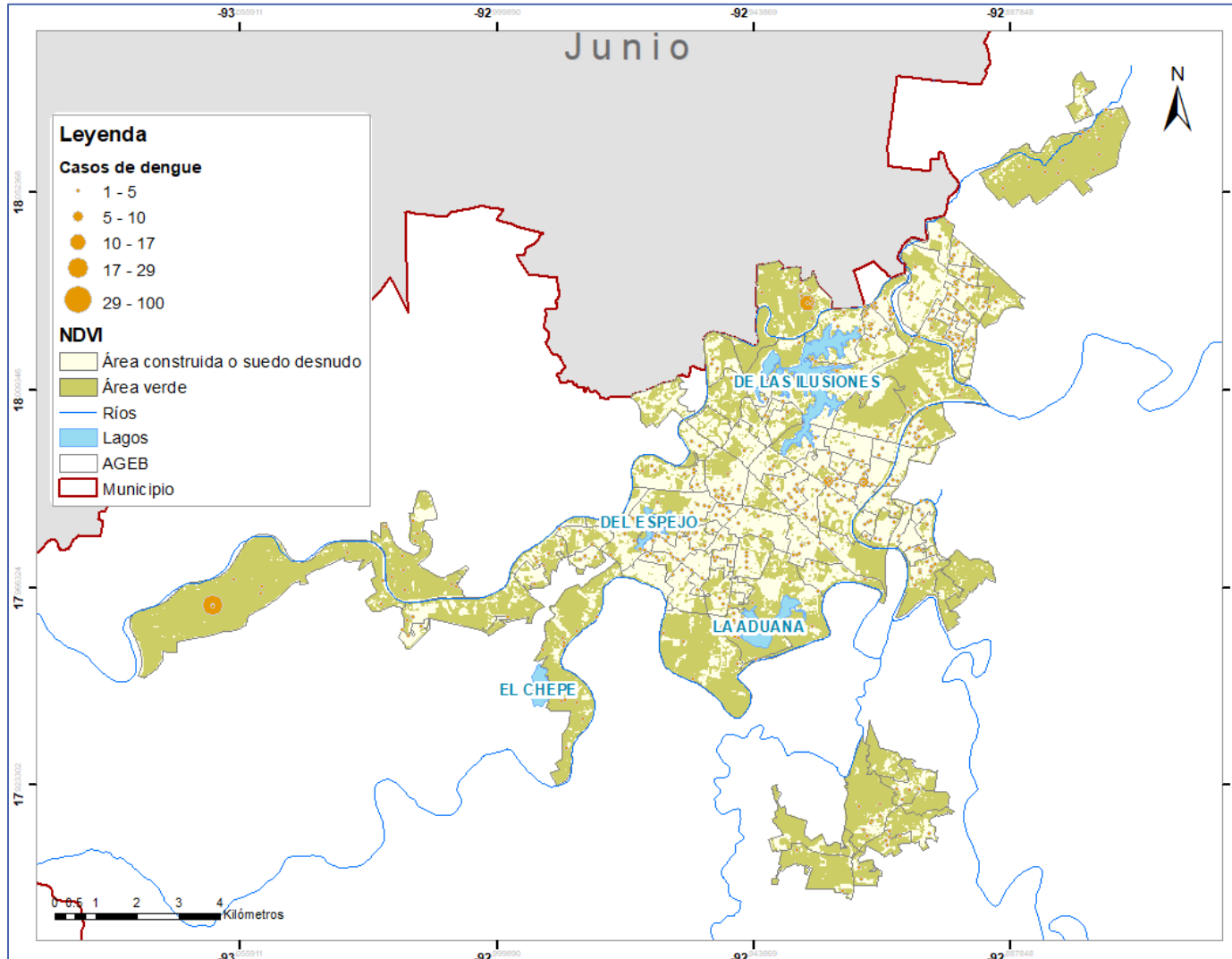


Fig. 59 NDVI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se presentan los mapas temáticos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue para este municipio para los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 60 a la Figura 65.

Para el mes de julio el 64% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 99% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 66% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 97% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 67% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 99% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 74% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 96% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 71% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 94% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

En el mes de diciembre el 63% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 88% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

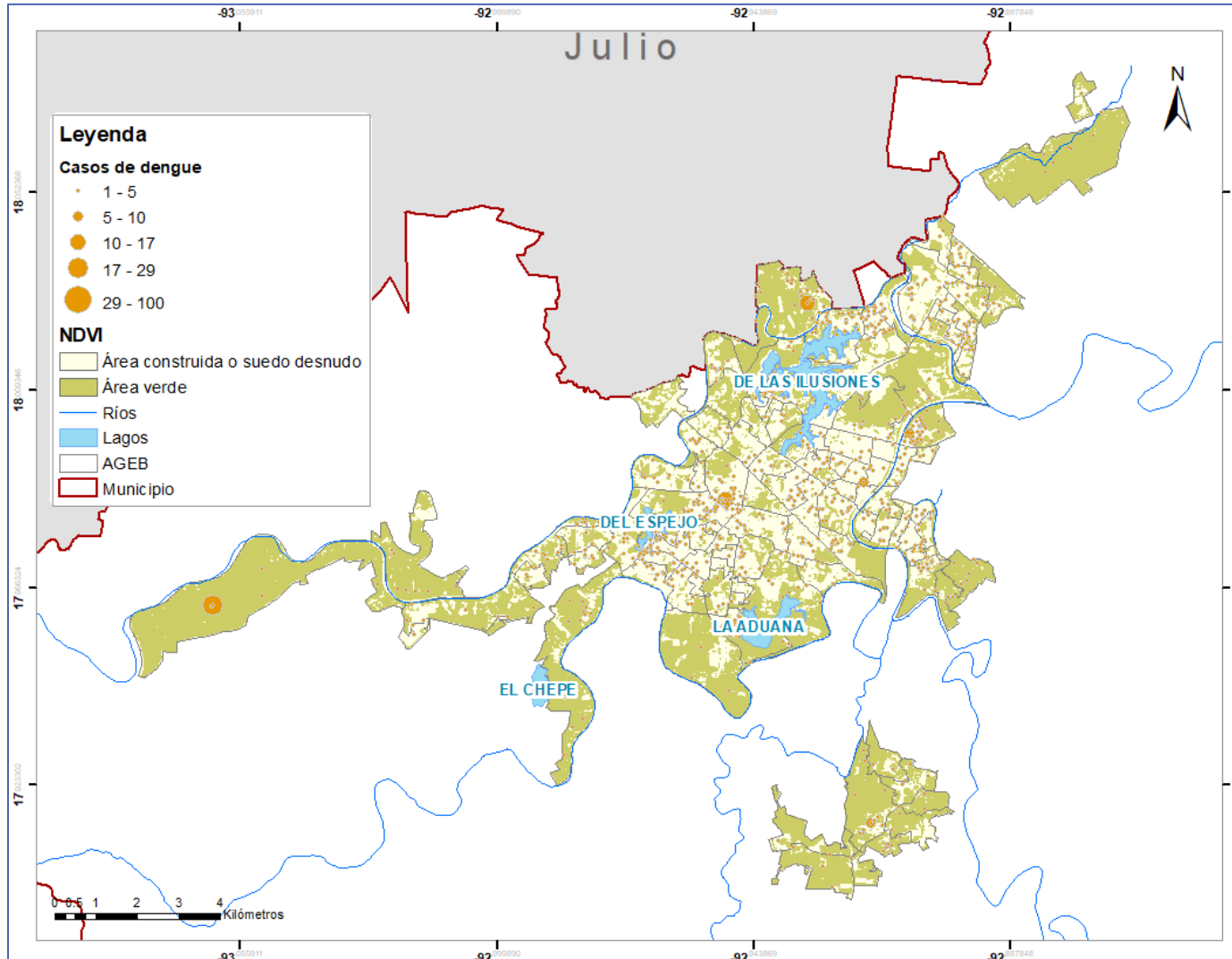


Fig. 60 NDVI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

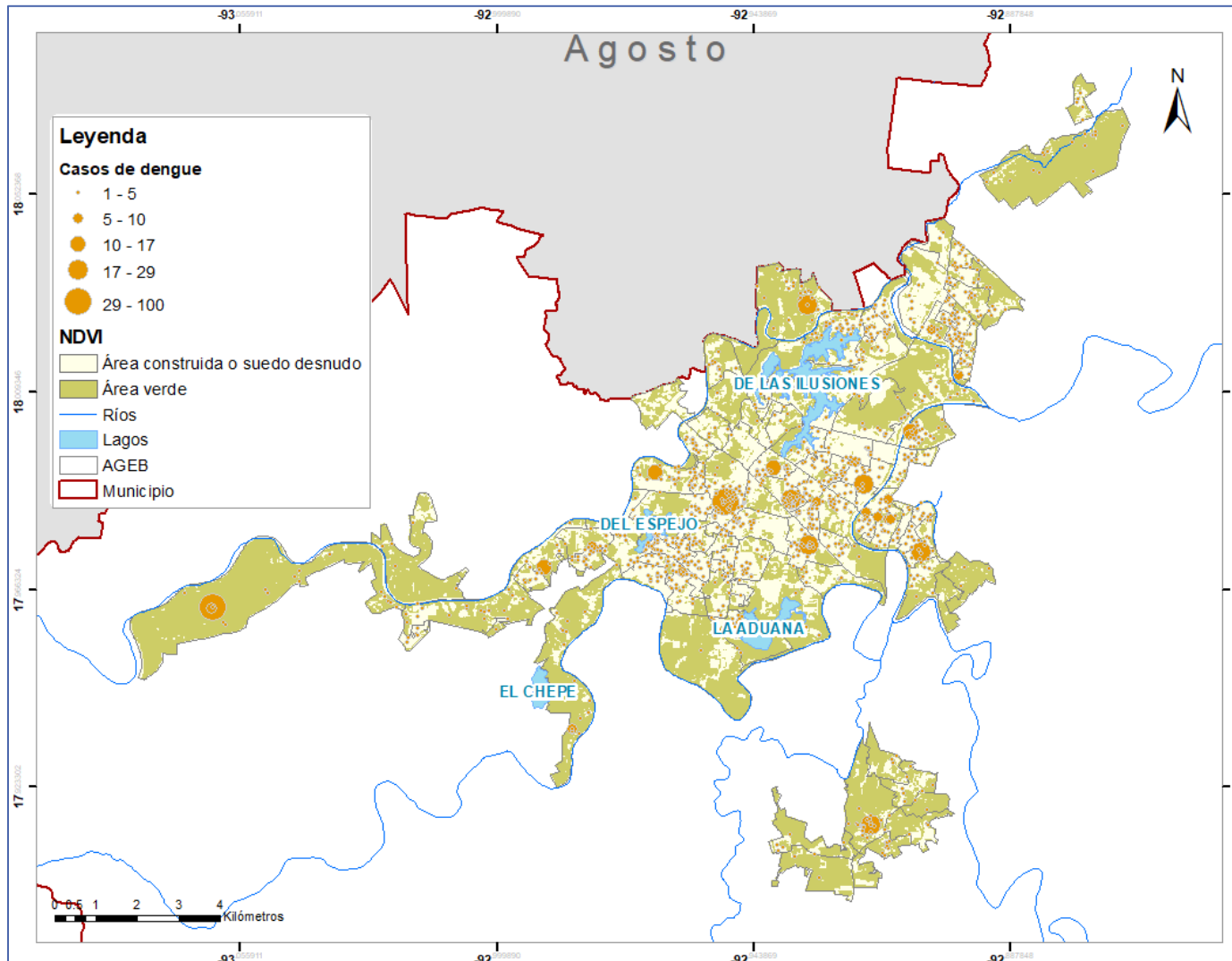


Fig. 61 NDVI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

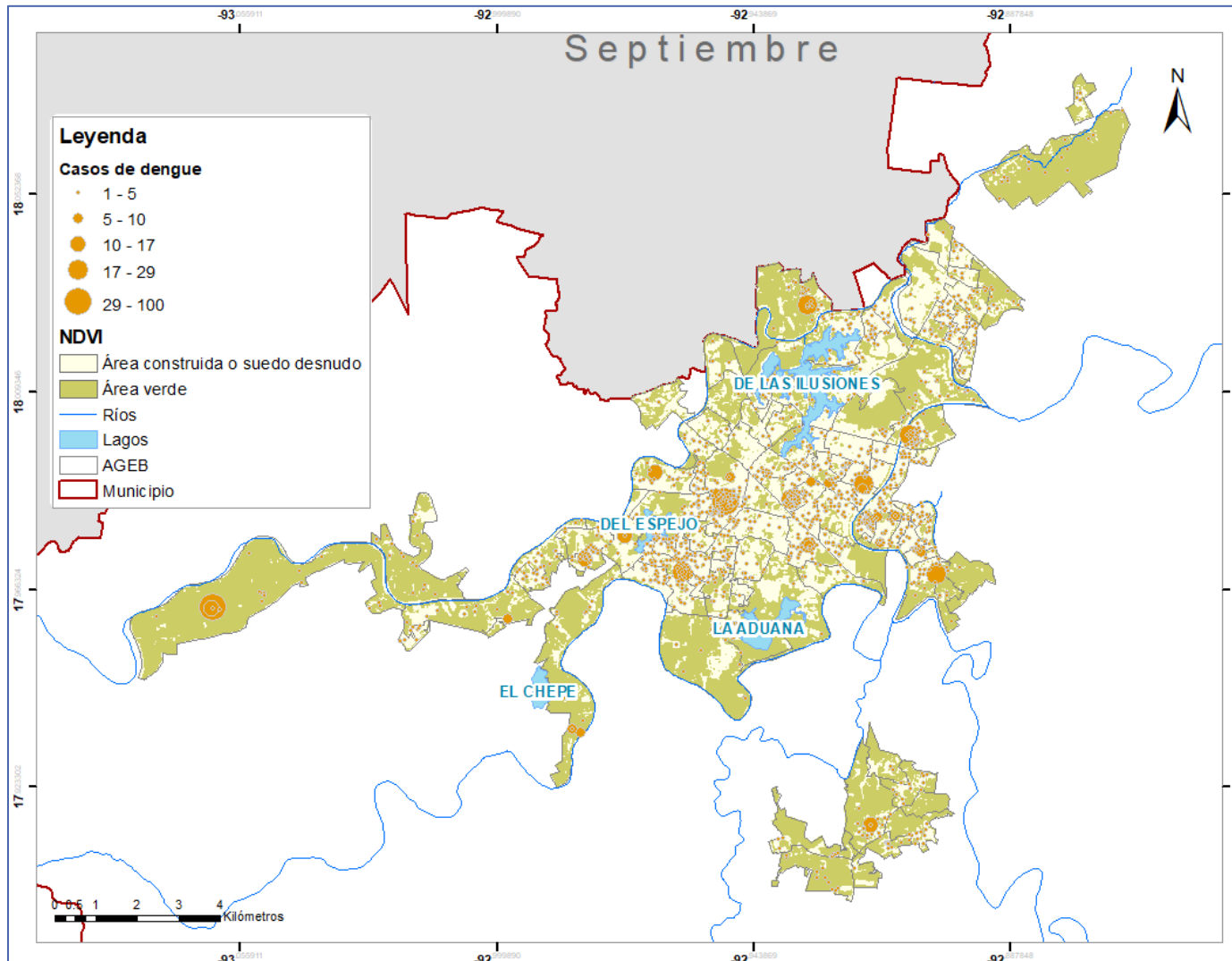


Fig. 62 NDVI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

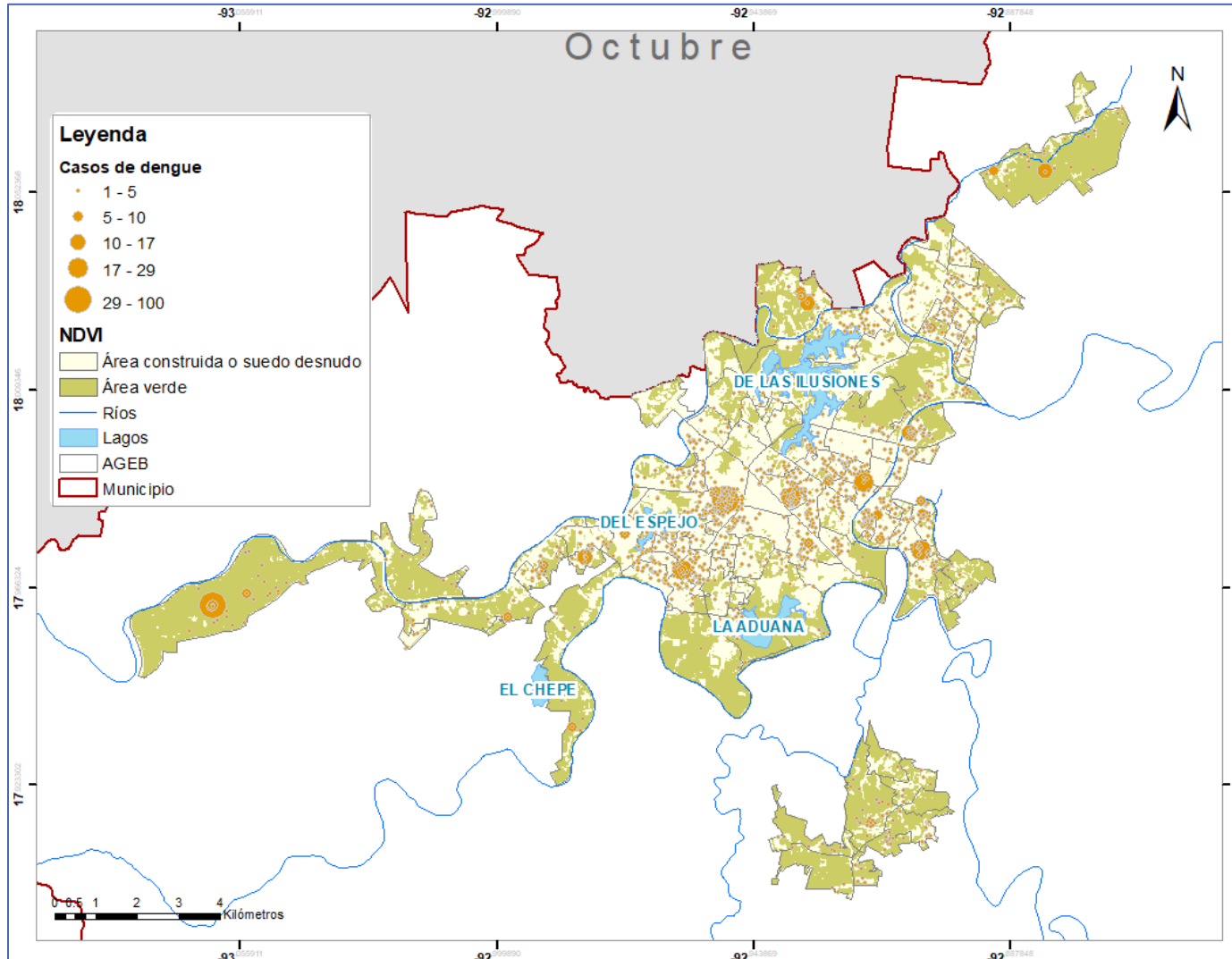


Fig. 63 NDVI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

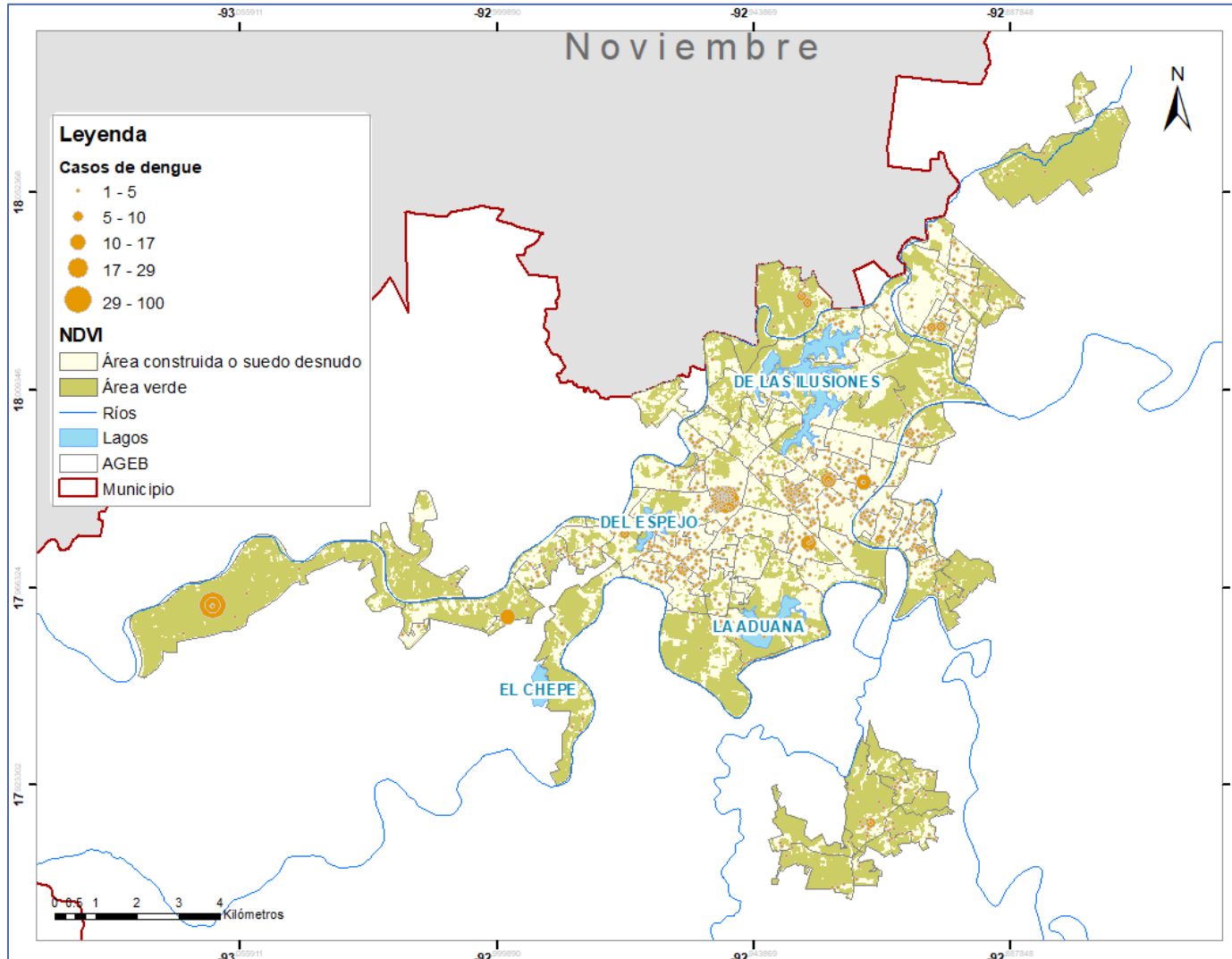


Fig. 64 NDVI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

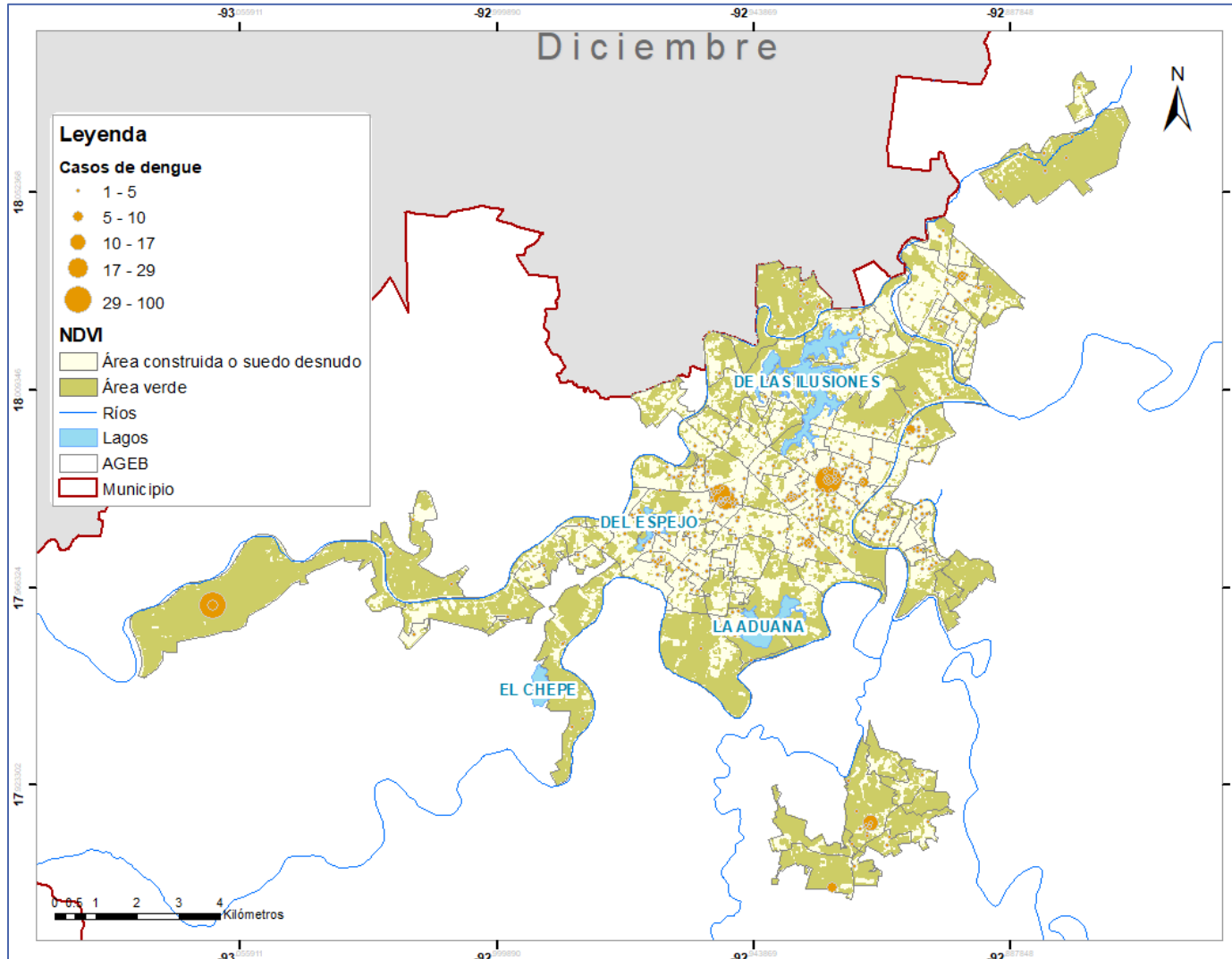


Fig. 65 NDVI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

3.1.3 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI)

3.1.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán Sinaloa en la Figura 66 se observa que en el comportamiento anual del NDMI, en el primer semestre del año hay una ligera disminución en la humedad, es decir, que los datos están muy cerca de la media, esto indica que existe poca variabilidad en el índice de humedad en estos meses. A partir del mes de julio se nota un incremento en el índice de humedad, llega a su máximo punto en los meses de agosto y septiembre, esto está marcado por la temporada de lluvia. En octubre el índice de humedad inicia con un descenso que termina en diciembre y donde se vuelve a presentar datos cercanos de la media.

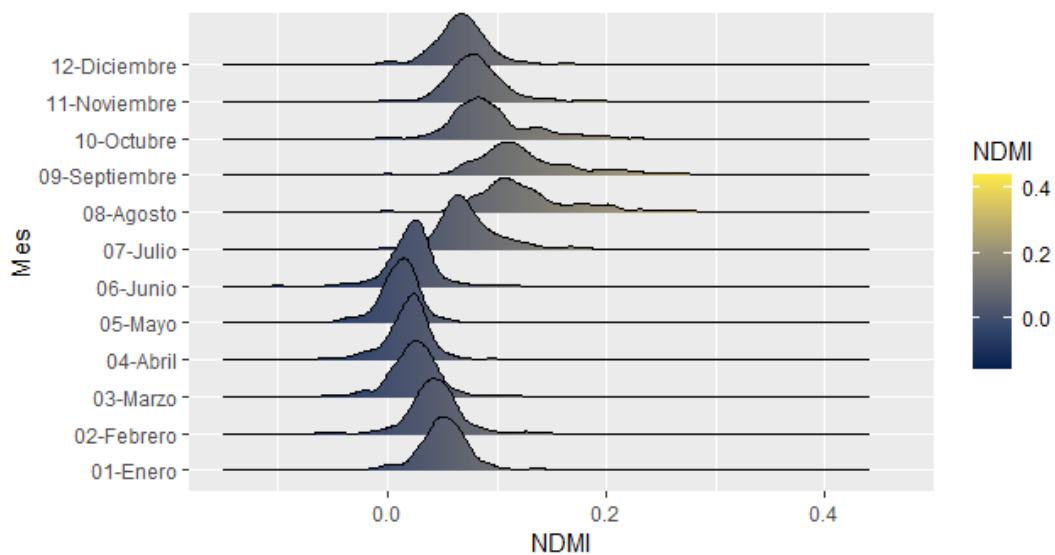


Fig. 66 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) mensual por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Culiacán, de toda el área de estudio el 9% representa áreas con alta humedad para el mes de abril, dato que para el mes de octubre llega al 23%.

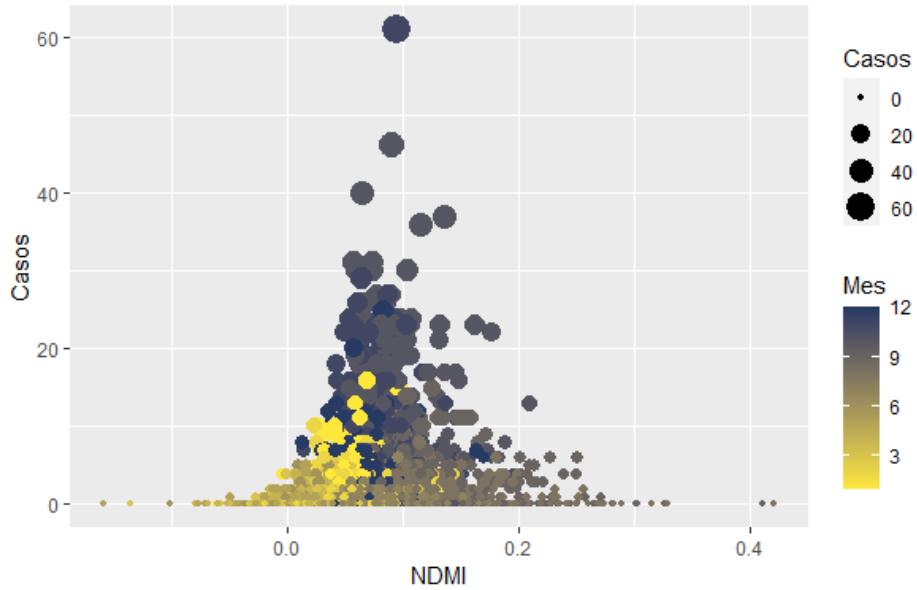


Fig. 67 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

La Figura 67 muestra que el 96% de los AGEB se encuentran en el nivel del NDMI de 0 a 0.2, esto va ligado con el NDVI ya que donde hay vegetación arbórea también hay humedad y esto proporciona el ambiente adecuado para el desarrollo del mosquito transmisor del dengue. No se observa una relación lineal entre el incremento del NDMI y el incremento de los casos. Se puede distinguir que en el rango de 0 a 0.1 se concentran los AGEB con casos en el primer semestre del año, esto debido a que es la época de sequía, de 0.05 a 0.15 se concentra la mayoría de los AGEB y se puede observar que el segundo semestre del año es donde los AGEB presentan mayor número de casos de dengue reportados para esta área de estudio. Esto va ligado con la temporada de lluvias de este municipio.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del Índice de Humedad de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 68 a la Figura 73.

Para el mes de enero el 17% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 77% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 9% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 55% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 3% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 50% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 2% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 17% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 2% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 17% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 3% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 40% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

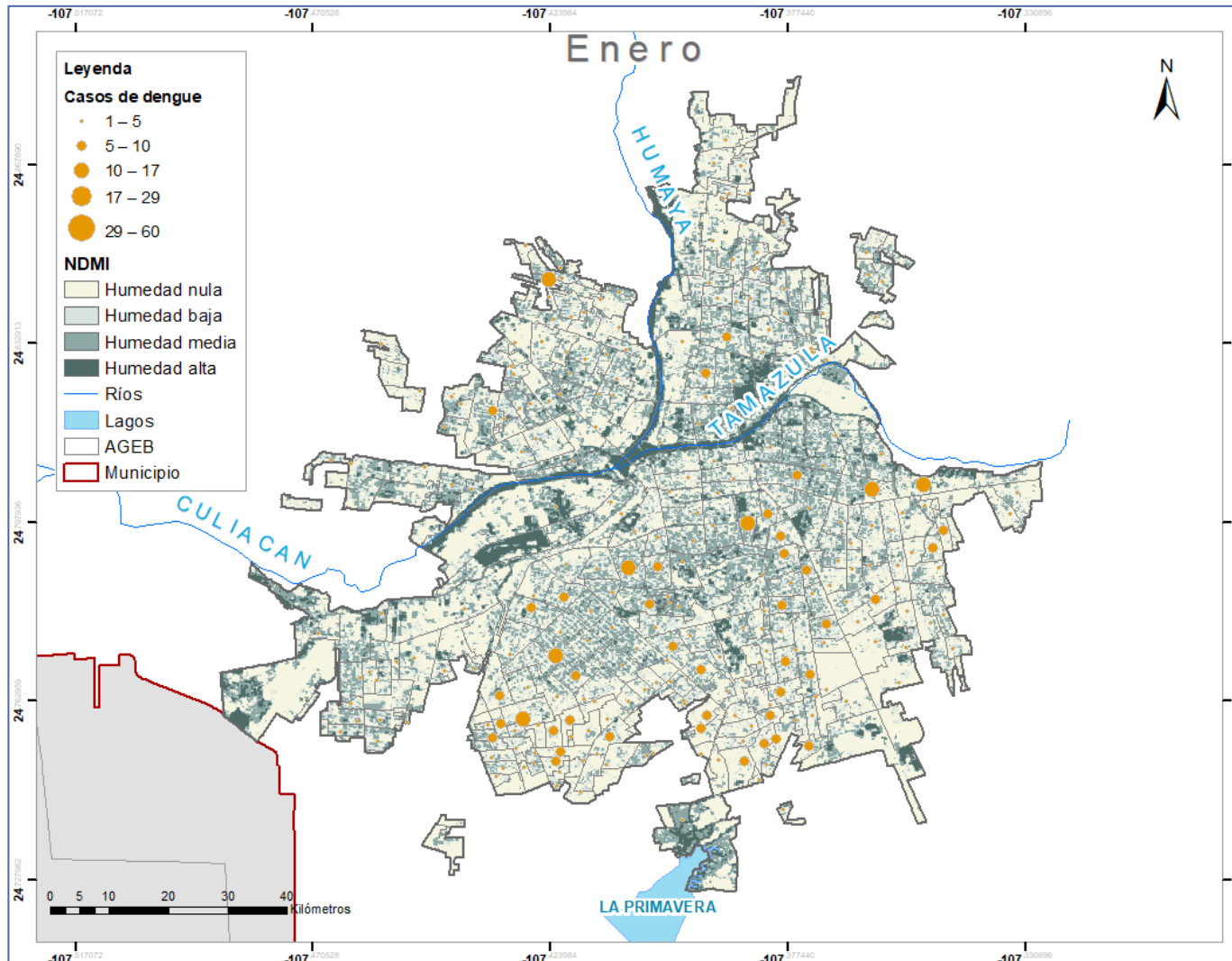


Fig. 68 NDMI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

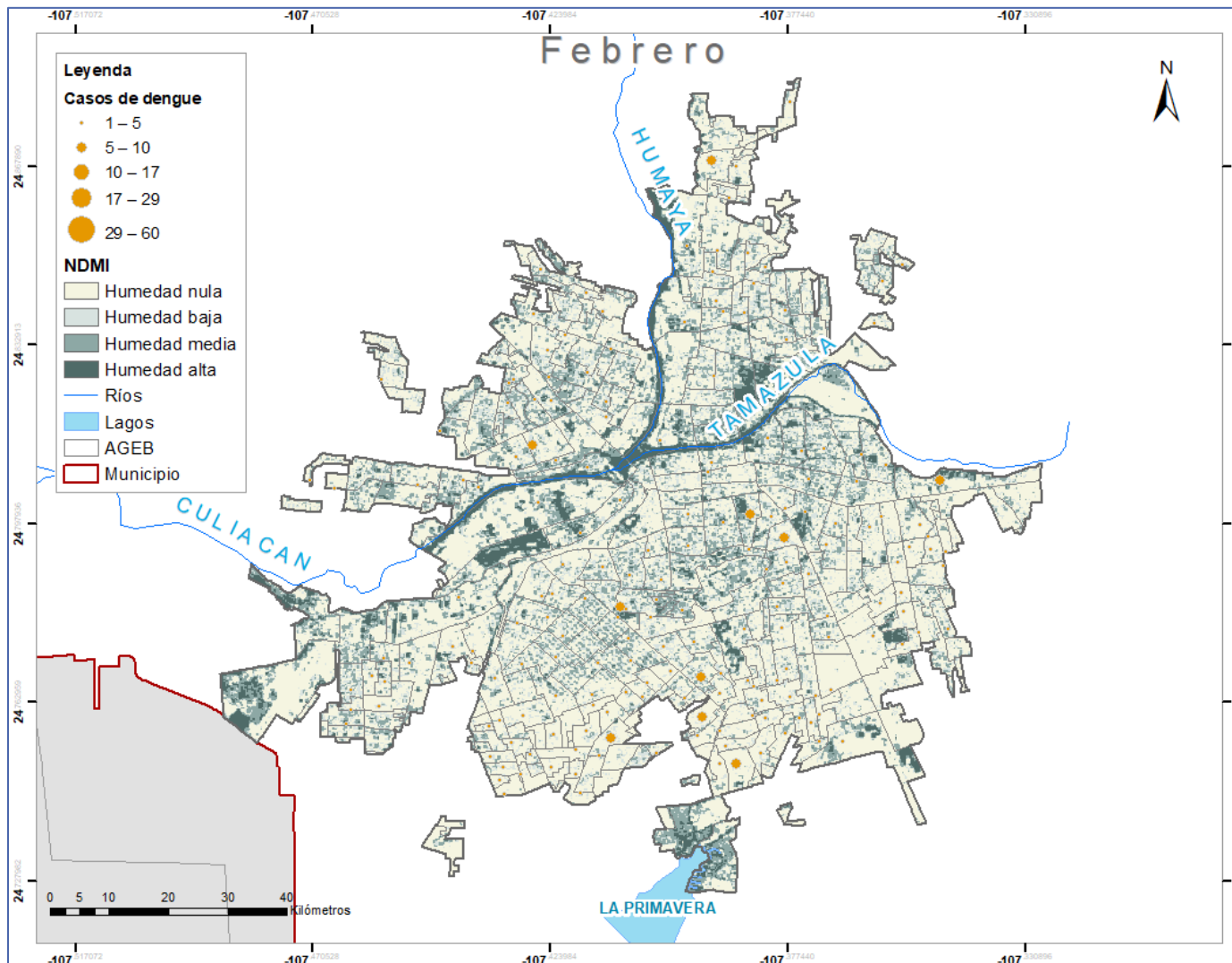


Fig. 69 NDMI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

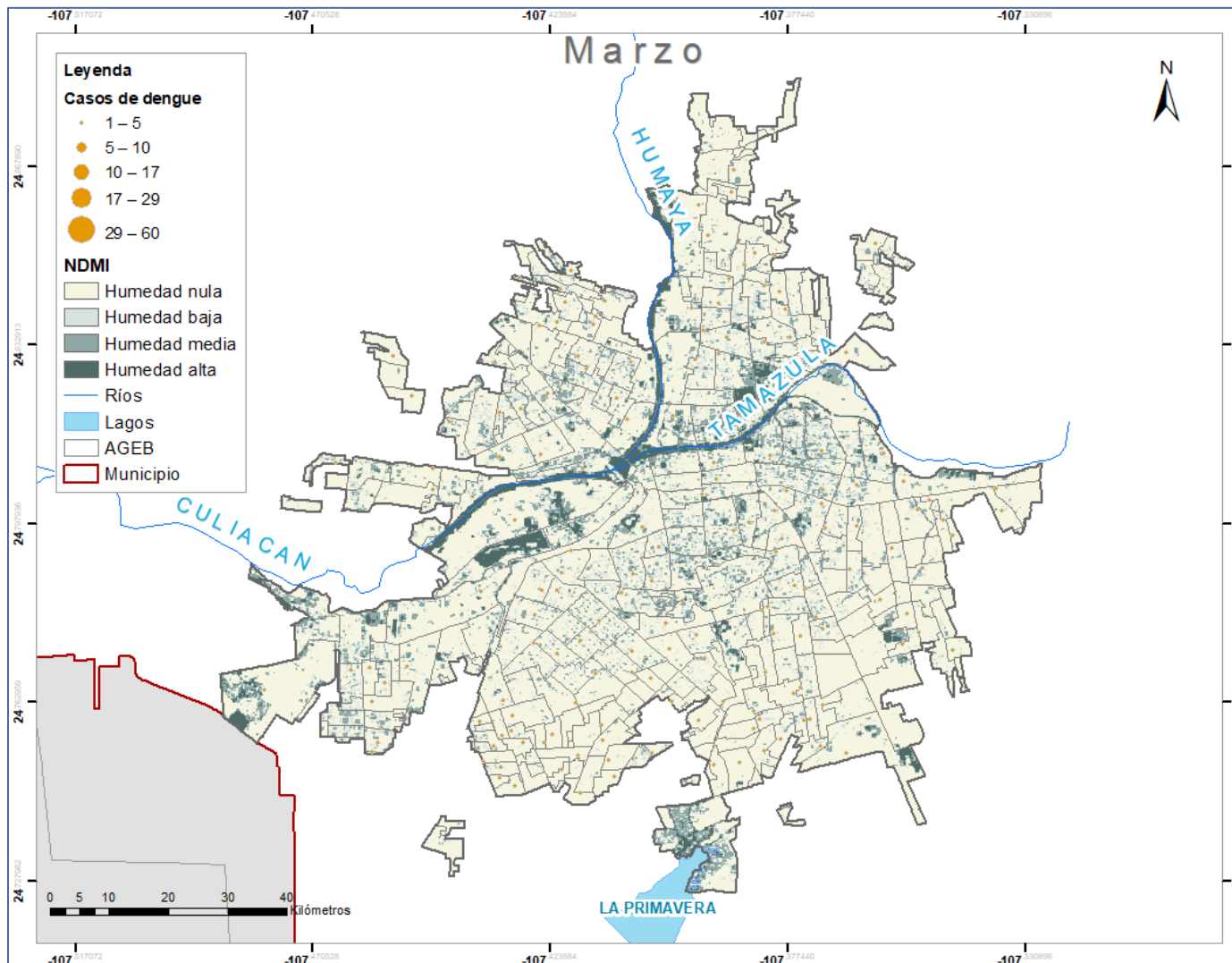


Fig. 70 NDMI y casos de dengue de marzo por AGEb del municipio Culiacán, Sinaloa.

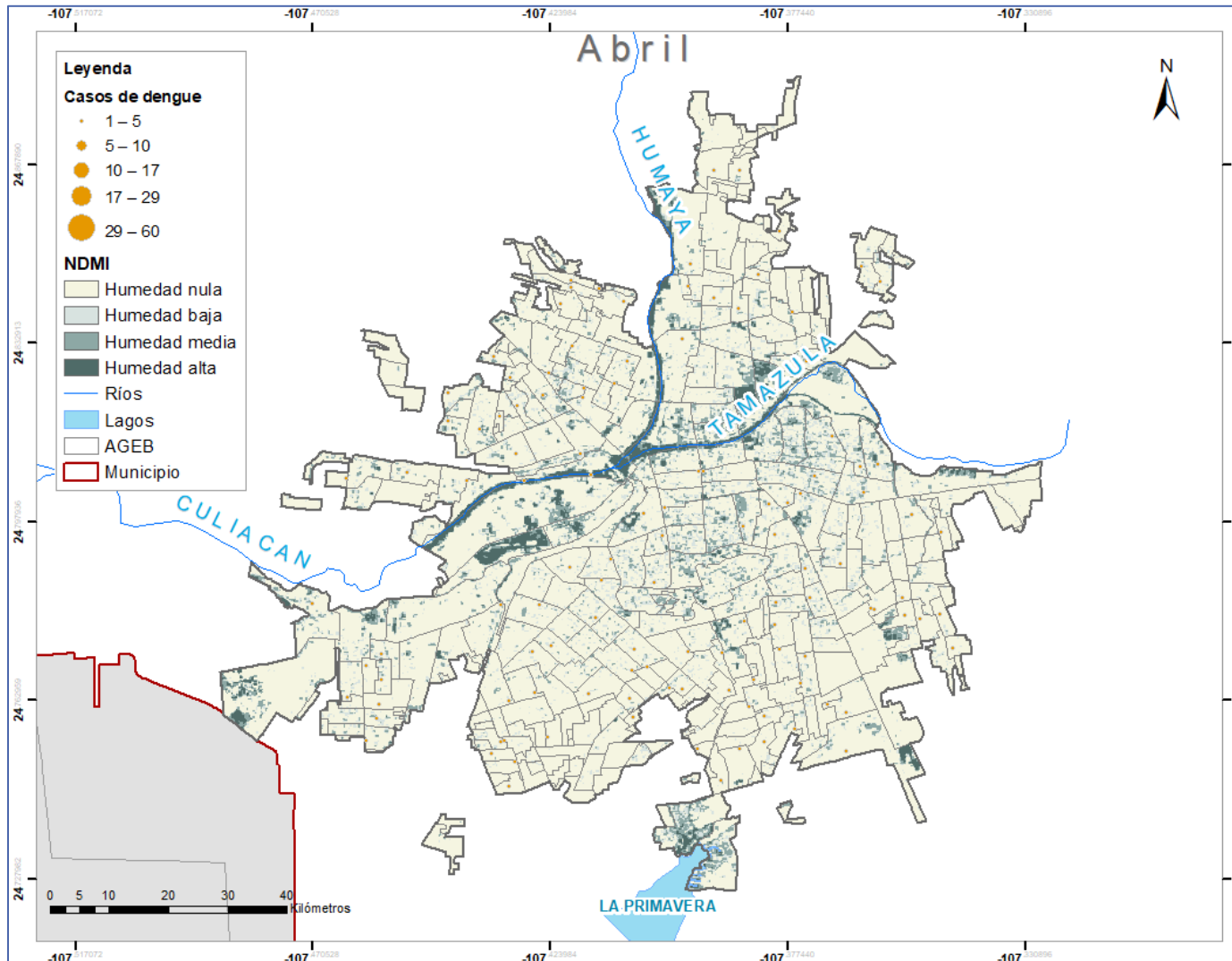


Fig. 71 NDMI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

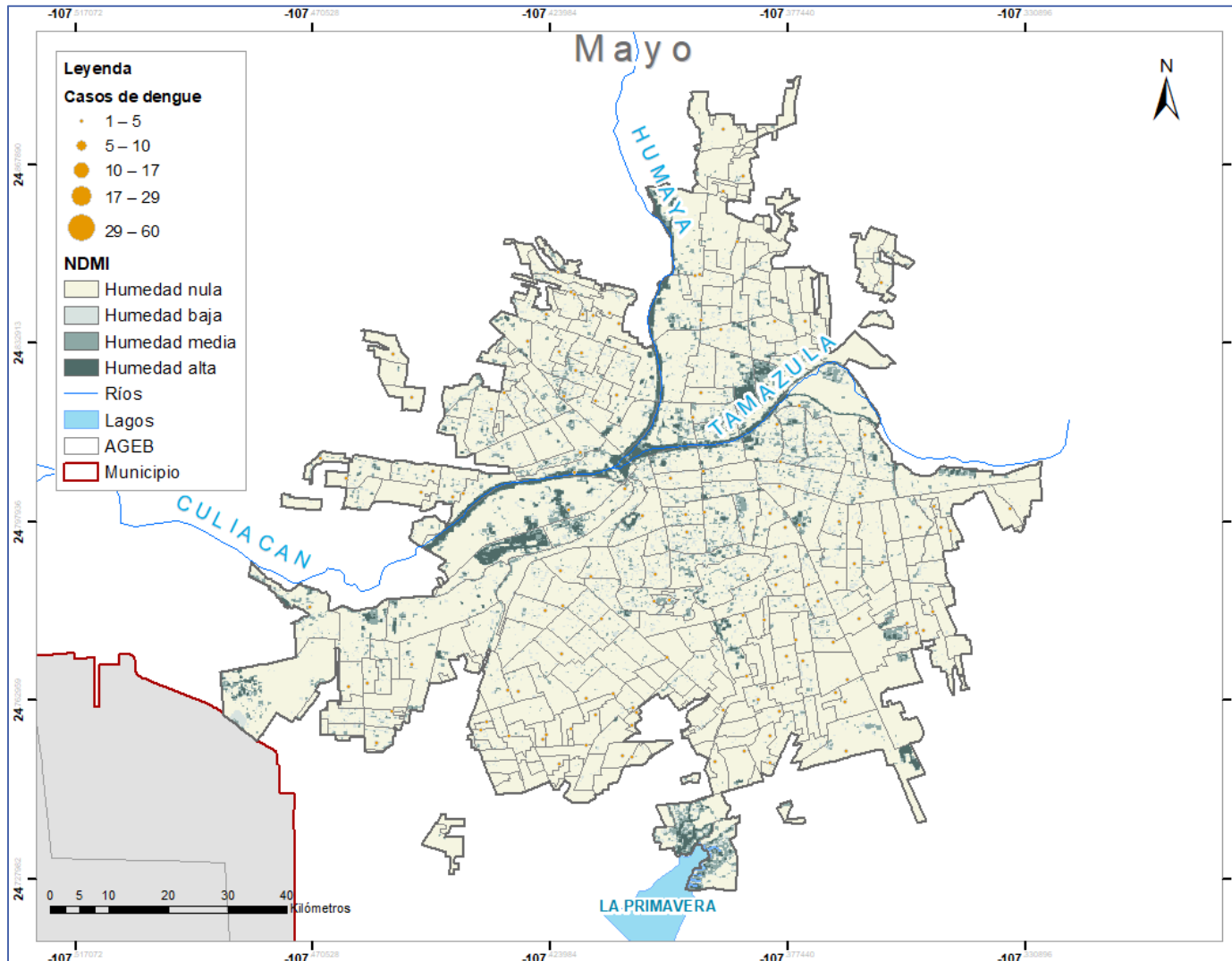


Fig. 72 NDMI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

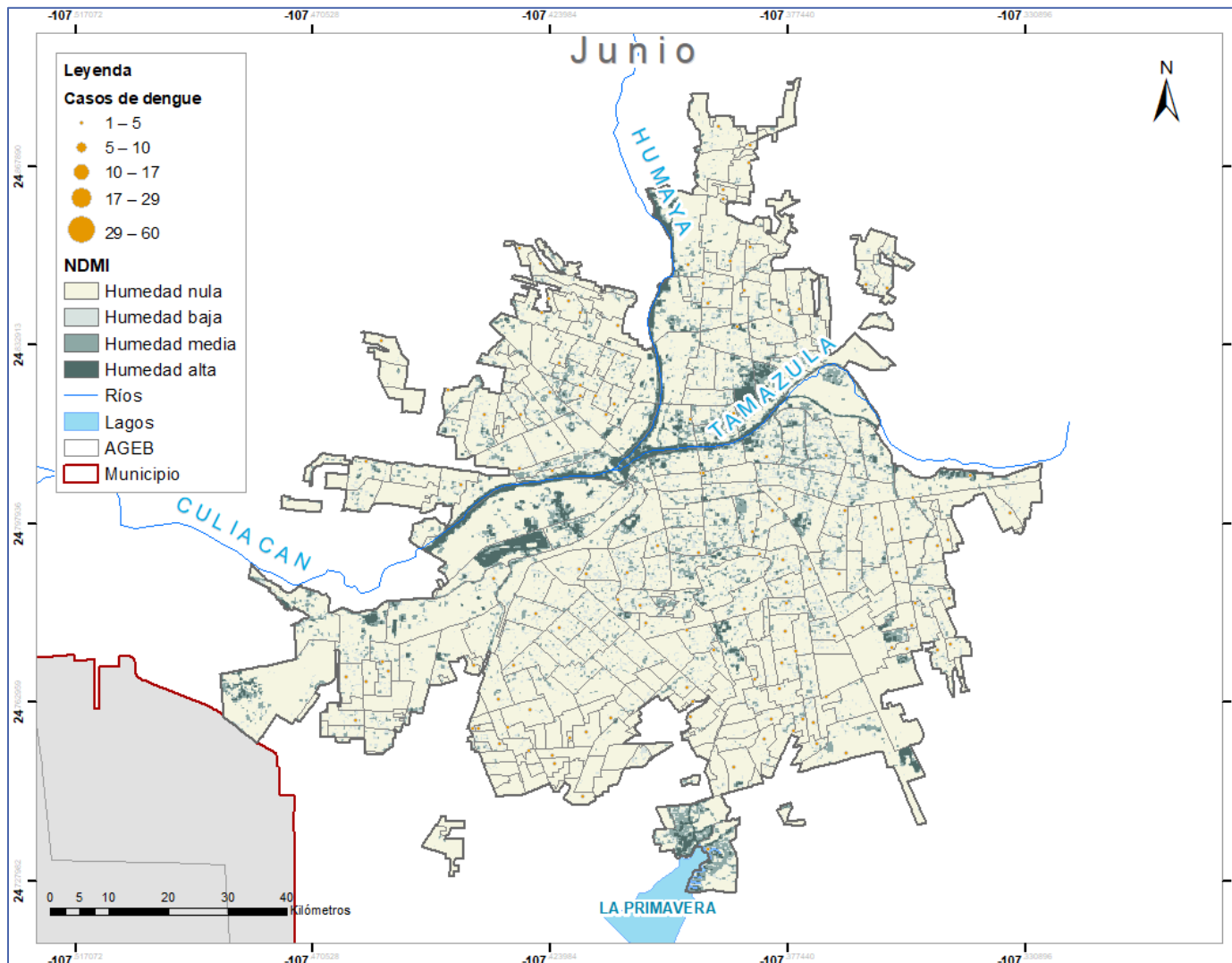


Fig. 73 NDMI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se presentan los mapas temáticos mensuales del Índice de Humedad de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue para este municipio para los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 74 a la Figura 79.

Para el mes de julio el 48% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 31% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 96% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 51% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 94% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 68% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 75% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 83% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 65% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 84% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 46% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 77% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

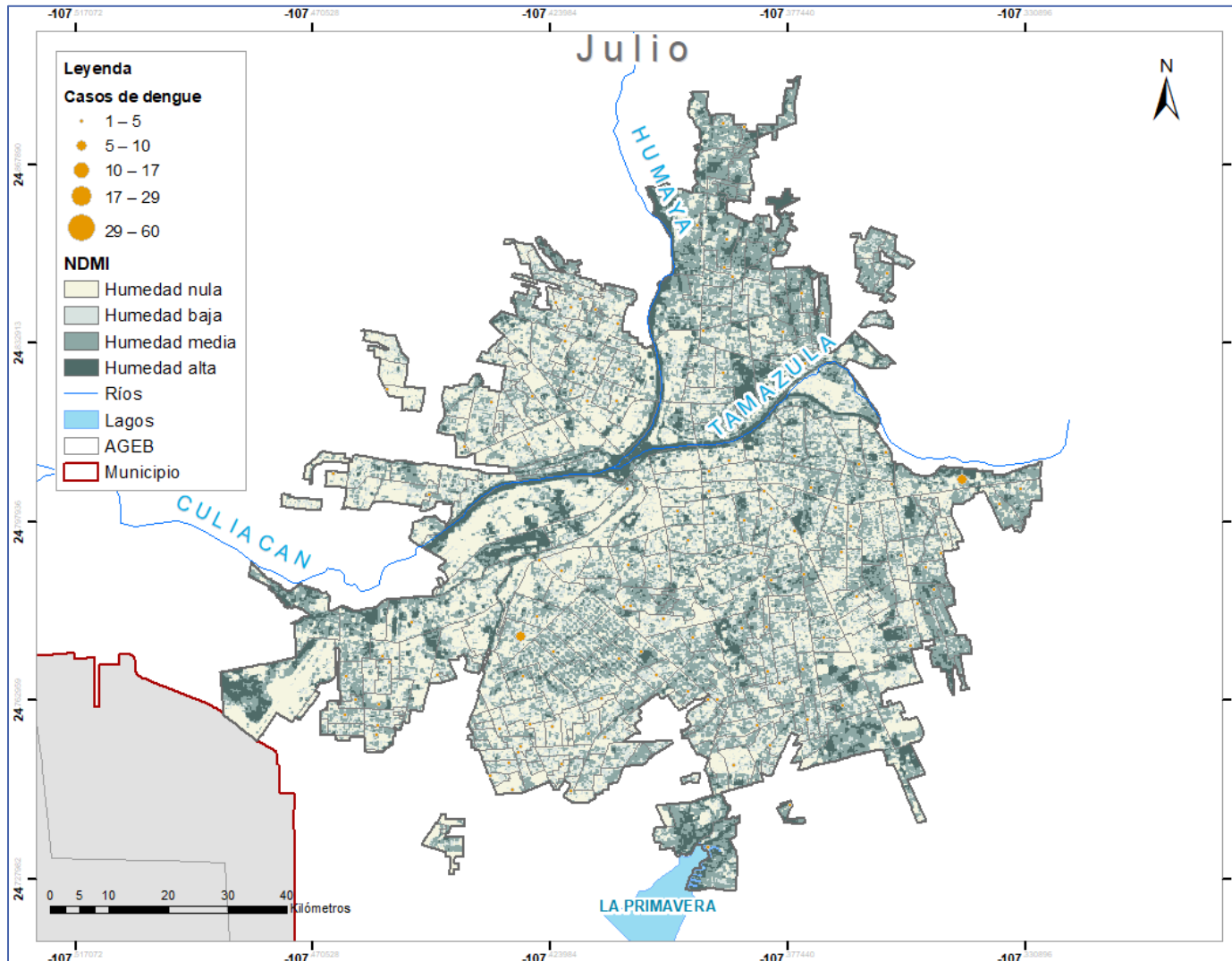


Fig. 74 NDMI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

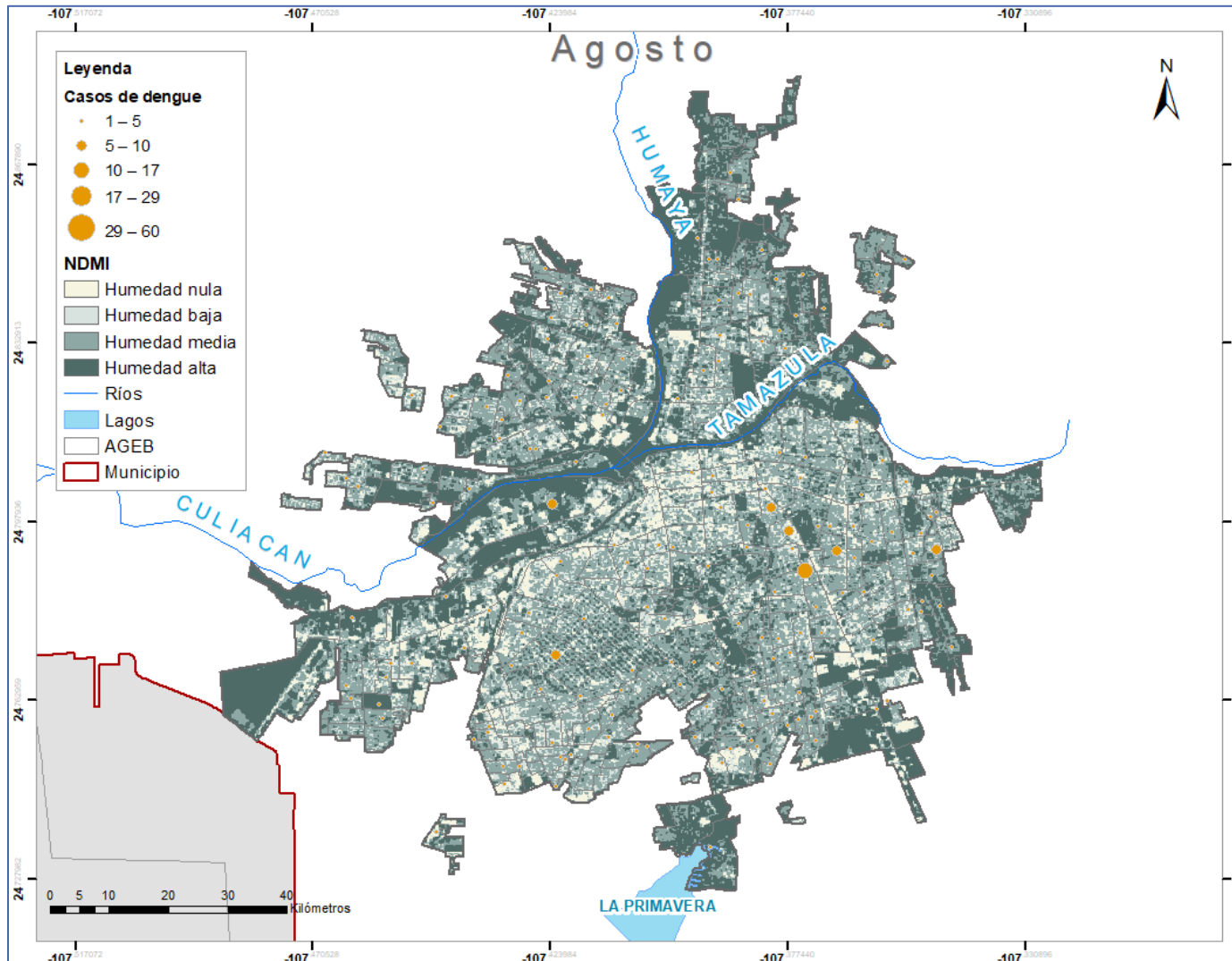


Fig. 75 NDMI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

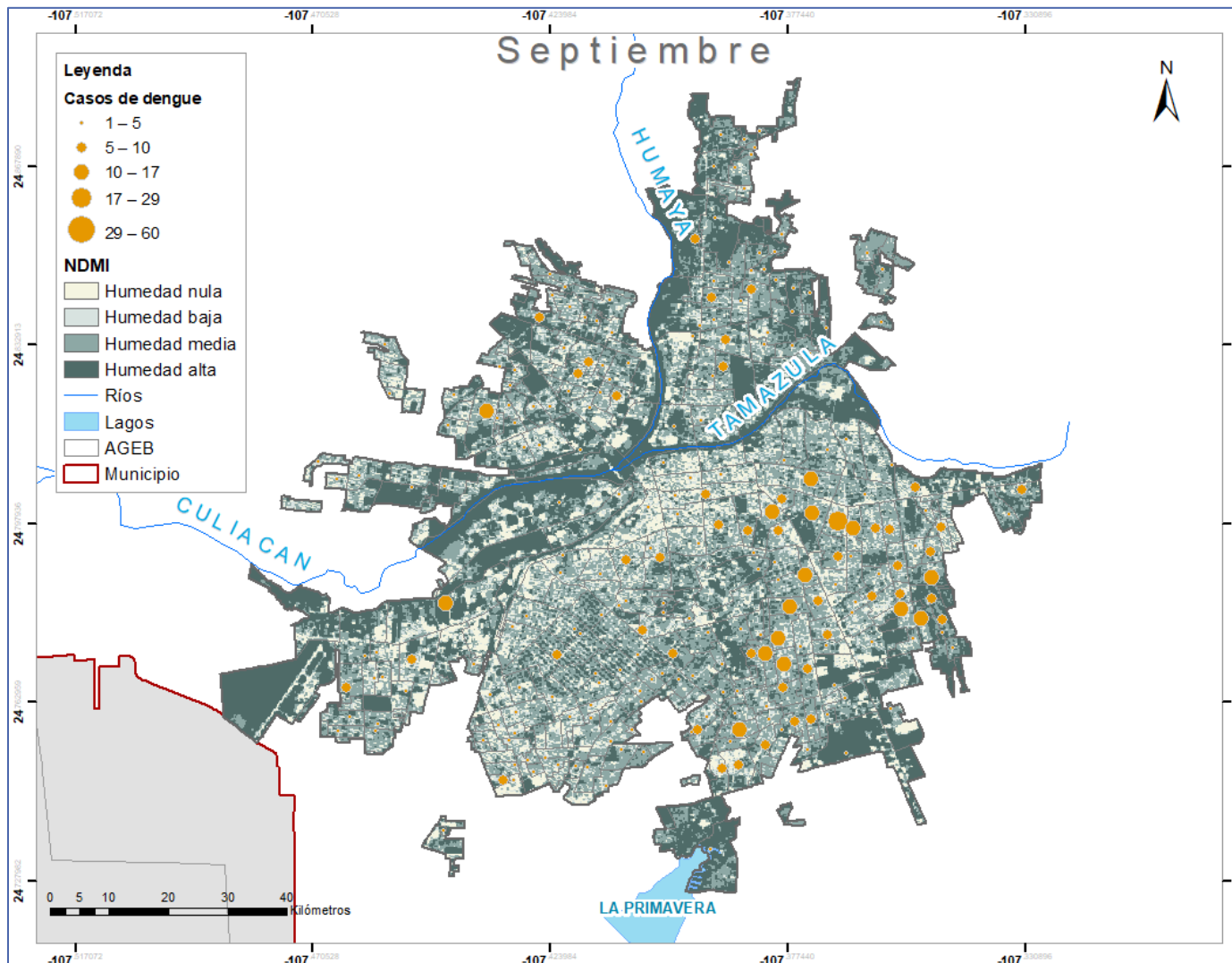


Fig. 76 NDMI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

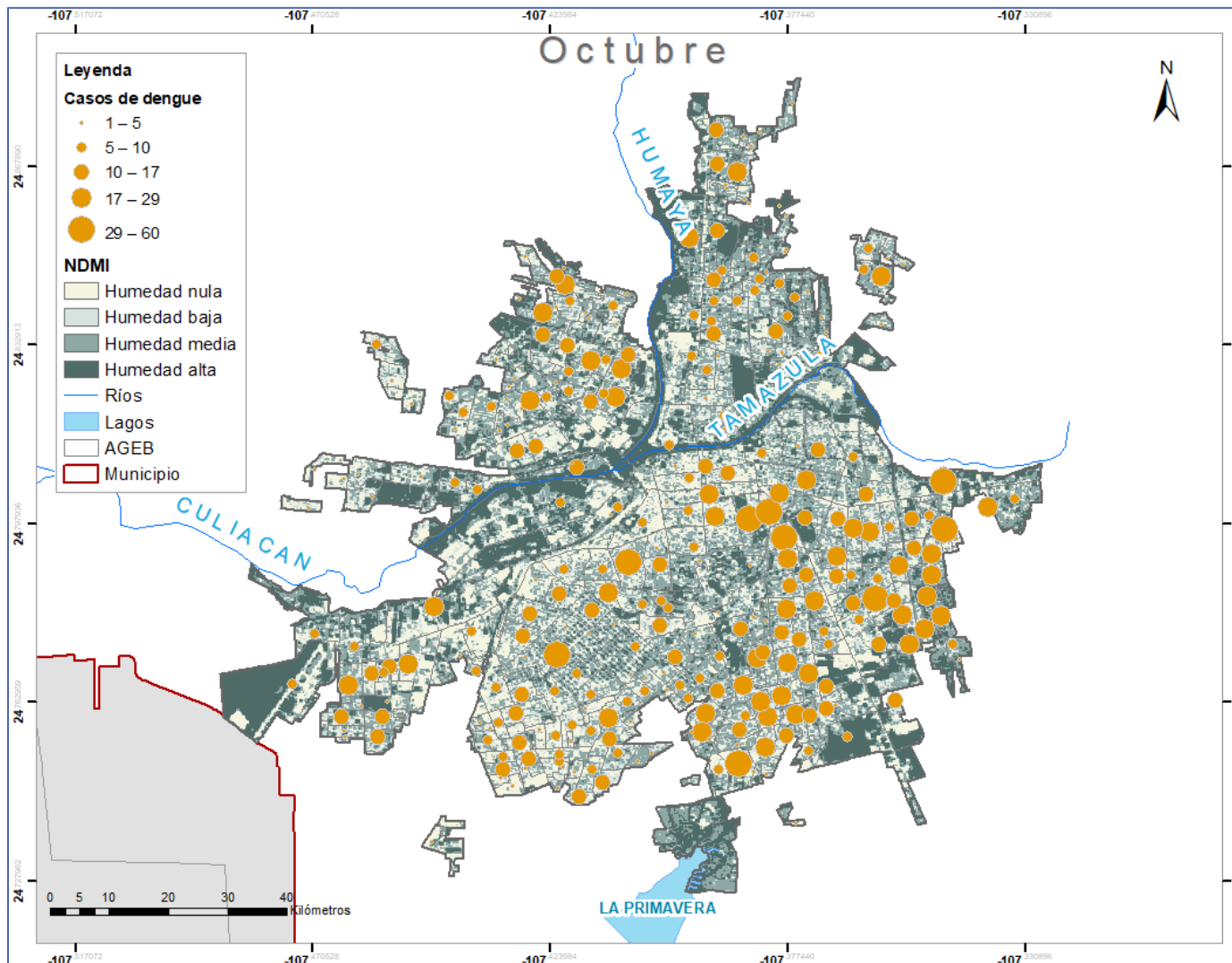


Fig. 77 NDMI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

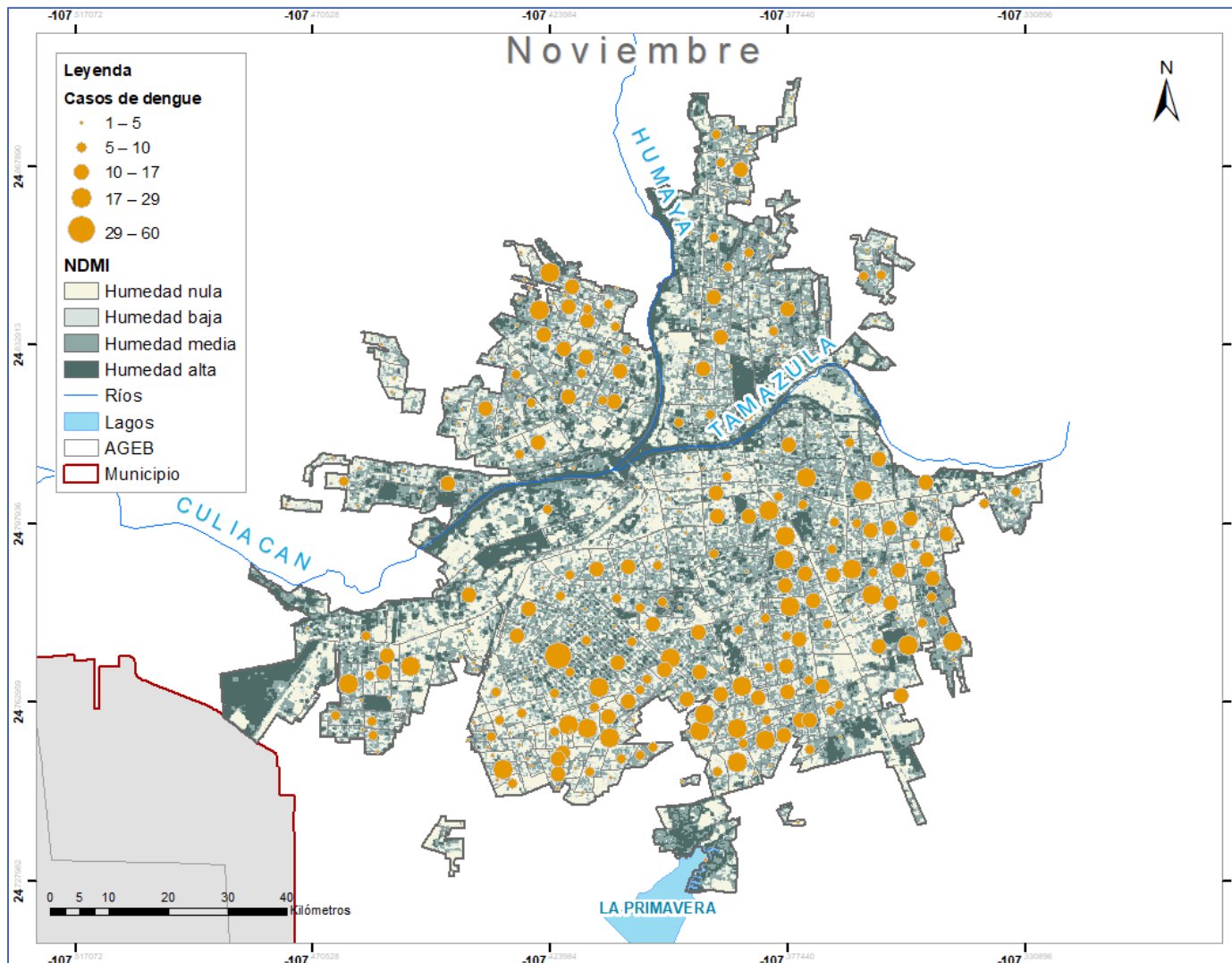


Fig. 78 NDMI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

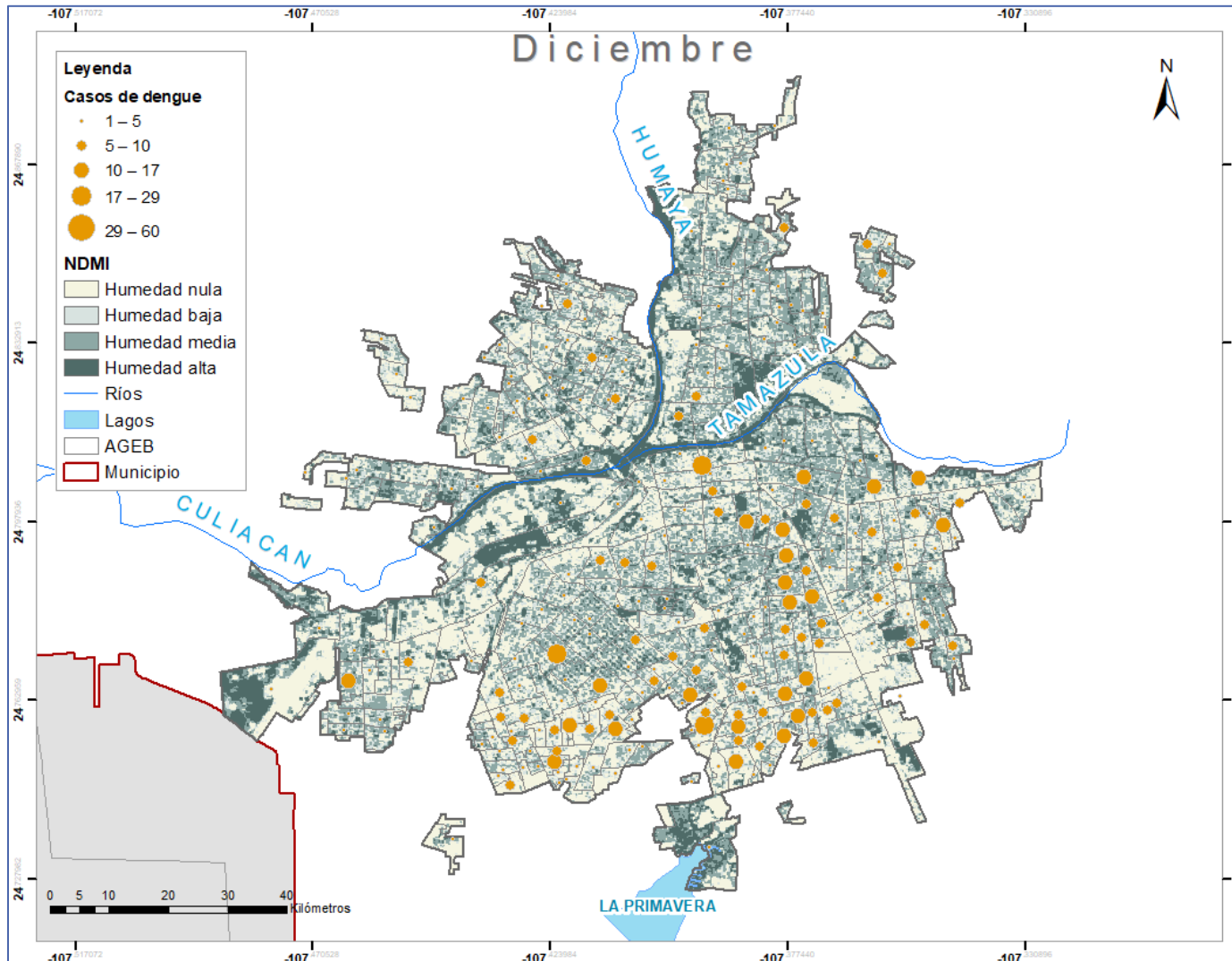


Fig. 79 NDMI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.1.3.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro Tabasco en la Figura 80 se observa el comportamiento anual del NDMI, en el primer semestre del año hay una ligera disminución en la humedad, sin embargo, el rango de la humedad es amplio y constante a lo largo del año. A partir del mes de julio se nota un incremento en el índice de humedad, llega a su máximo punto en el mes de octubre, esto está marcado por la temporada de lluvia. En noviembre el índice de humedad inicia con un descenso que termina en diciembre.

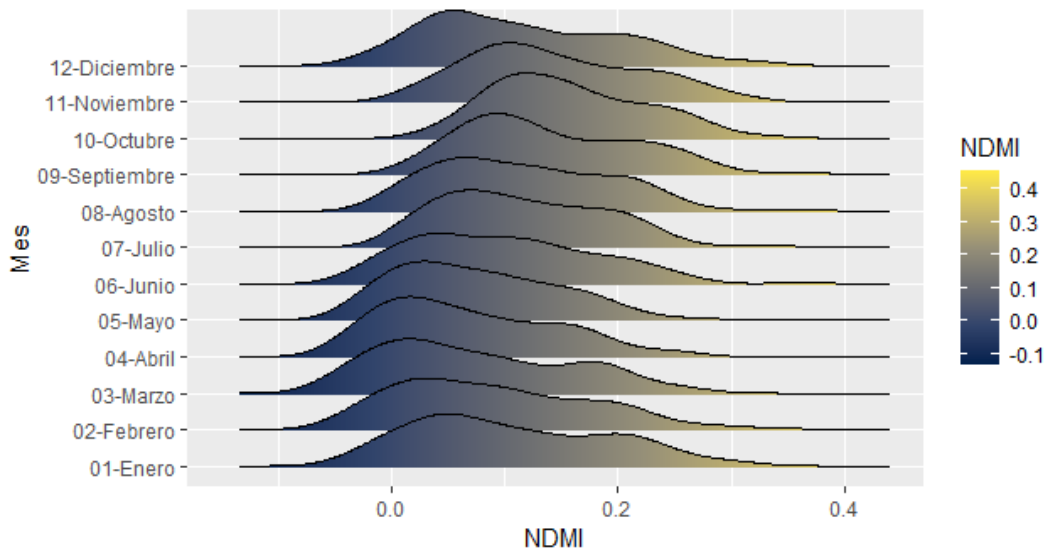


Fig. 80 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) mensual por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

Para el municipio Centro, de toda el área de estudio el 43% representa áreas con alta humedad para el mes de marzo, dato que para el mes de septiembre llega al 57%.

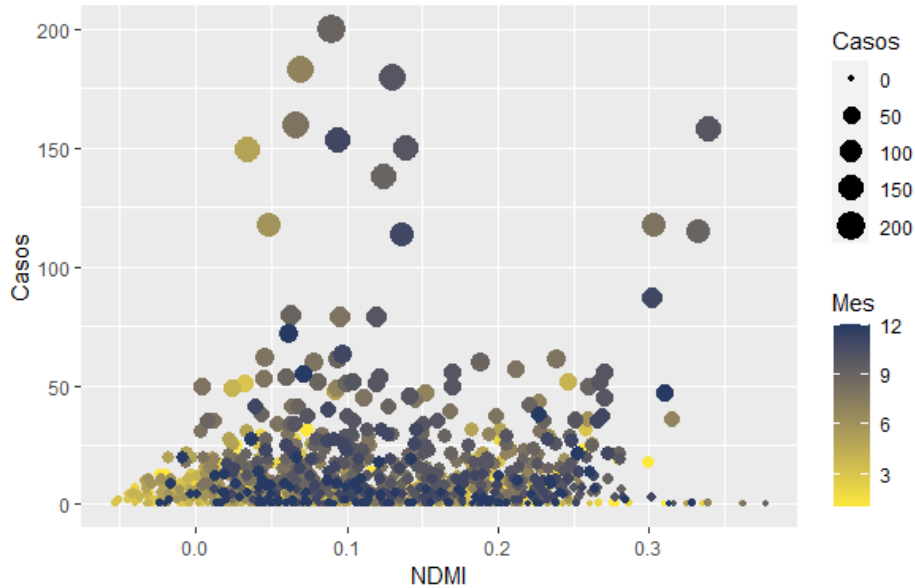


Fig. 81 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

La Figura 81 muestra que el 100% de los AGEB se encuentran en el nivel del NDMI menor o igual a 0.4, esto es adecuado para el desarrollo del mosquito transmisor del dengue. No se observa una relación lineal entre el incremento del NDMI y el incremento de los casos. Se puede ver que el total de casos por AGEB es igual para cualquier mes del año. Entre el rango de 0.05 a 0.15 se encuentran los AGEB con mayor número de casos.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del Índice de Humedad de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 82 a la Figura 87.

Para el mes de enero el 59% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 82% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 53% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 47% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 72% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 45% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 75% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 50% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 88% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 58% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 87% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

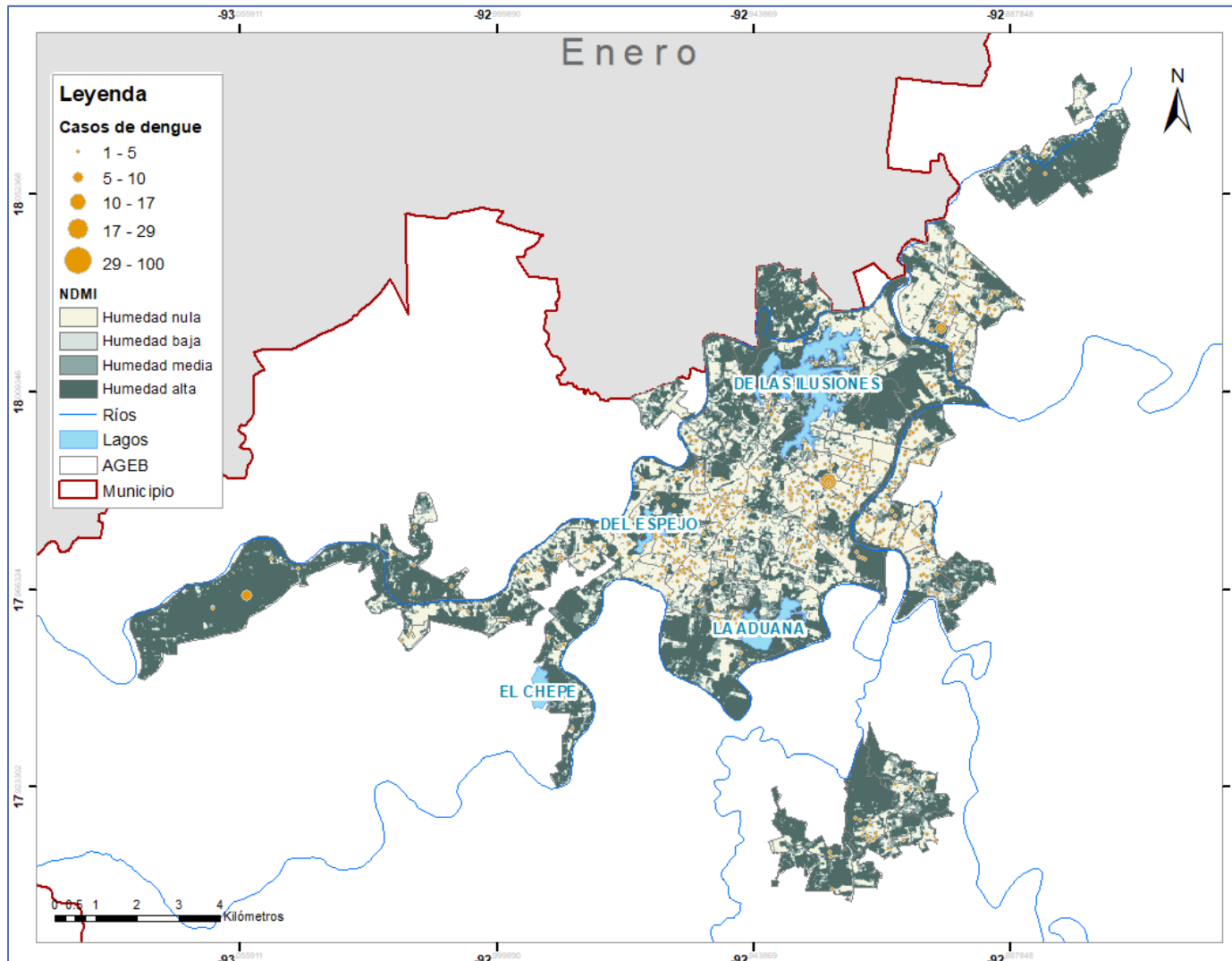


Fig. 82 NDMI y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

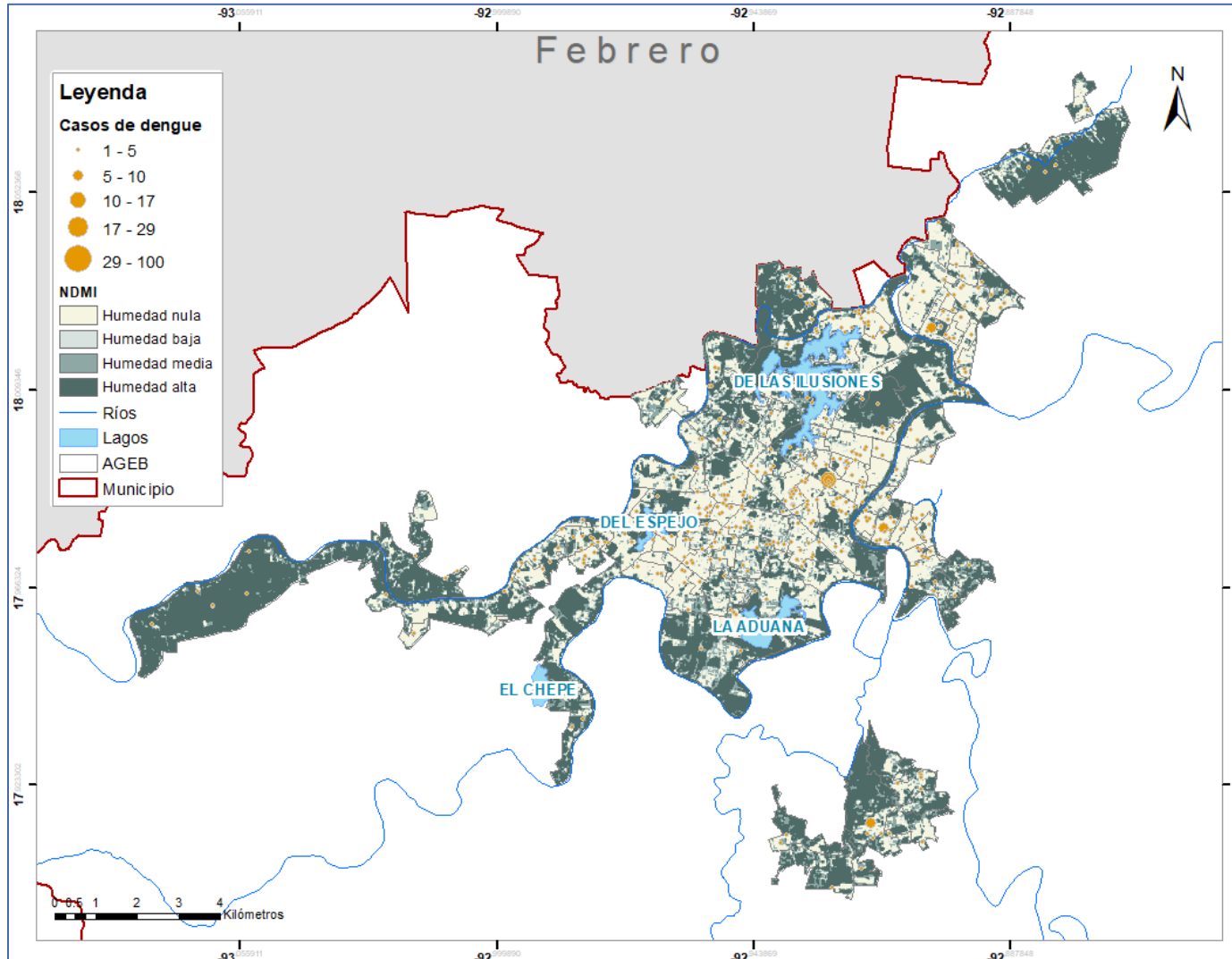


Fig. 83 NDMI y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

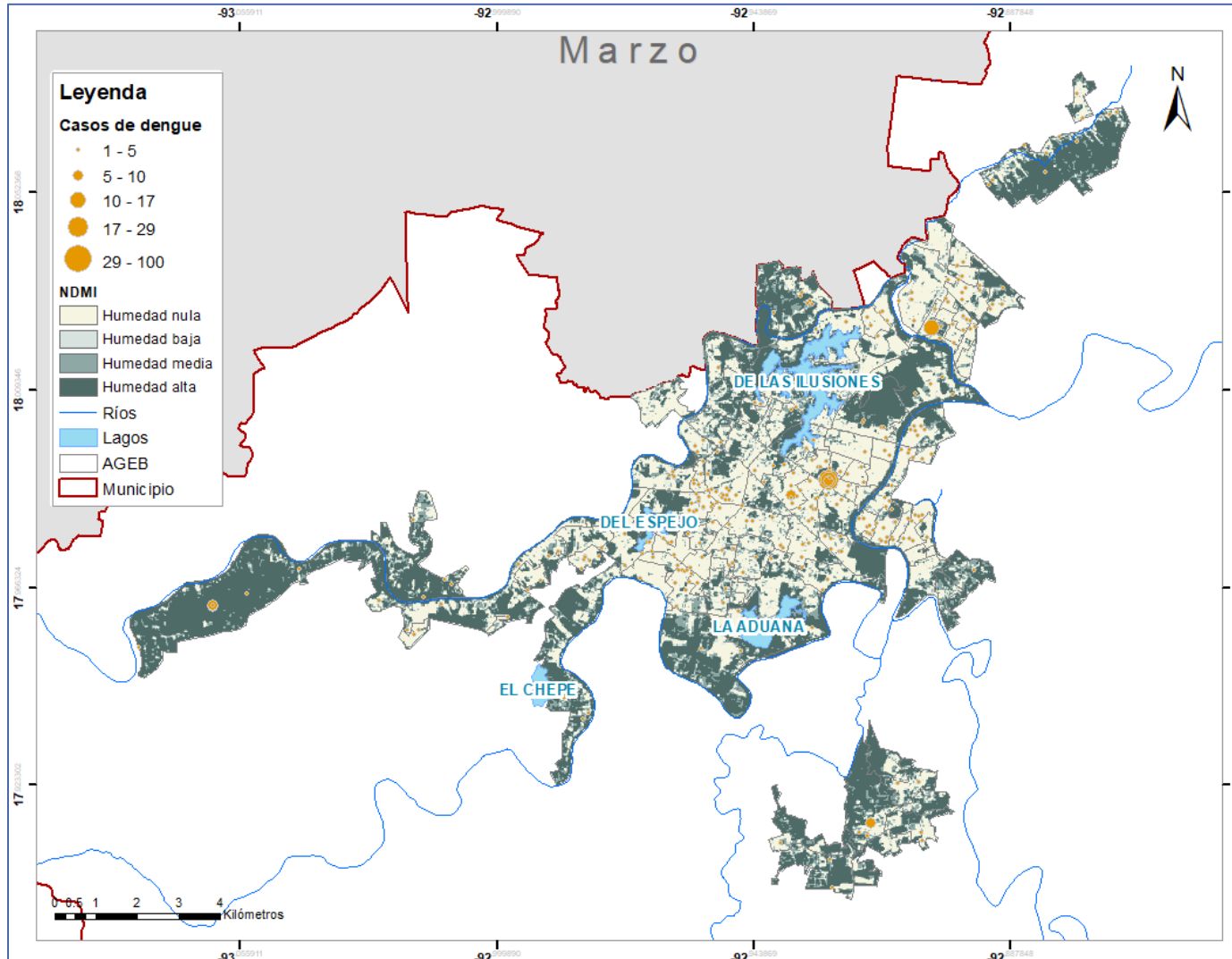


Fig. 84 NDMI y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

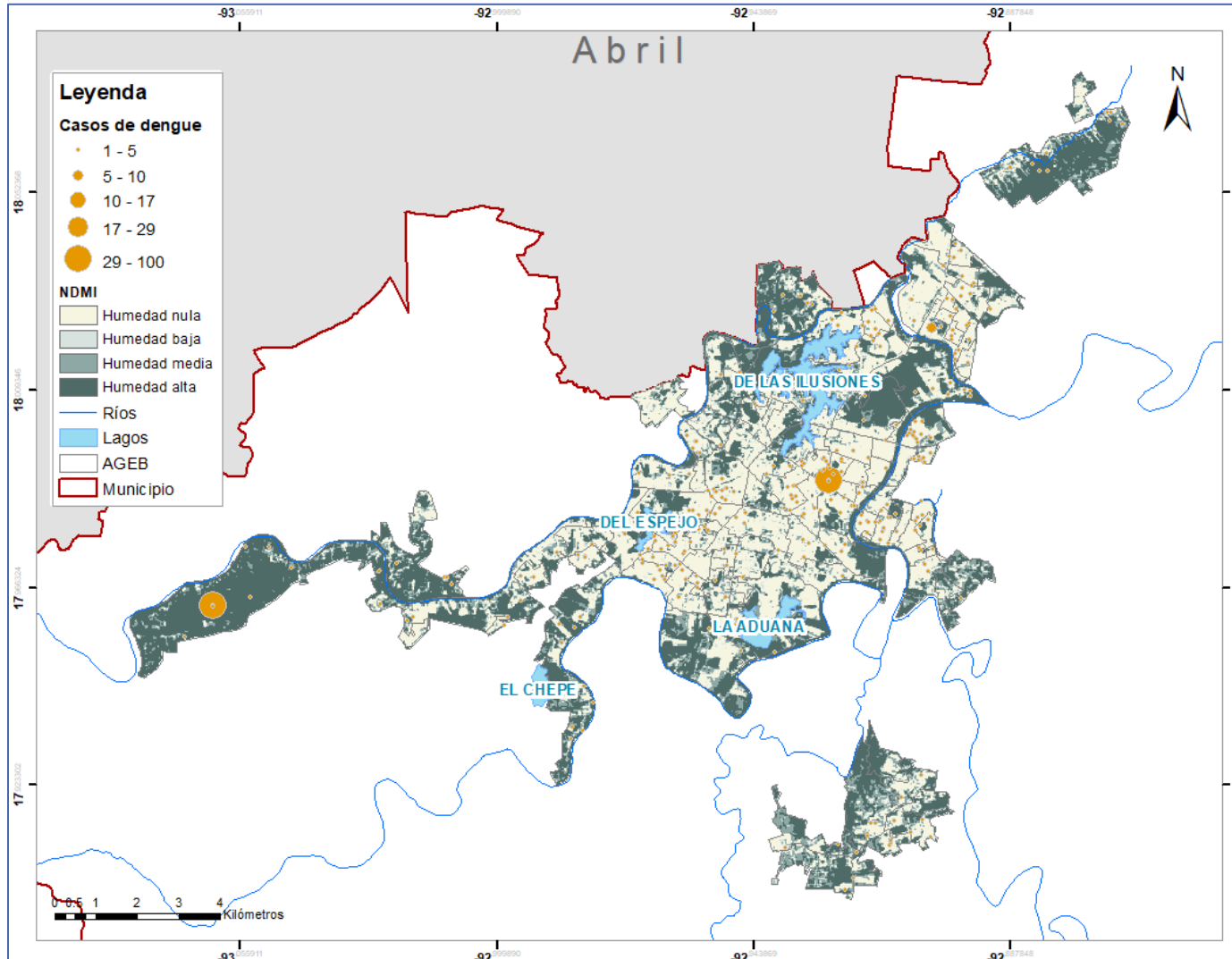


Fig. 85 NDMI y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

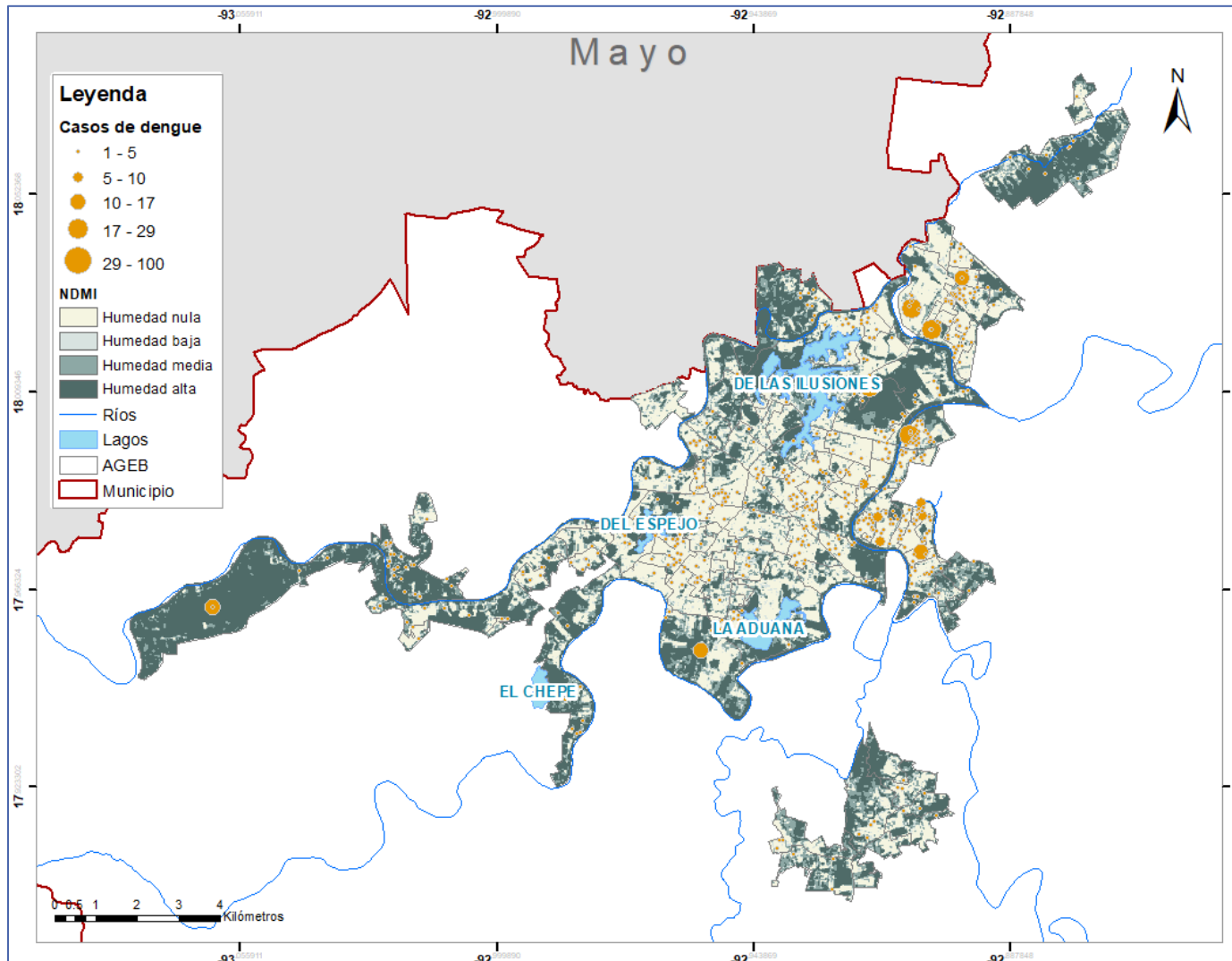


Fig. 86 NDMI y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

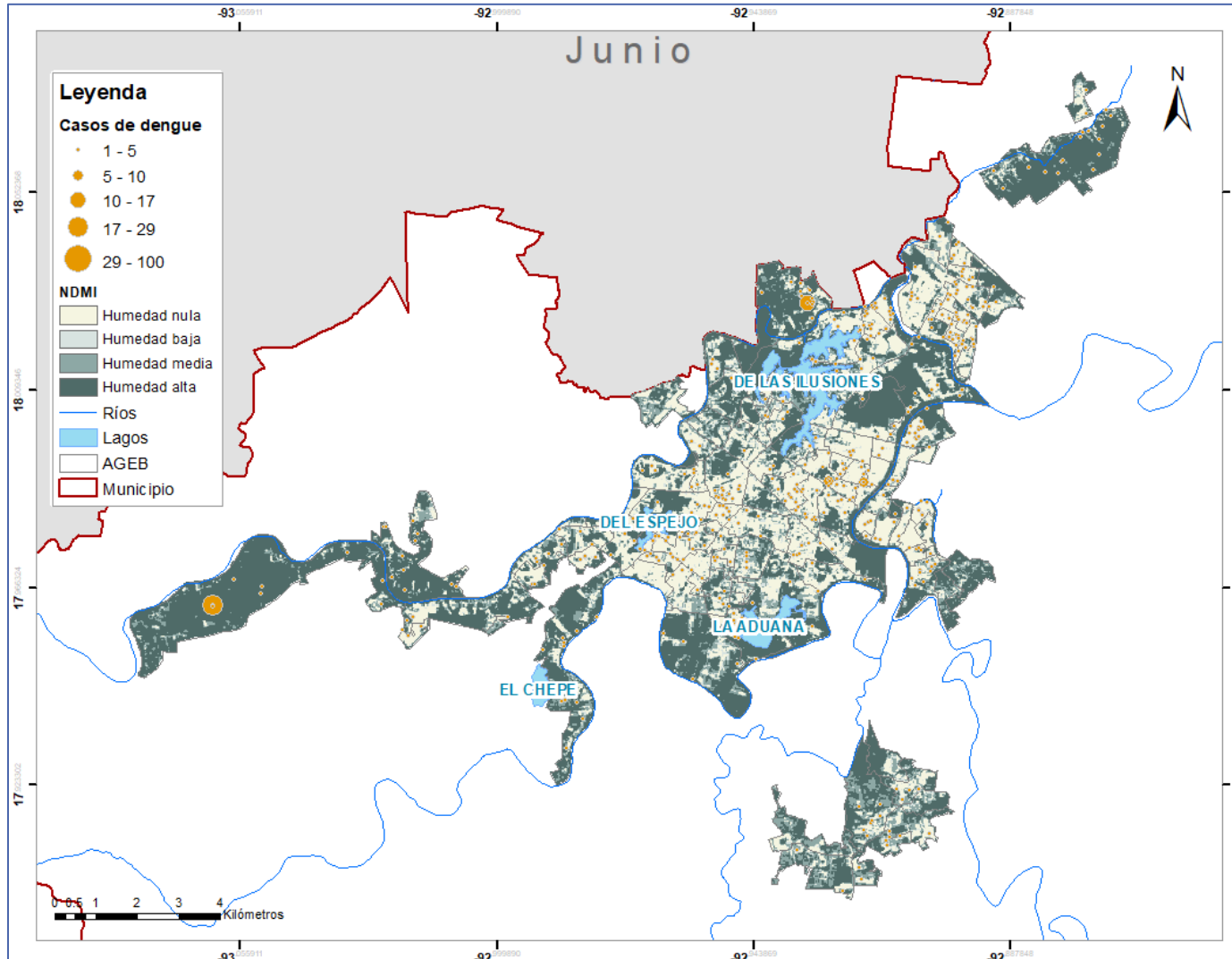


Fig. 87 NDMI y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se presentan los mapas temáticos mensuales del Índice de Humedad de Diferencia Normalizada en comparación con la capa de casos reportados por dengue para este municipio para los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 88 a la Figura 93.

Para el mes de julio el 64% de las AGEB del área de estudio cuentan con vegetación arbórea urbana de las cuales el 99% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de julio el 68% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 94% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 65% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 82% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 95% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 93% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 94% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 84% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 93% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 63% de las AGEB del área de estudio presentan humedad media y alta de las cuales el 81% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

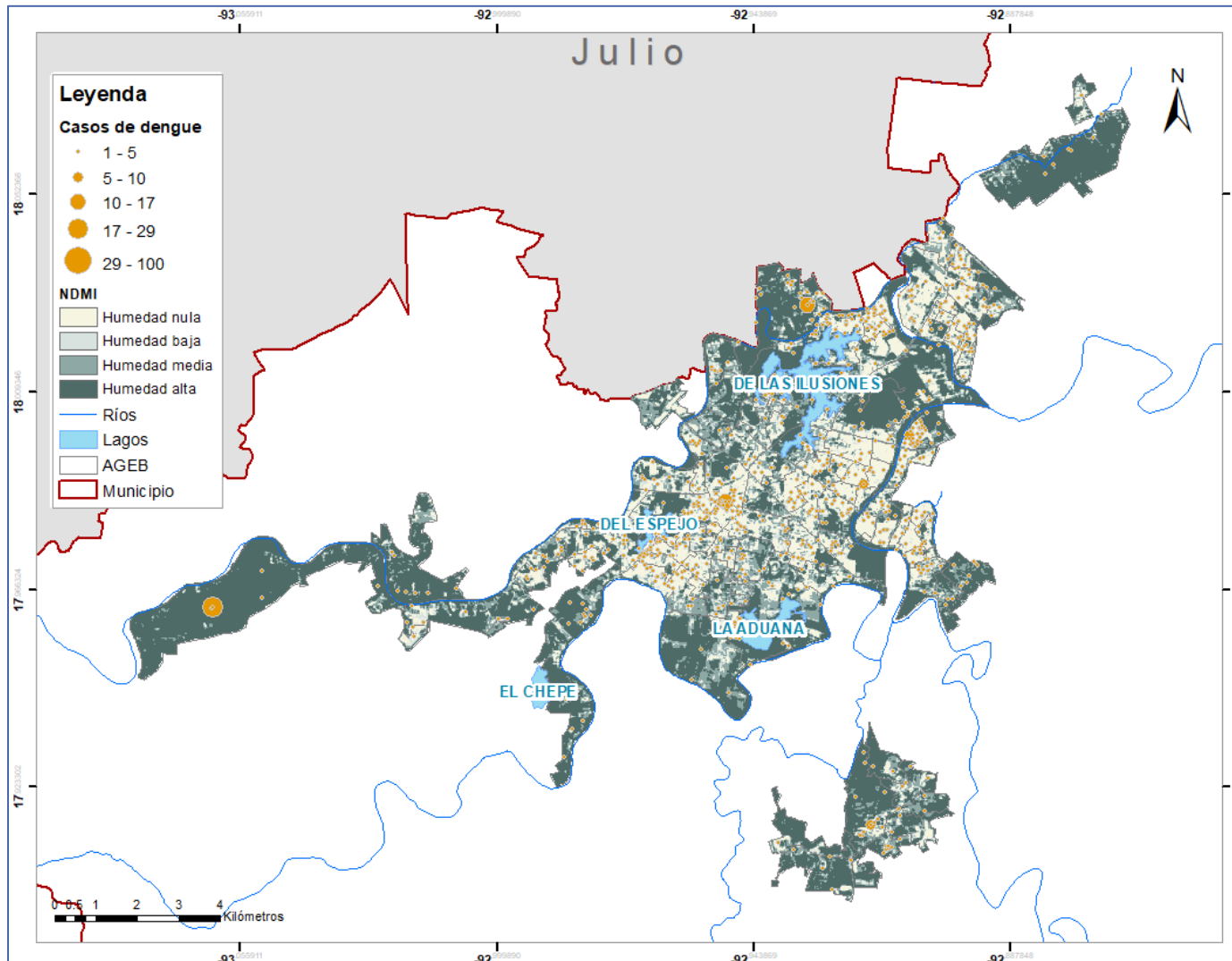


Fig. 88 NDMI y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

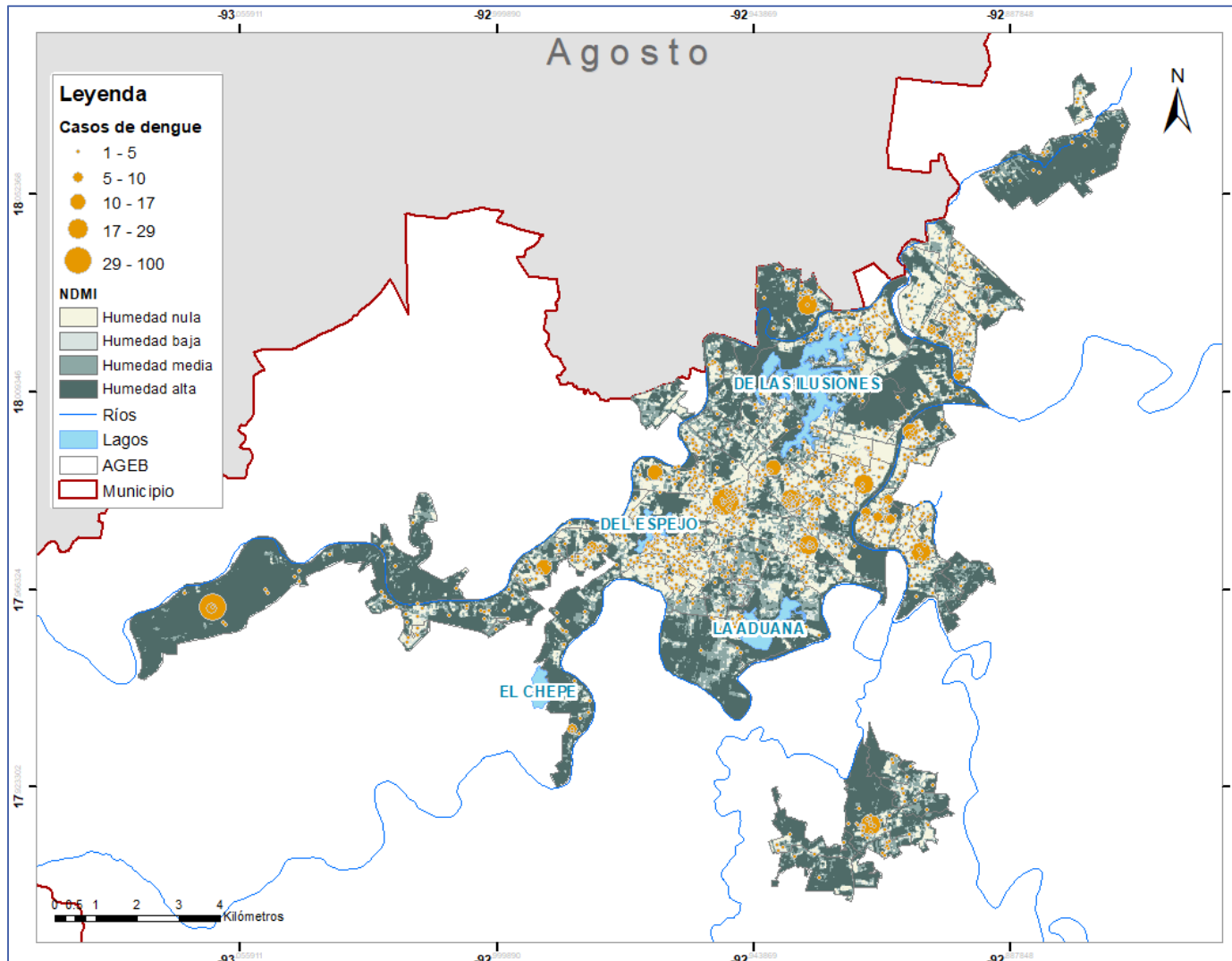


Fig. 89 NDMI y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

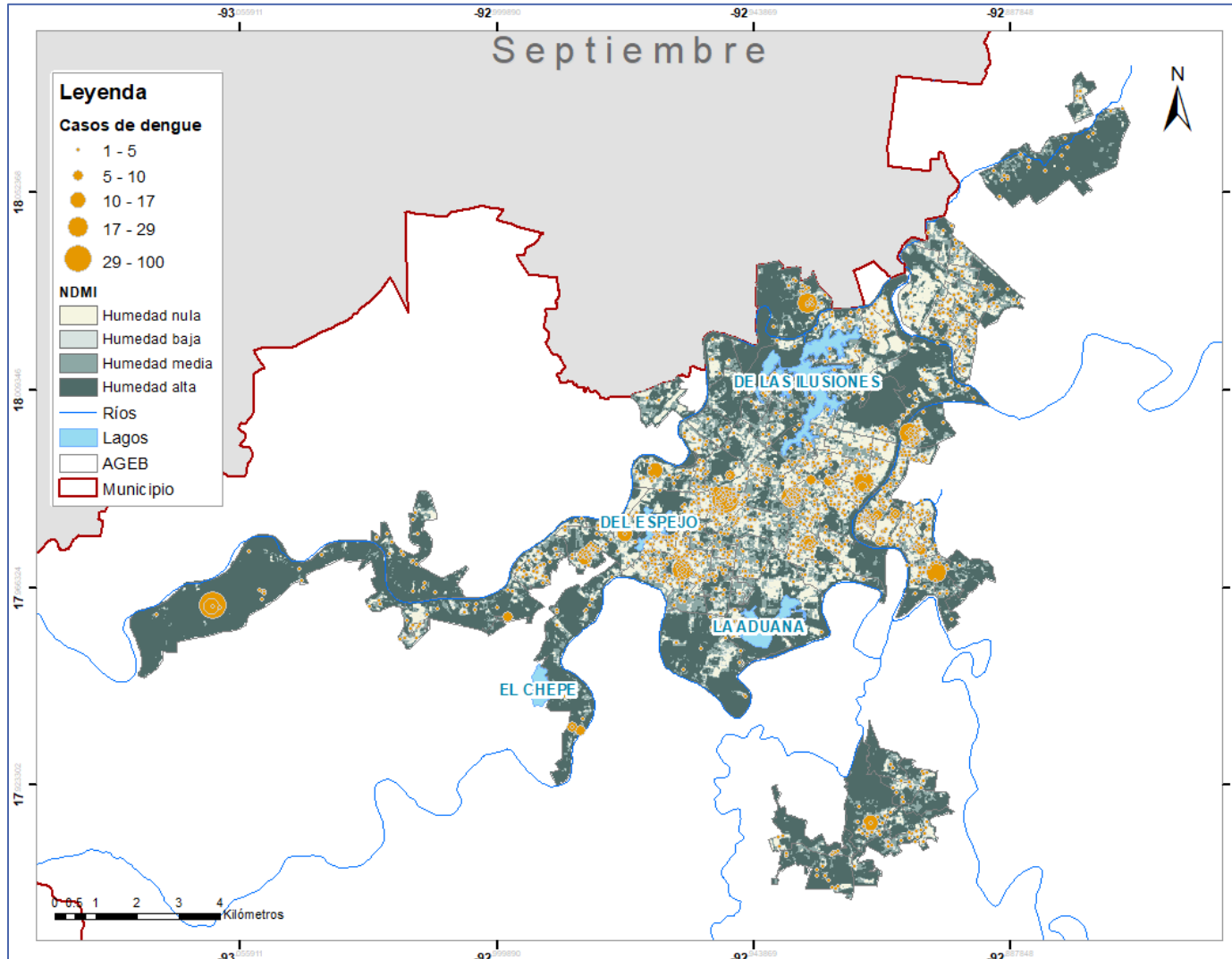


Fig. 90 NDMI y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

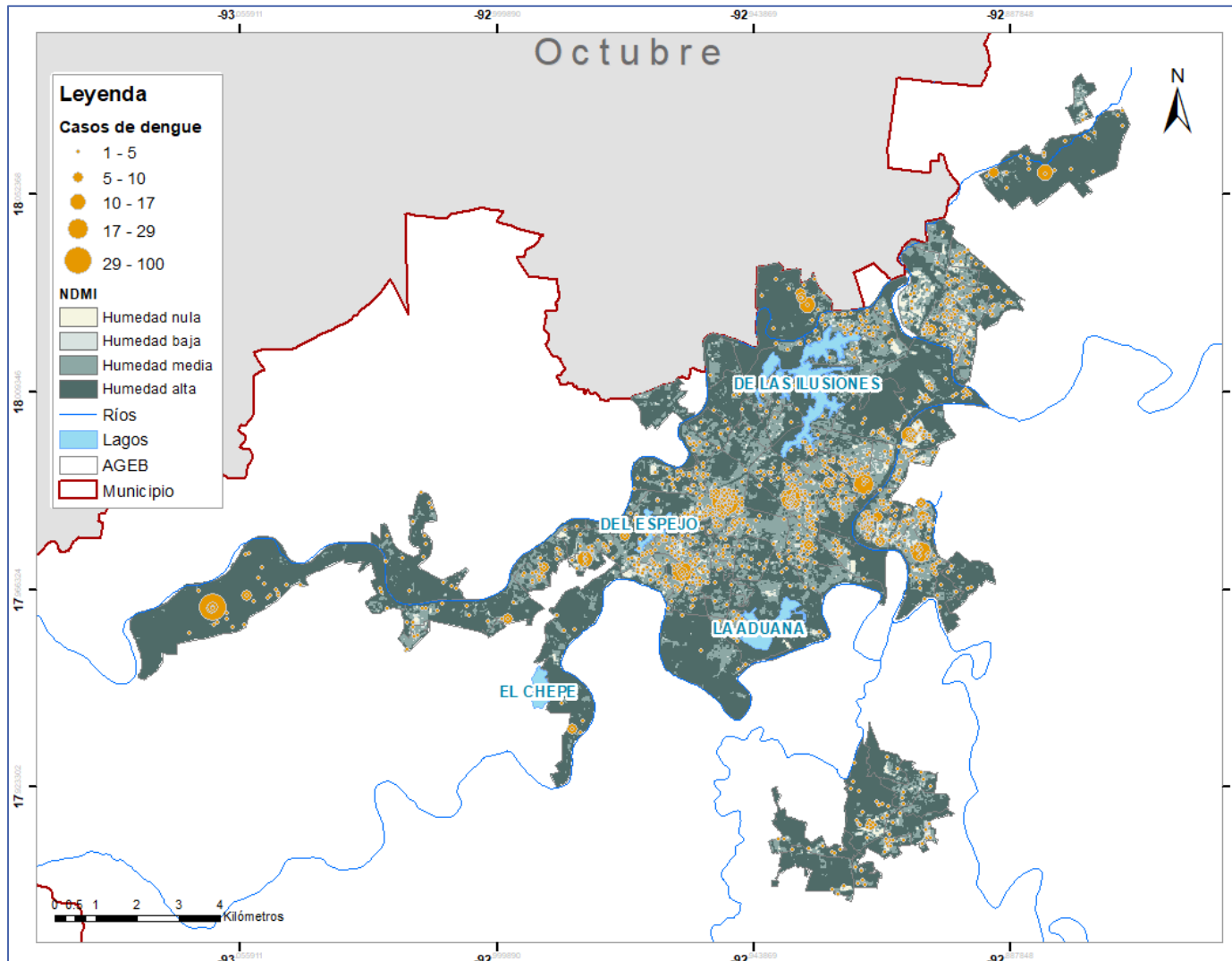


Fig. 91 NDMI y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

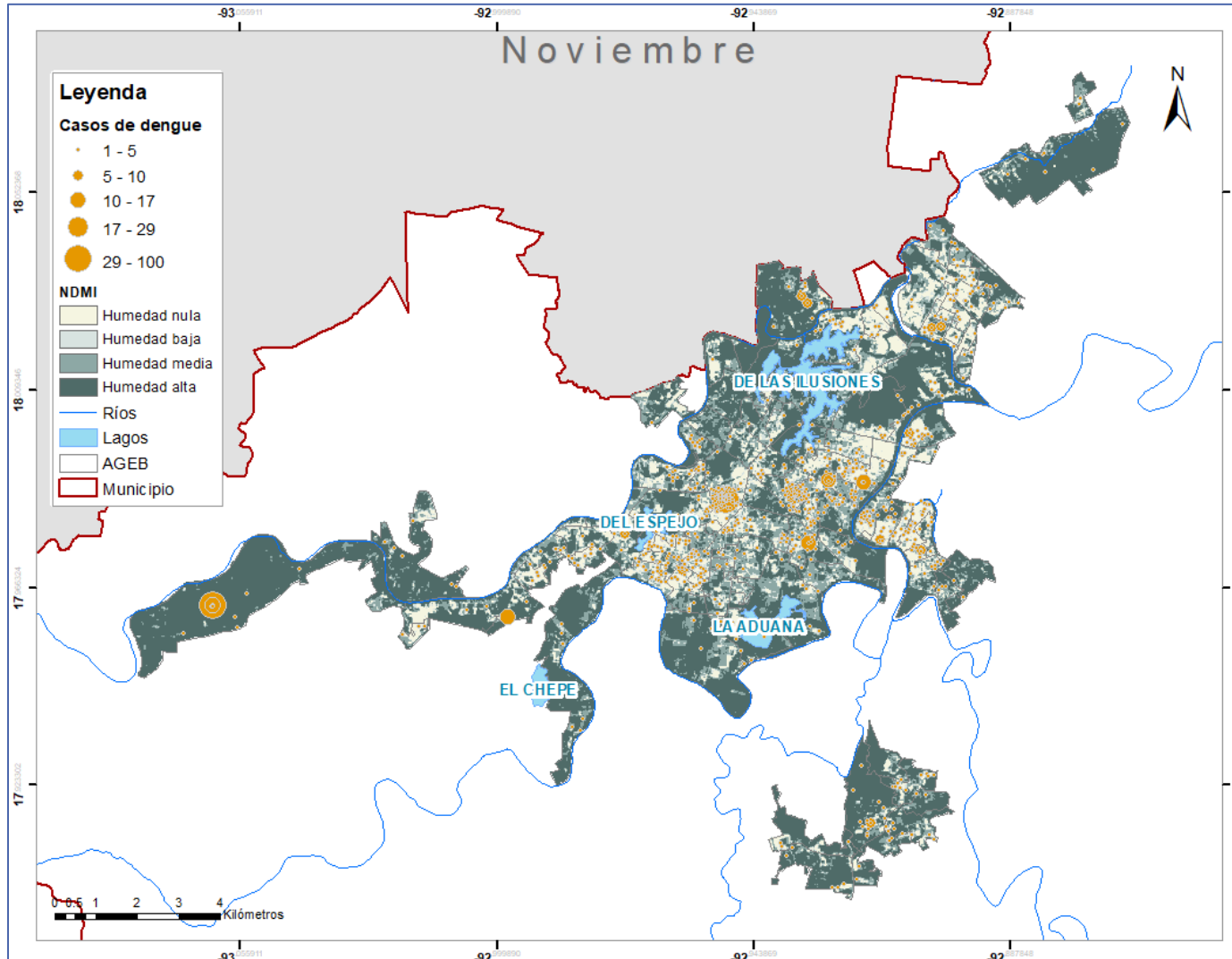


Fig. 92 NDMI y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

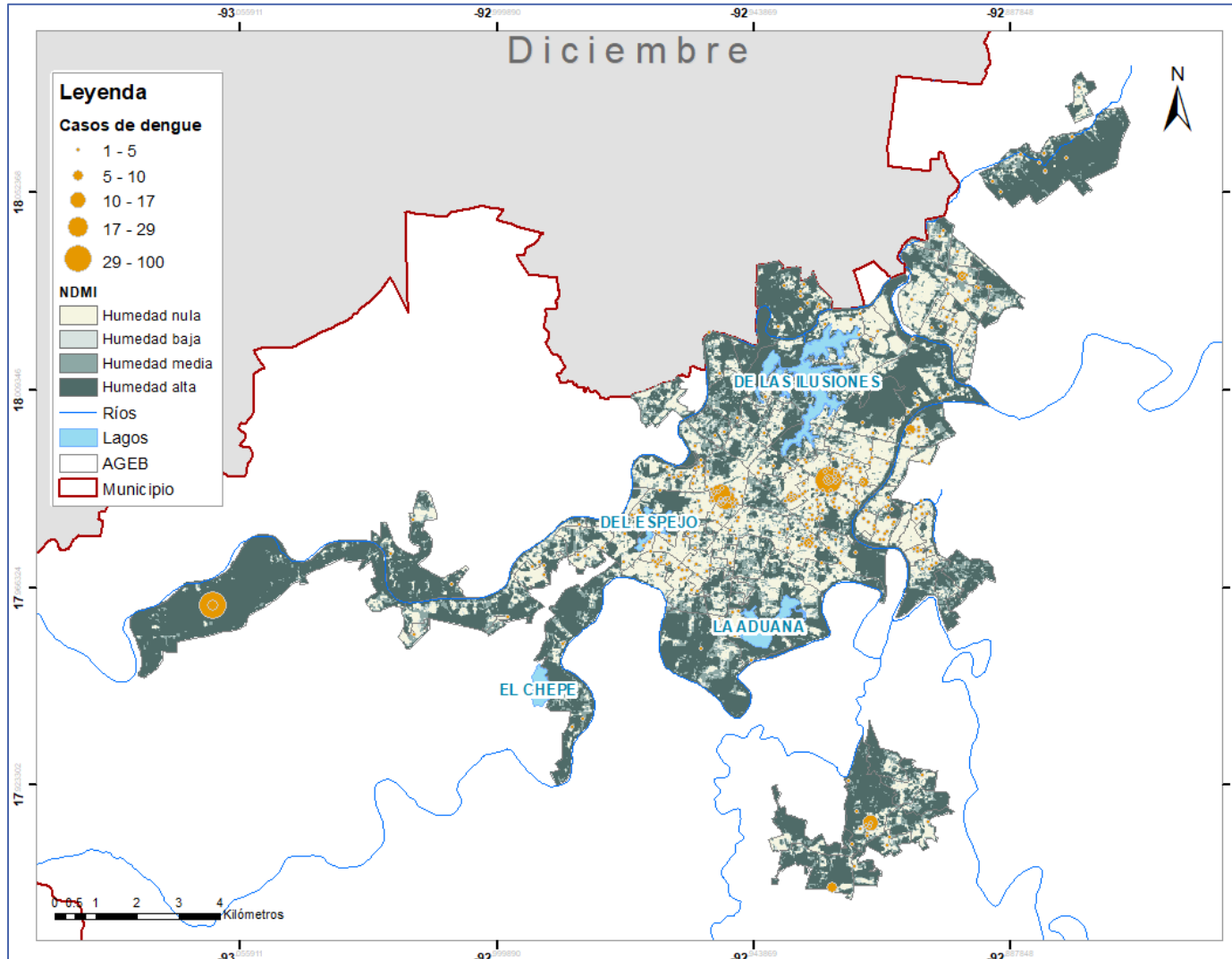


Fig. 93 NDMI y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

3.1.4 Densidad de huevos por ovitrampa positiva

3.1.4.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán Sinaloa en la Figura 94 se puede observar que la densidad de huevos de *Aedes aegypti* por ovitrampa positiva tiene un comportamiento estacional que se incrementa con la temporada de lluvias. El mes de febrero tiene la media de densidad de huevos más baja, mientras que septiembre tiene la media de densidad de huevos más alta. También se puede observar que de diciembre hasta el mes de febrero el comportamiento de la media es poco variable. El incremento de la media de densidad de huevos inicia en agosto y a partir de octubre se inicia el descenso que concluye en diciembre.

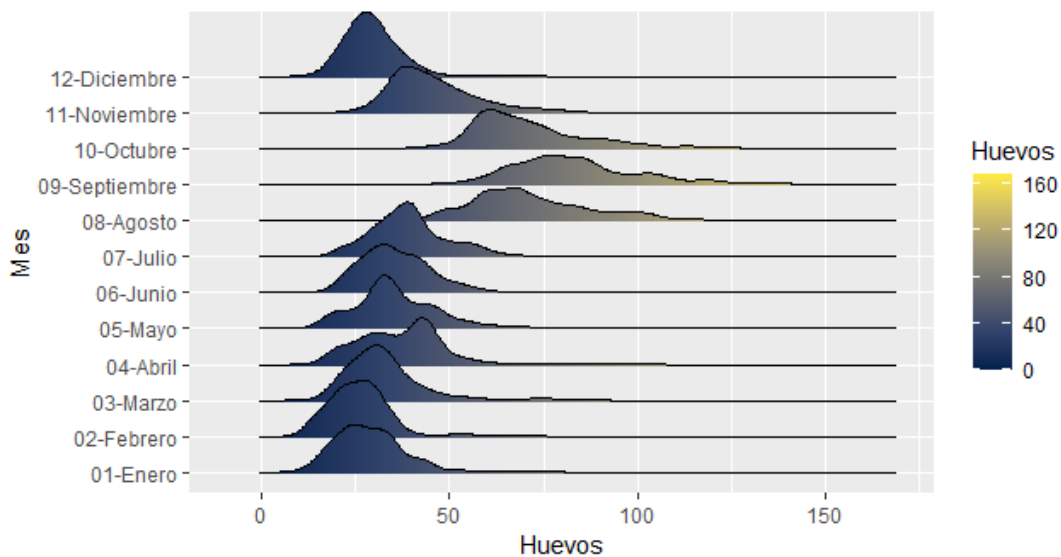


Fig. 94 Densidad de huevos por mes por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Culiacán de toda el área de estudio del 96% de las AGEB cuentan con ovitrampas positivas para el mes de abril y octubre. Las AGEB tienen 17 ovitrampas en promedio por mes con 438 registros de cada ovitrampa en promedio. Los meses que presentan mayor densidad de huevos son agosto, septiembre y octubre con el 15, 17 y 15% respectivamente.

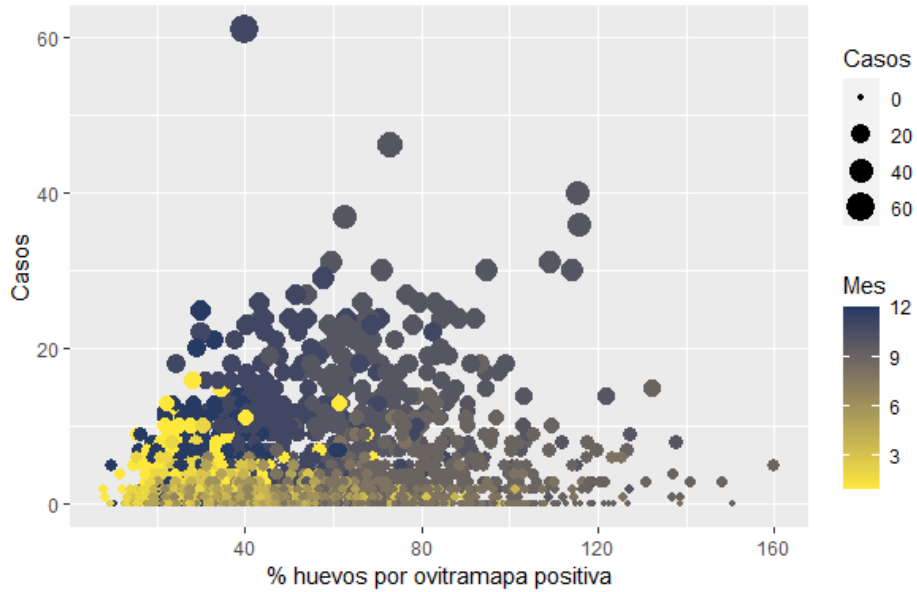


Fig. 95 Densidad de huevos y casos mensuales por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

La Figura 95 muestra cierta relación lineal entre el porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y los casos, es decir, que entre más huevos hay más casos se presentan en las AGEB. También se observa que conforme van pasando los meses del año los casos van incrementando. Esta situación permite que más mosquitos tengan la posibilidad de incrementar la transmisión del dengue.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del porcentaje de huevos por ovitrampa positiva en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 96 a la Figura 101.

Para el mes de enero el 61% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 70% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 53% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 54% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 79% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 49% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 86% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 84% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 40% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 88% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 36% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

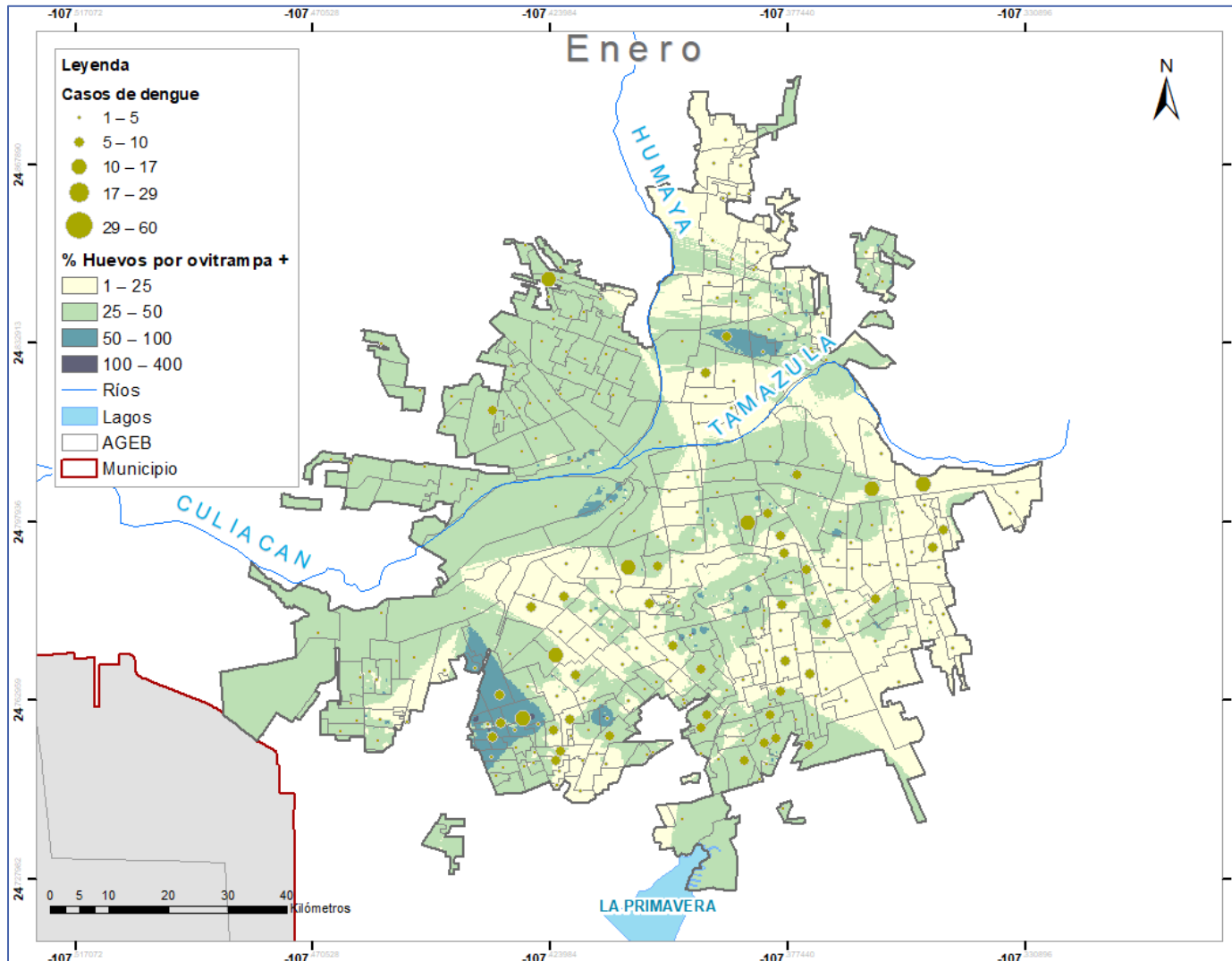


Fig. 96 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

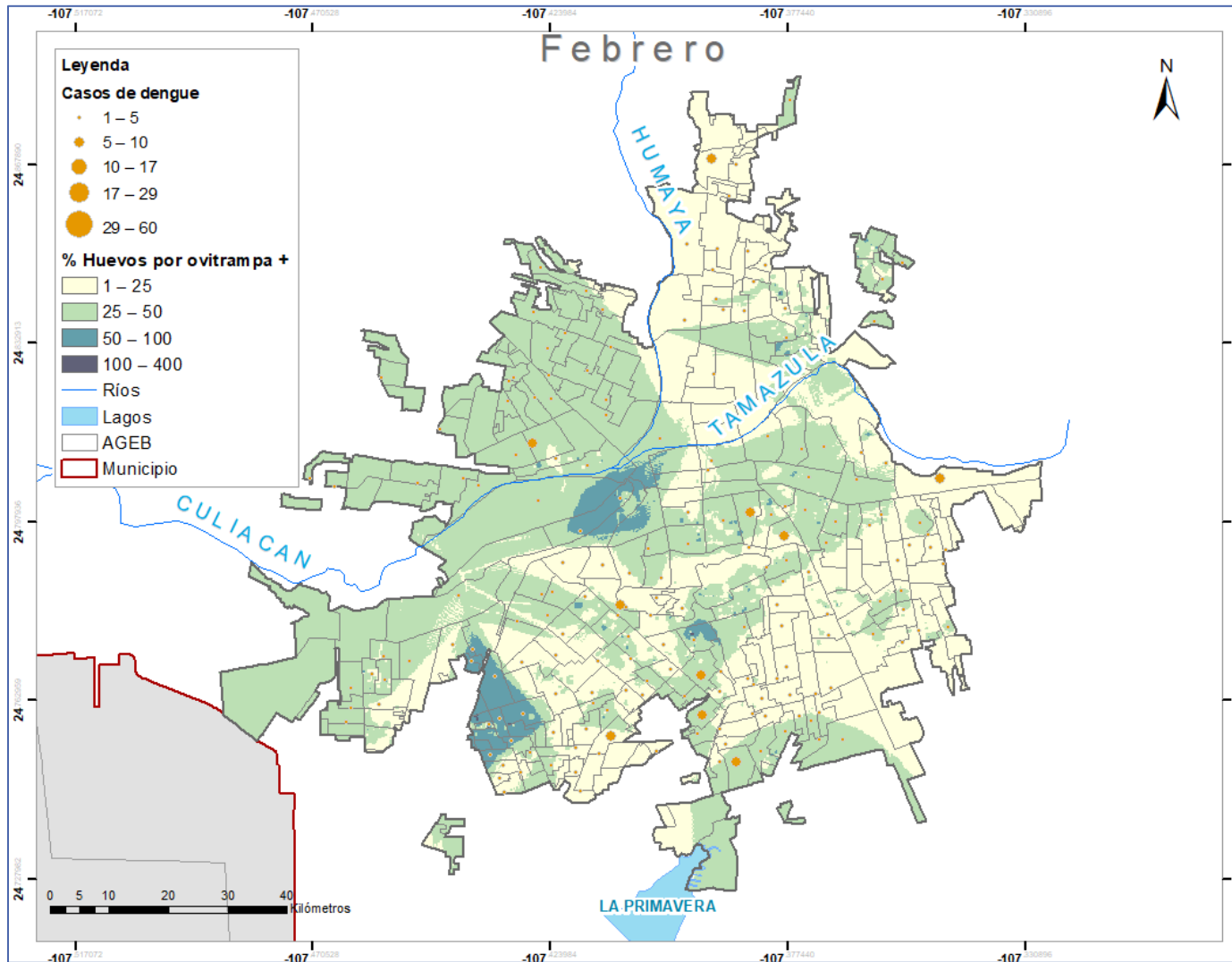


Fig. 97 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

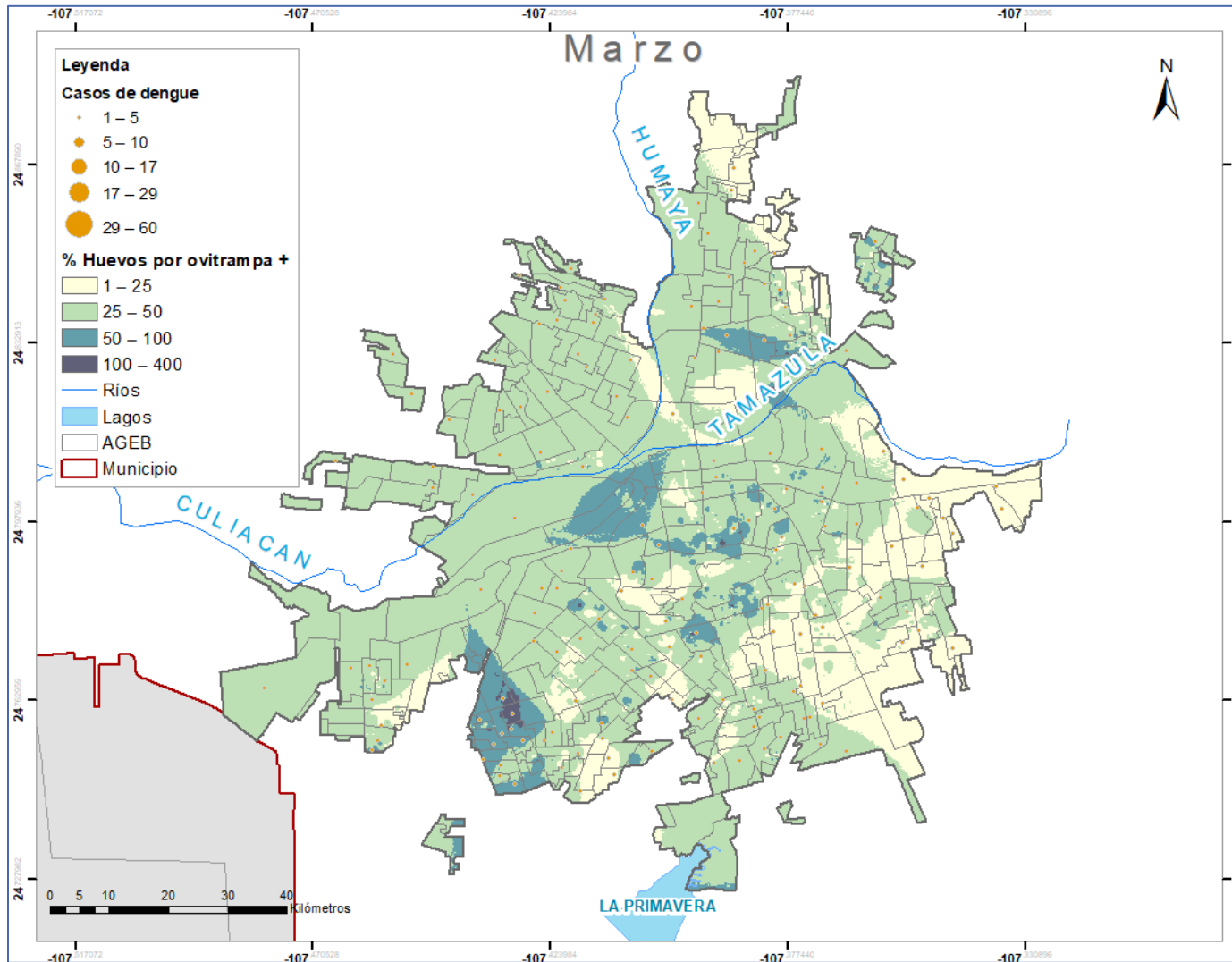


Fig. 98 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

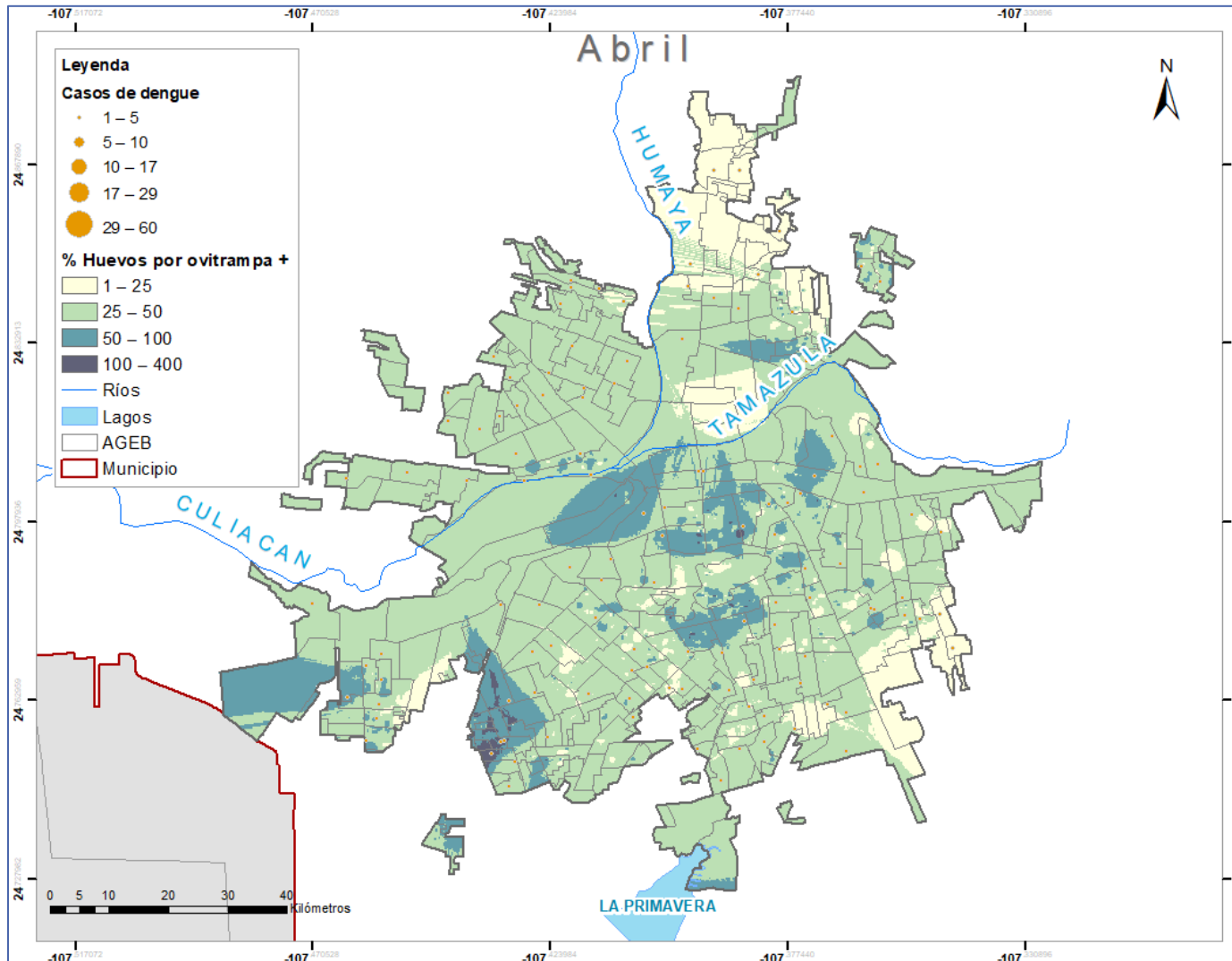


Fig. 99 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

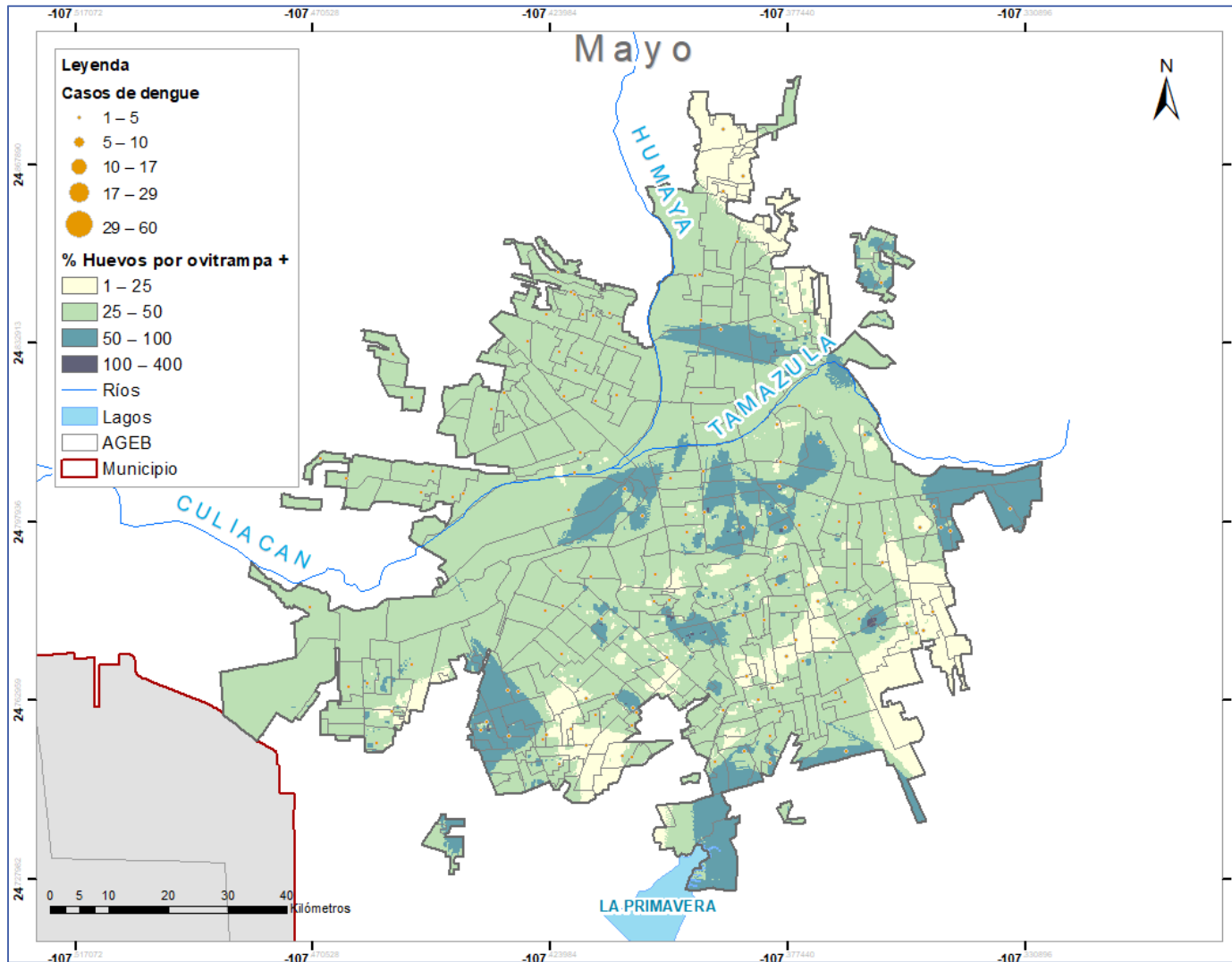


Fig. 100 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

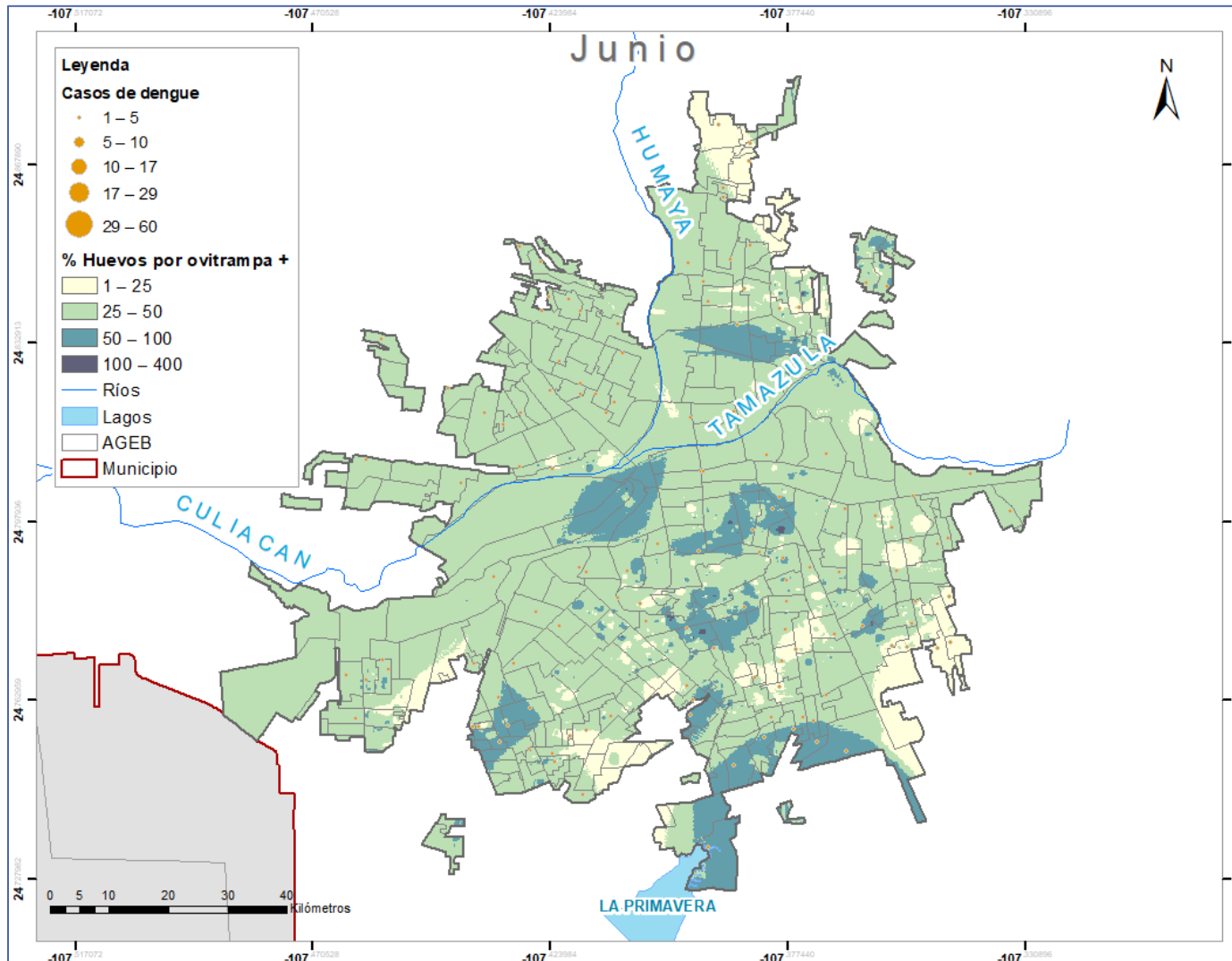


Fig. 101 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales del porcentaje huevos por ovitrampas positivas en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 102 a la Figura 107.

Para el mes de julio el 93% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 35% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 100% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 50% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 100% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 67% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 100% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 82% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 99% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 84% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 75% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 76% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

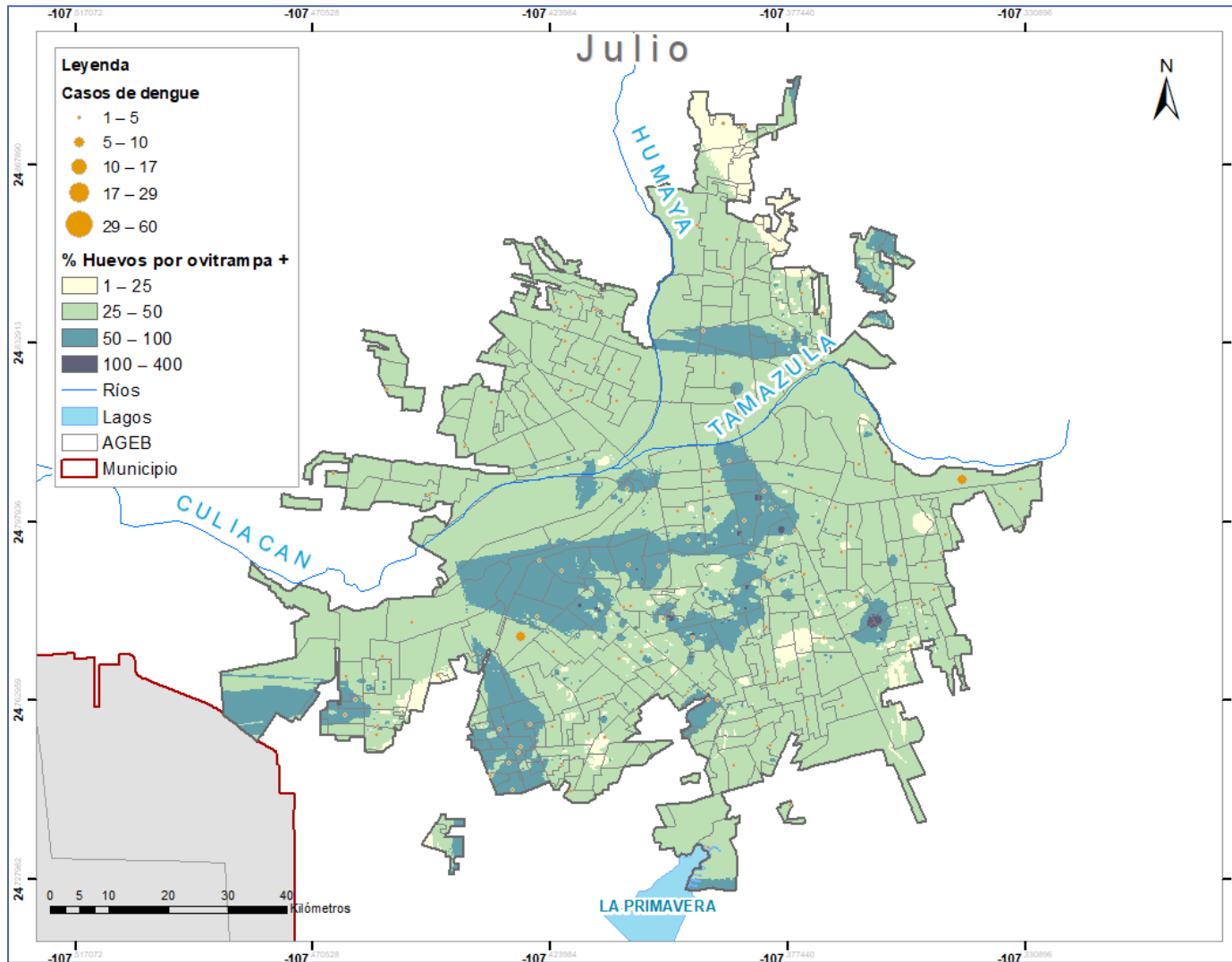


Fig. 102 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

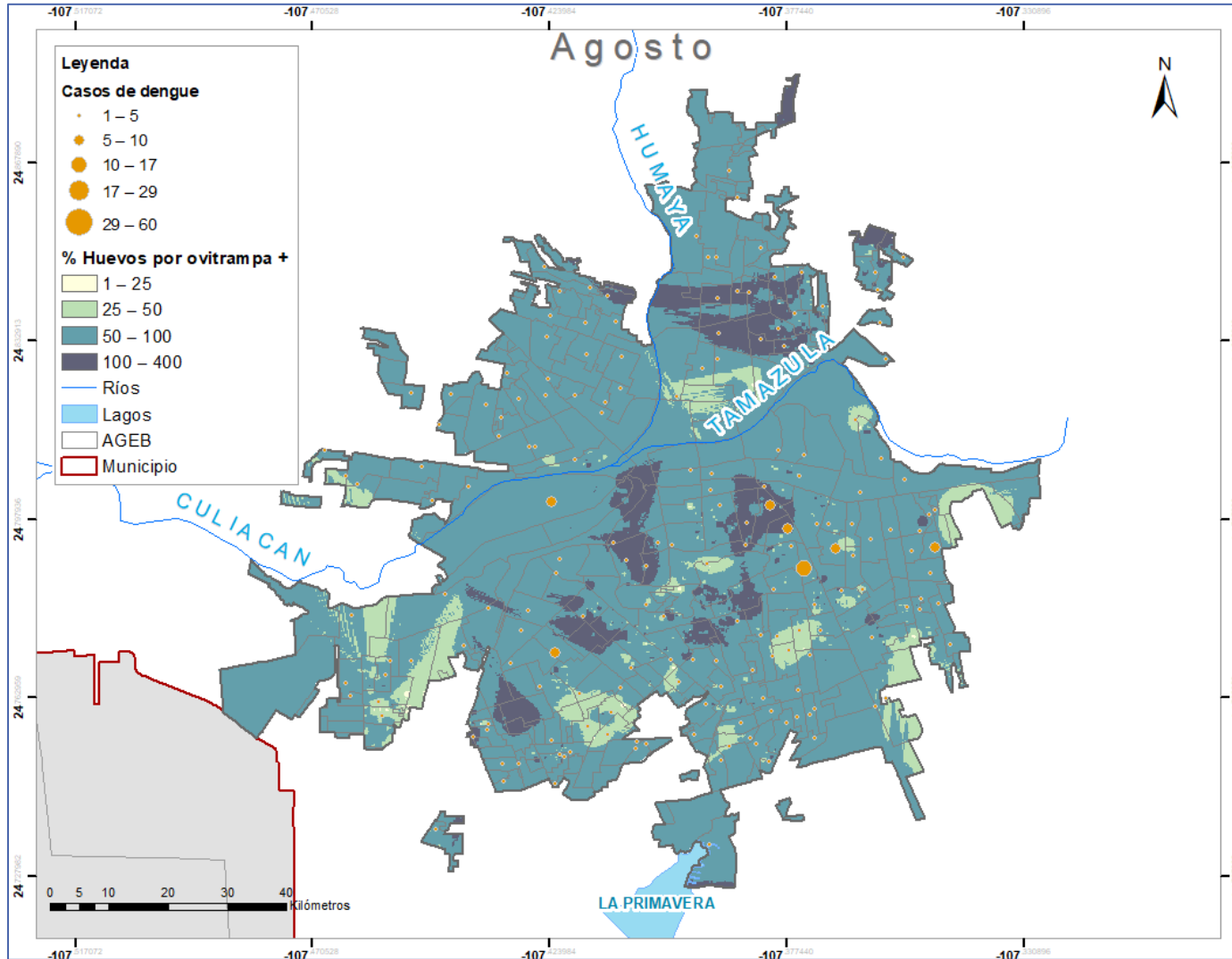


Fig. 103 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

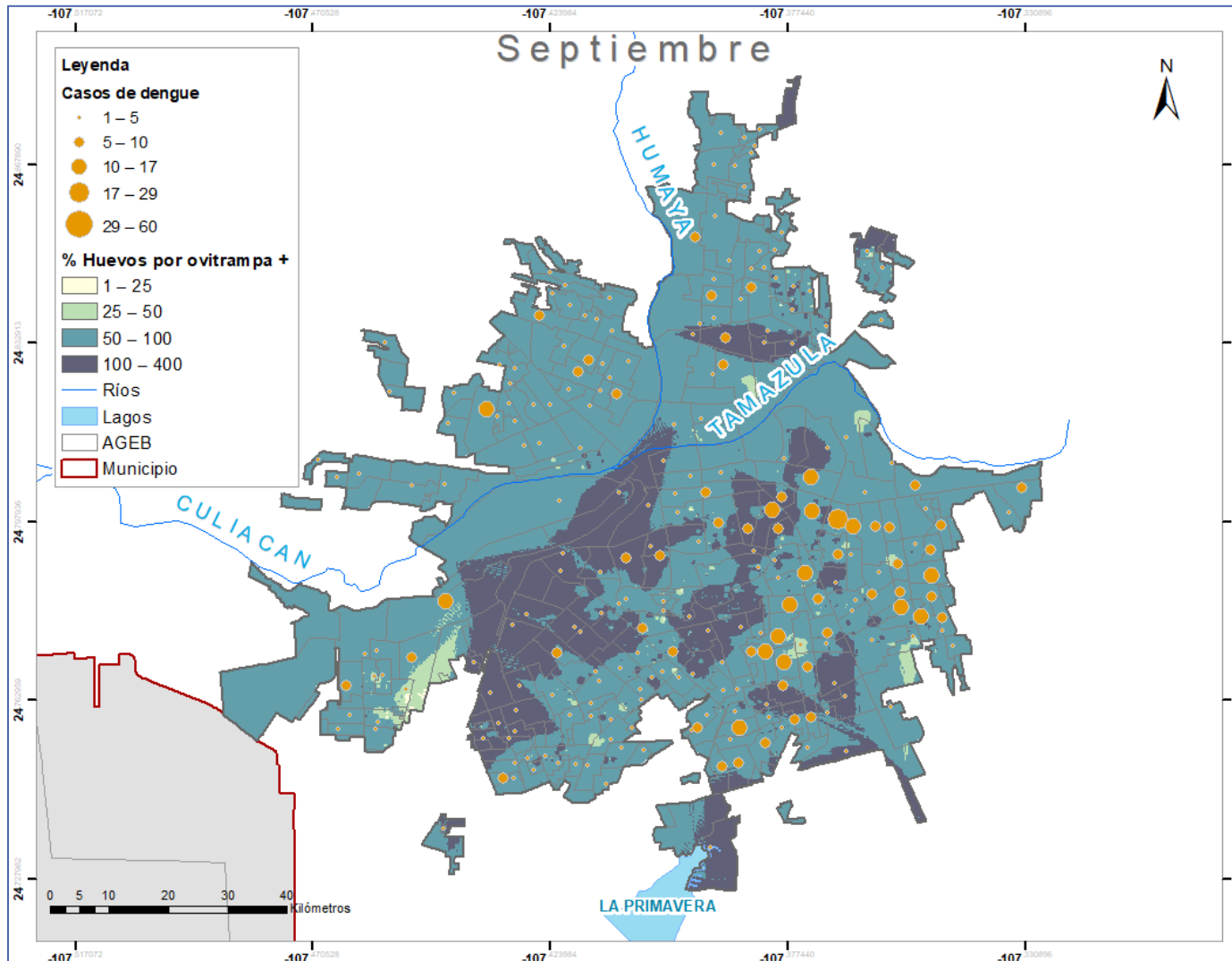


Fig. 104 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

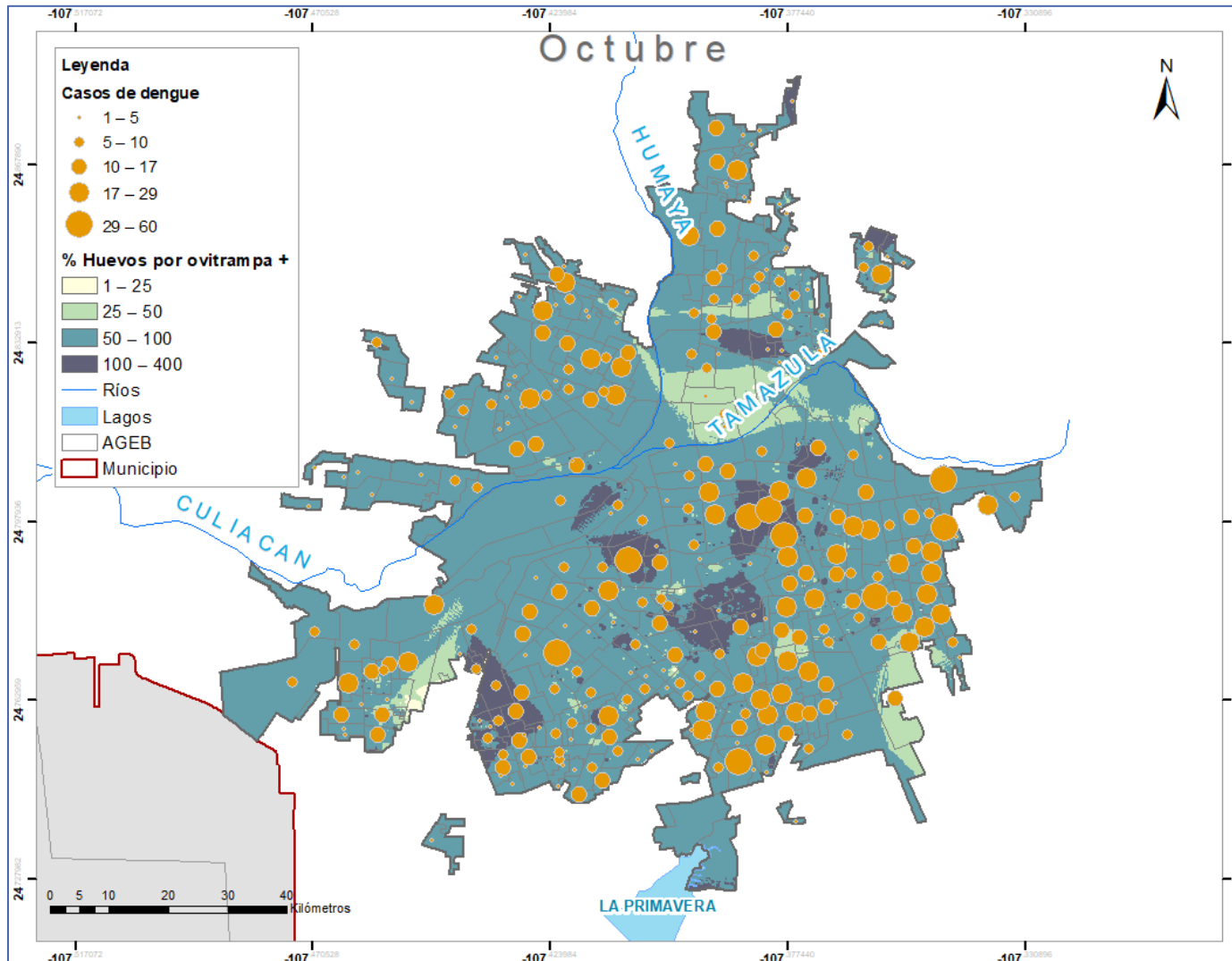


Fig. 105 Porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

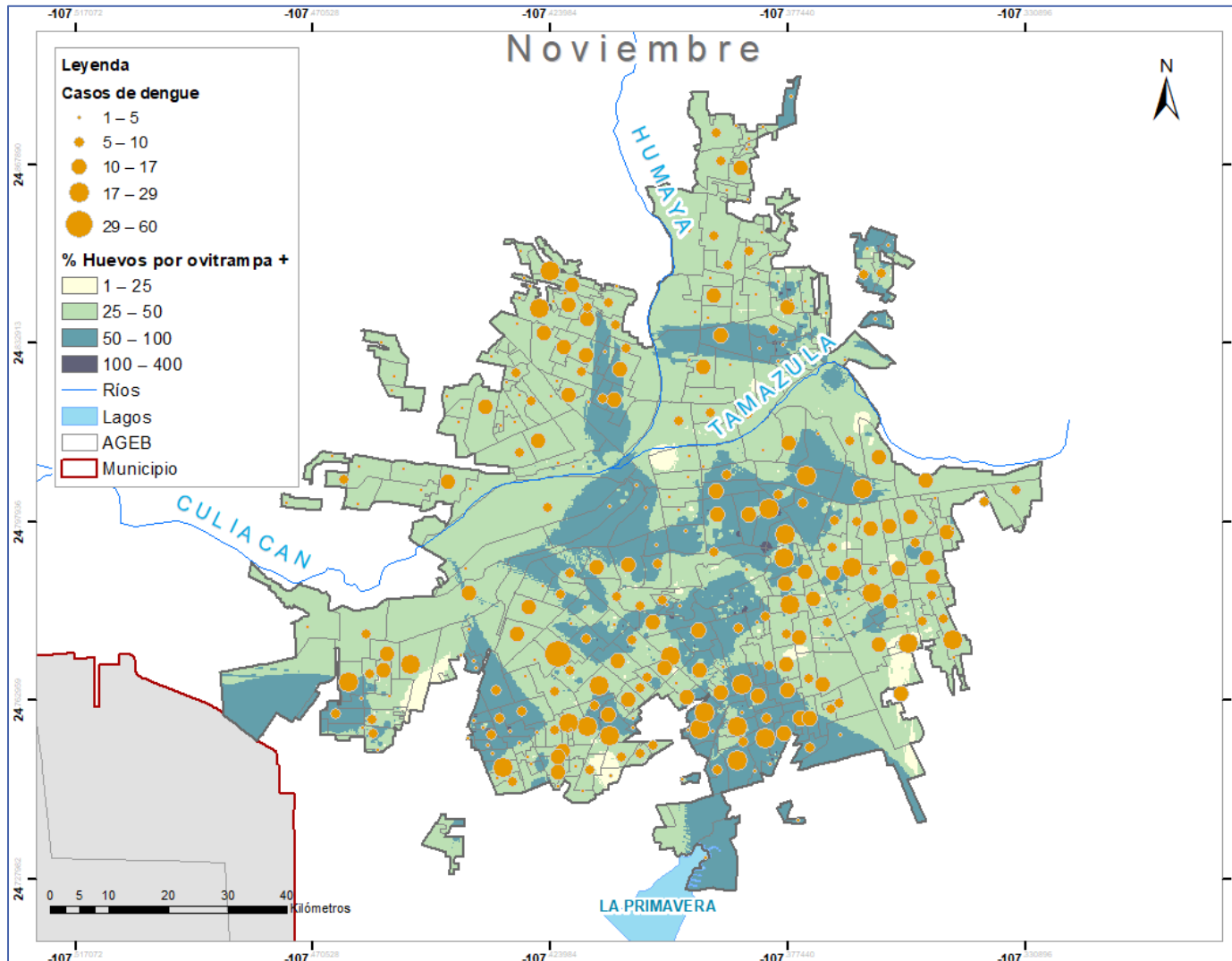


Fig. 106 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

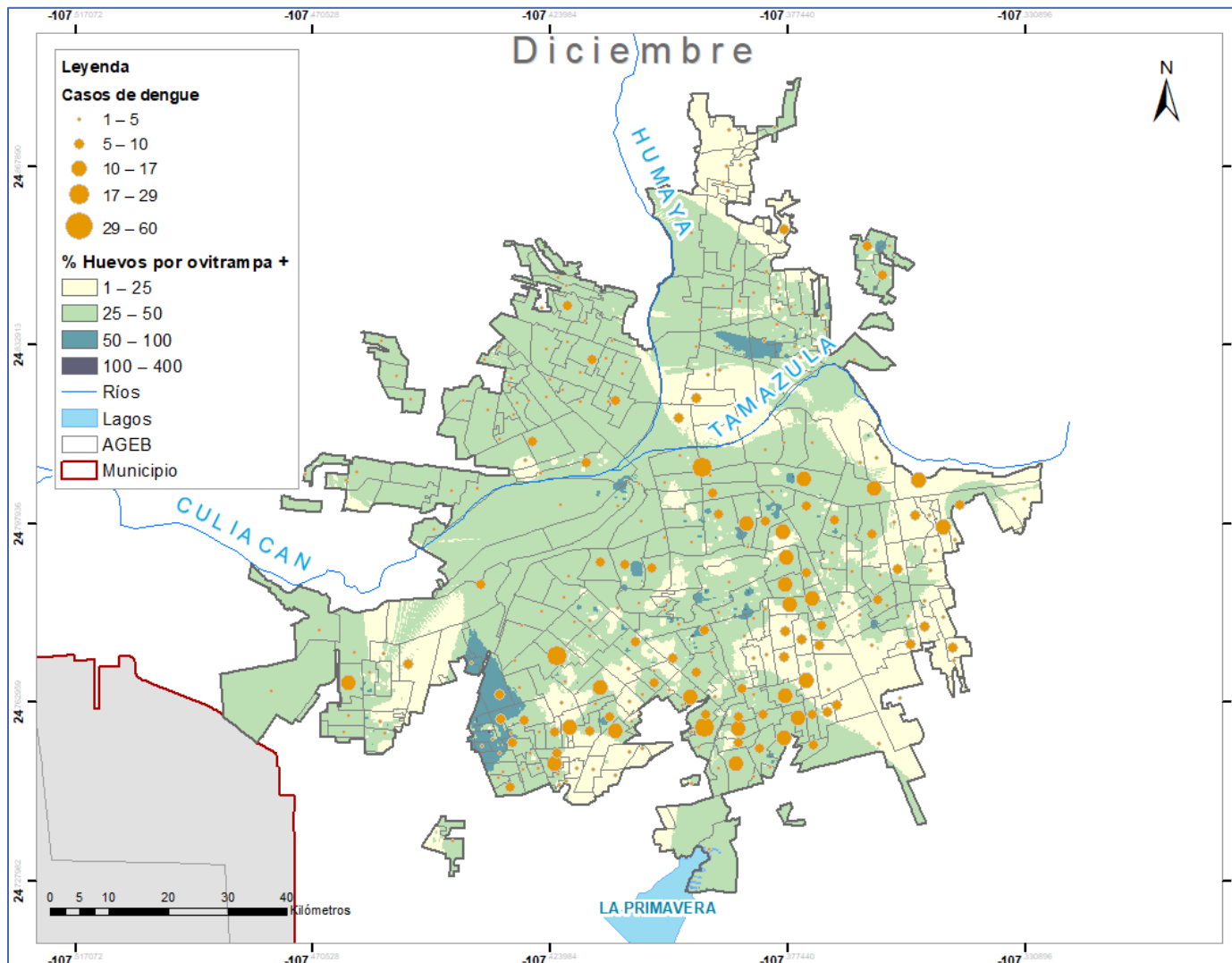
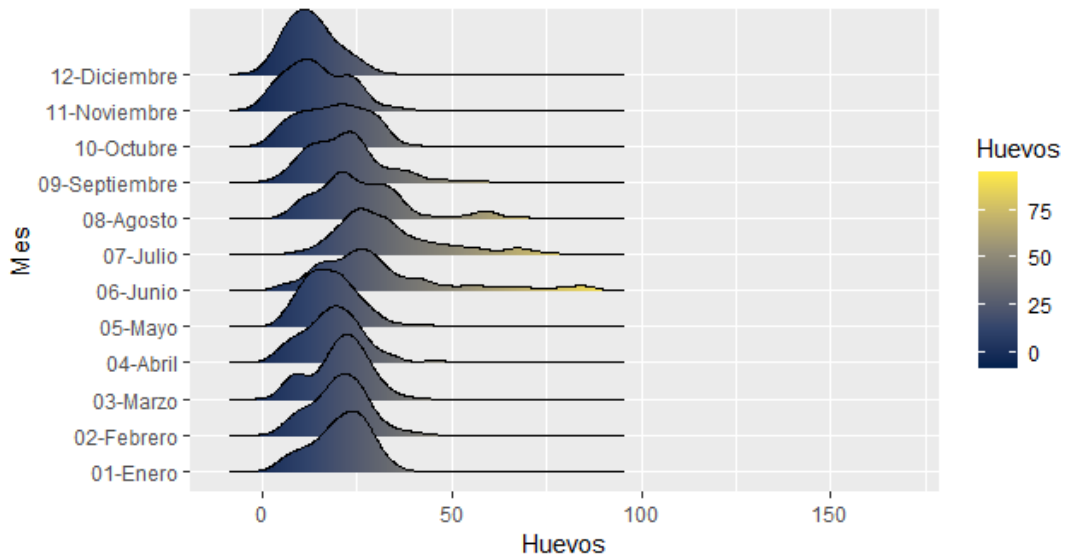


Fig. 107 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.1.4.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro de Tabasco en la Figura 108 se puede observar que la densidad de huevos de *Aedes aegypti* por ovitrampa positiva no tiene un comportamiento estacional tan marcado, aunque se incrementa un poco en la temporada de lluvias. Sin embargo, se puede apreciar que de enero a mayo la media de densidad de huevos se mantiene. El mes de julio es el mes con la media de densidad de huevos más alta, a partir del mes de agosto la media empieza a disminuir para concluir en diciembre.



Para el municipio Centro de toda el área de estudio el 57% y 71% de las AGEB cuentan con ovitrampas positivas para el mes de marzo y septiembre respectivamente. Las AGEB tienen 50 ovitrampas en promedio por mes con 512 registros de cada ovitrampa en promedio. Los meses que presentan mayor porcentaje de huevos por ovitrampa positiva son junio y julio con 12 y 13% respectivamente.

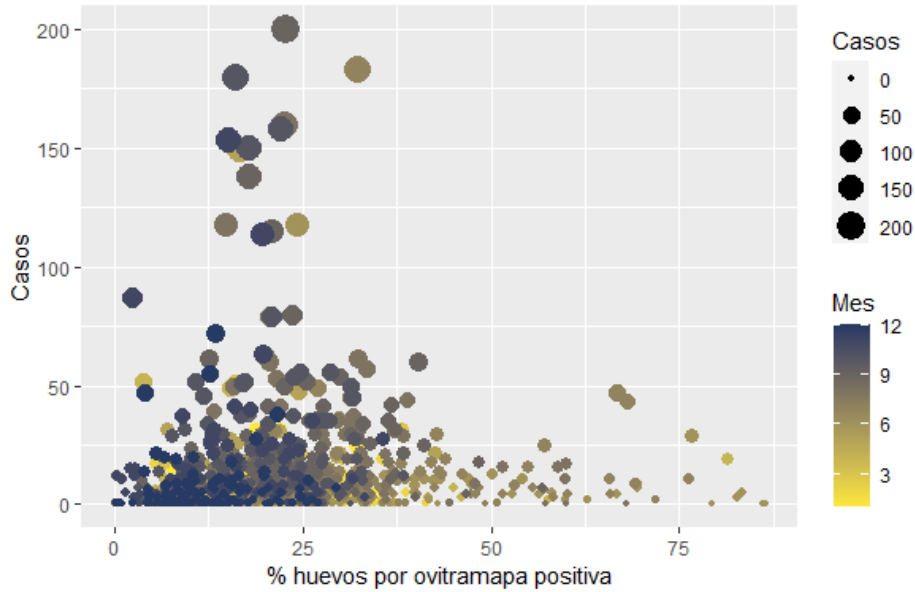


Fig. 109 Densidad de huevos y casos mensuales por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

La Figura 109 muestra cierta relación lineal entre el porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y los casos, es decir, que entre más huevos hay más casos se presentan en las AGEB. Se puede ver que el total de casos por AGEB es igual para cualquier mes del año. Esto se puede deber a las constantes lluvias en todo el año en esta área de estudio.

Se realizaron mapas temáticos mensuales del porcentaje de huevos por ovitrampa positiva en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 110 a la Figura 115.

Para el mes de enero el 31% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 26% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 90% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 24% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 86% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de abril el 19% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 86% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 88% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 88% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de junio el 89% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 89% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

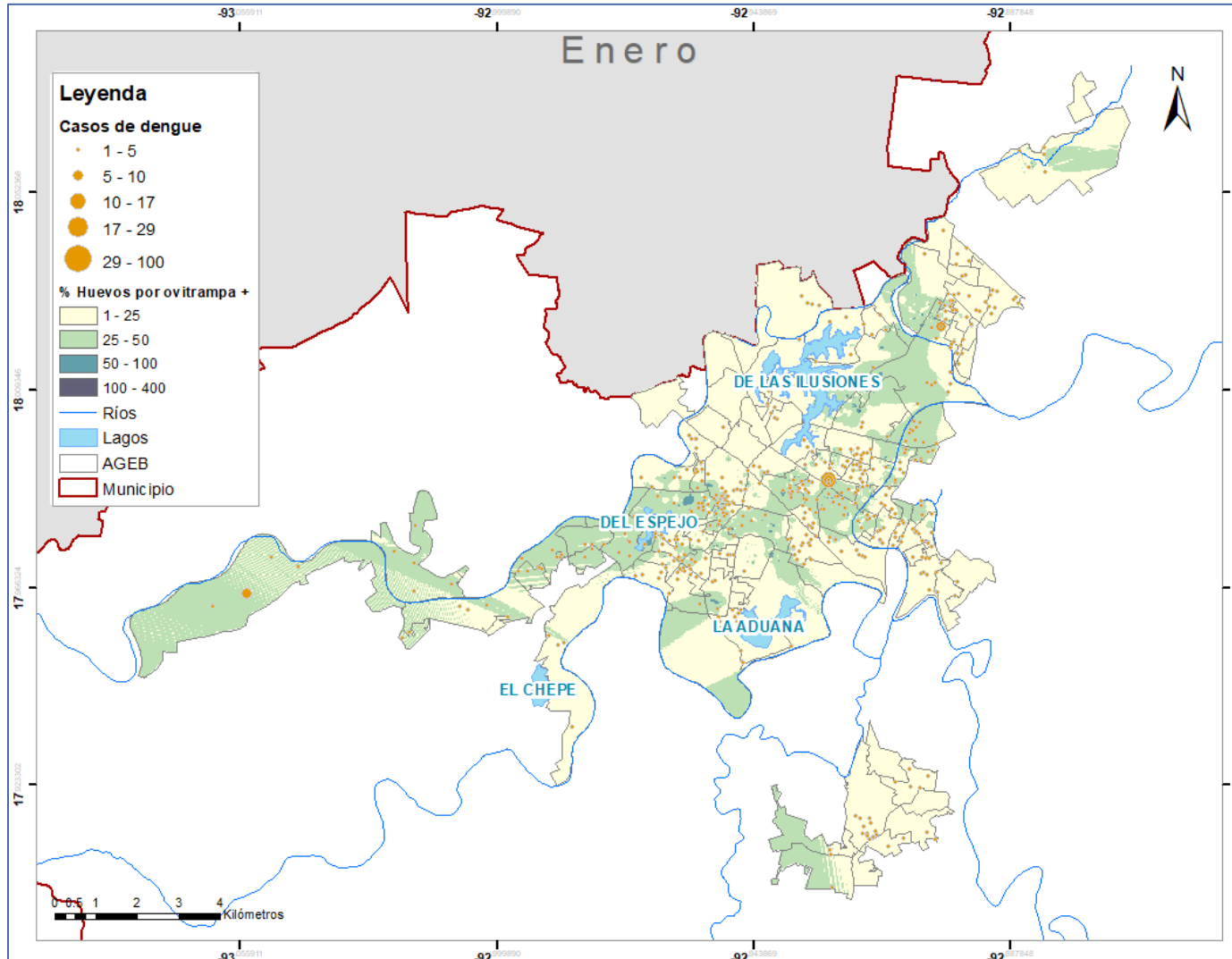


Fig. 110 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

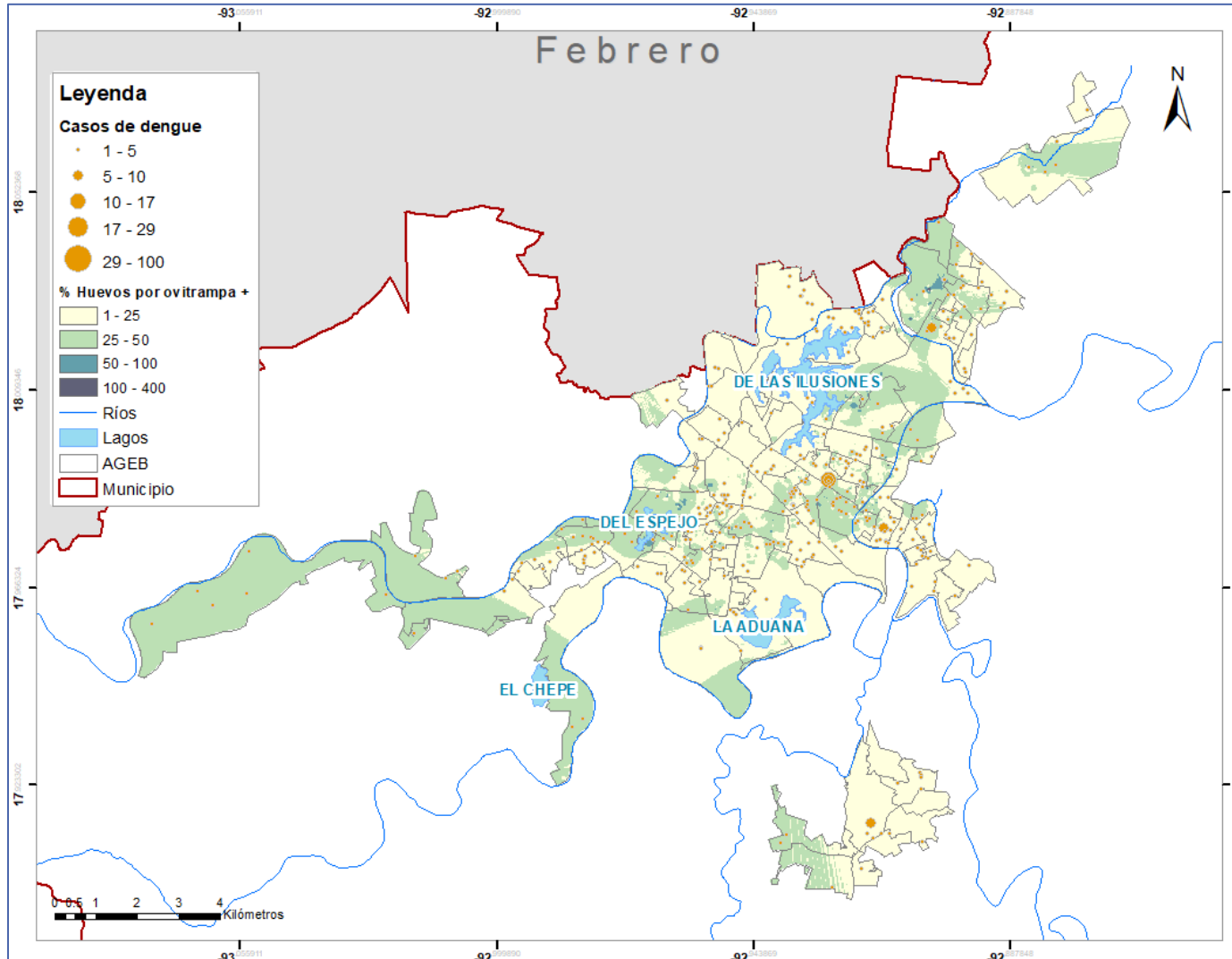


Fig. 111 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

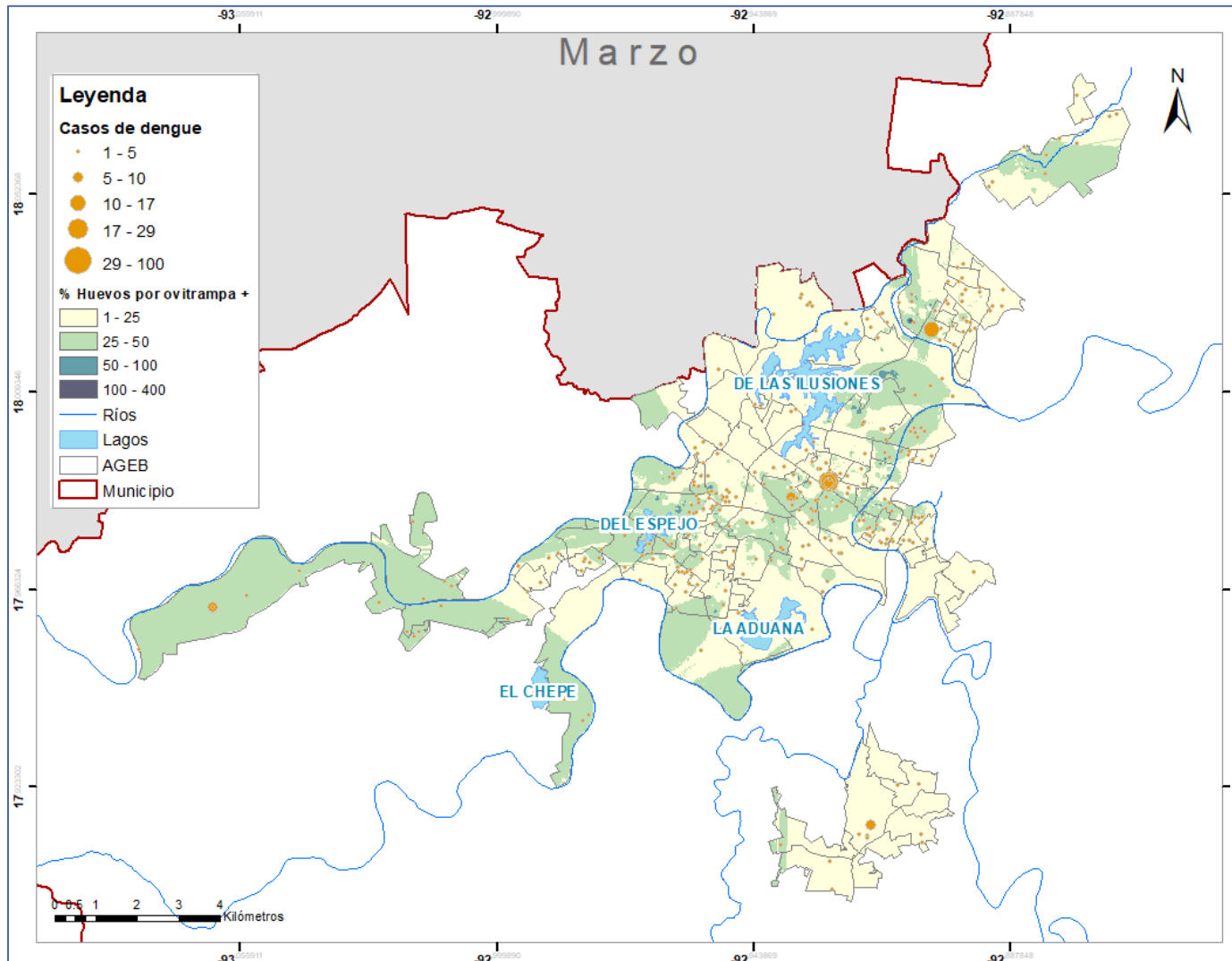


Fig. 112 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

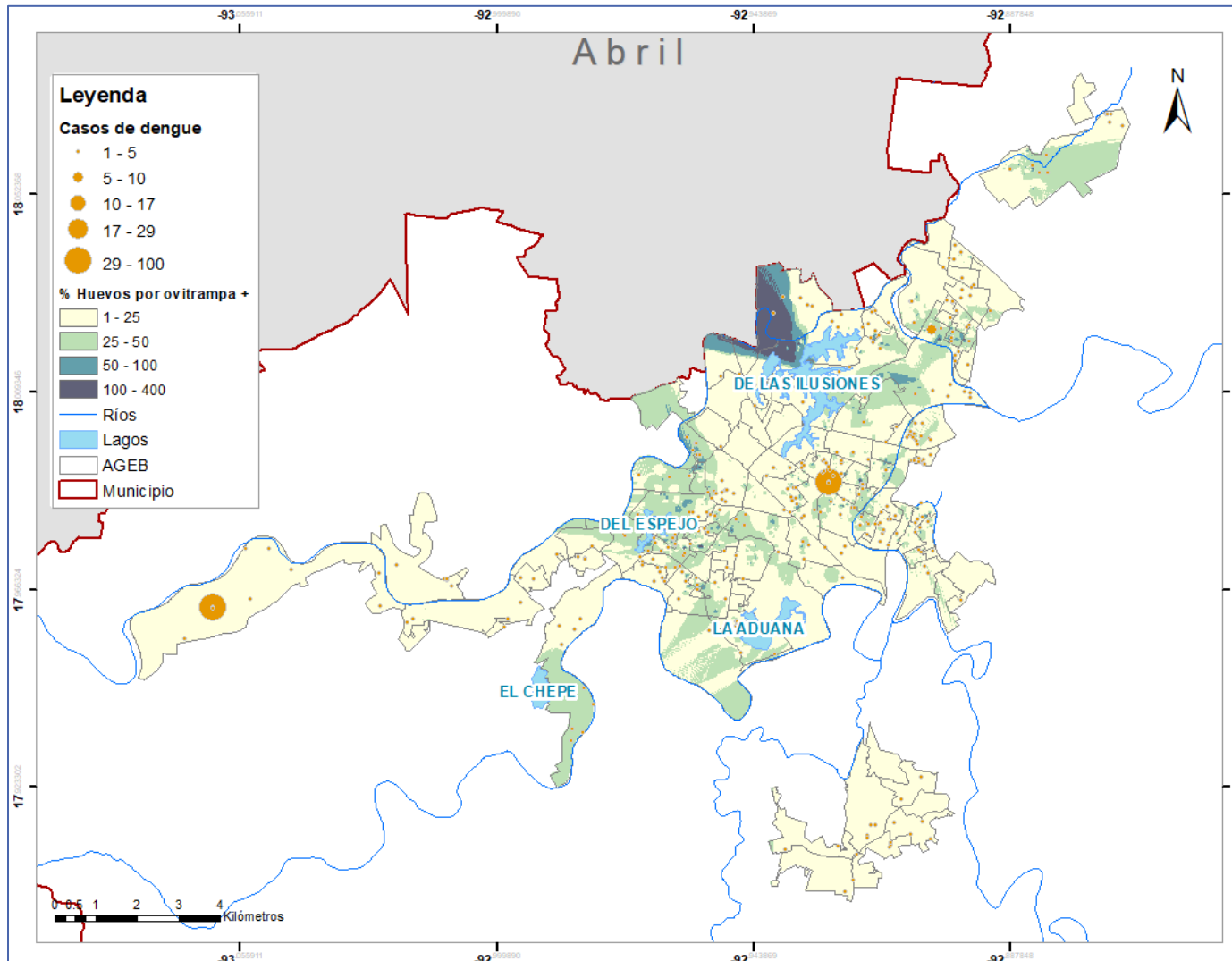


Fig. 113 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

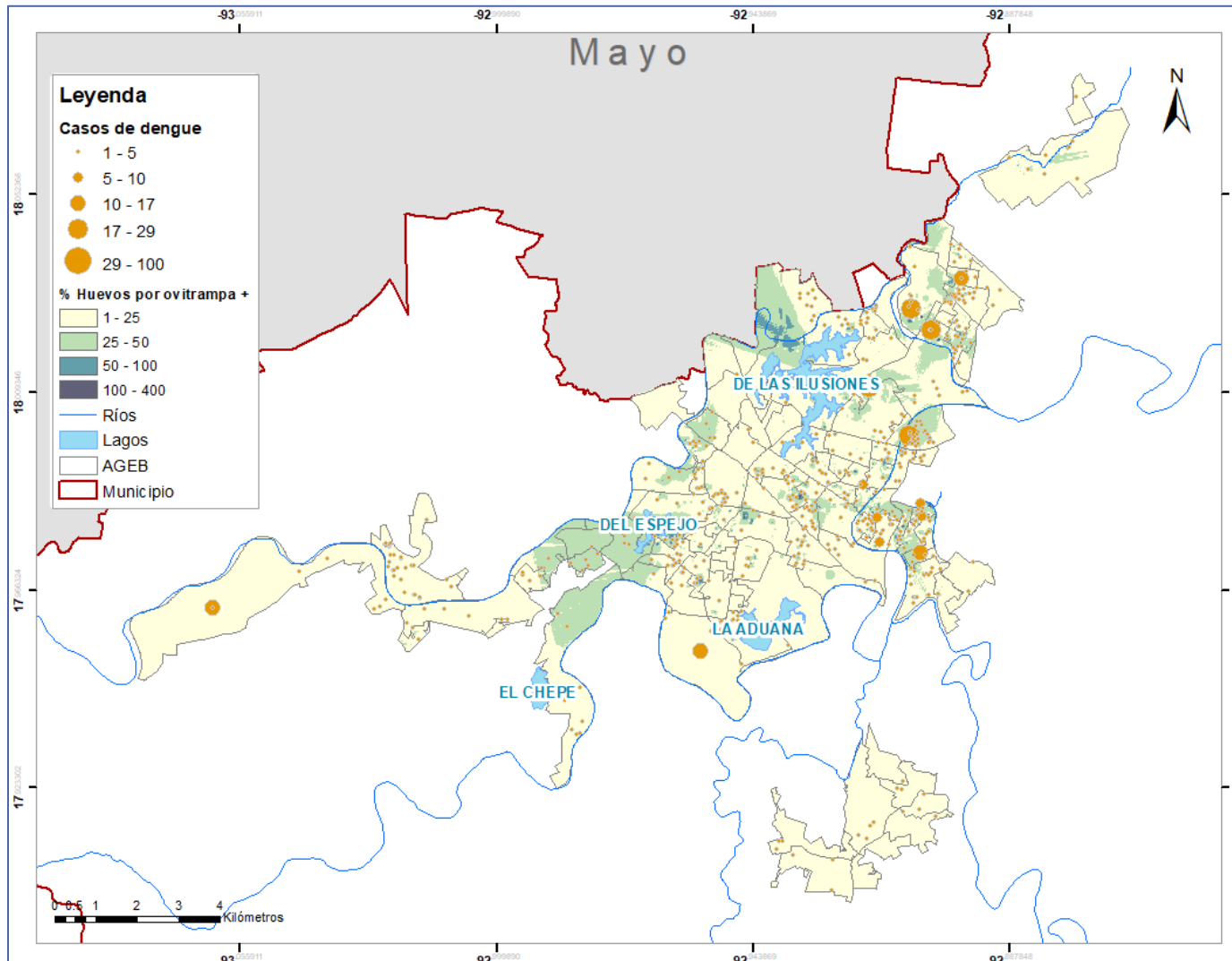


Fig. 114 Porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

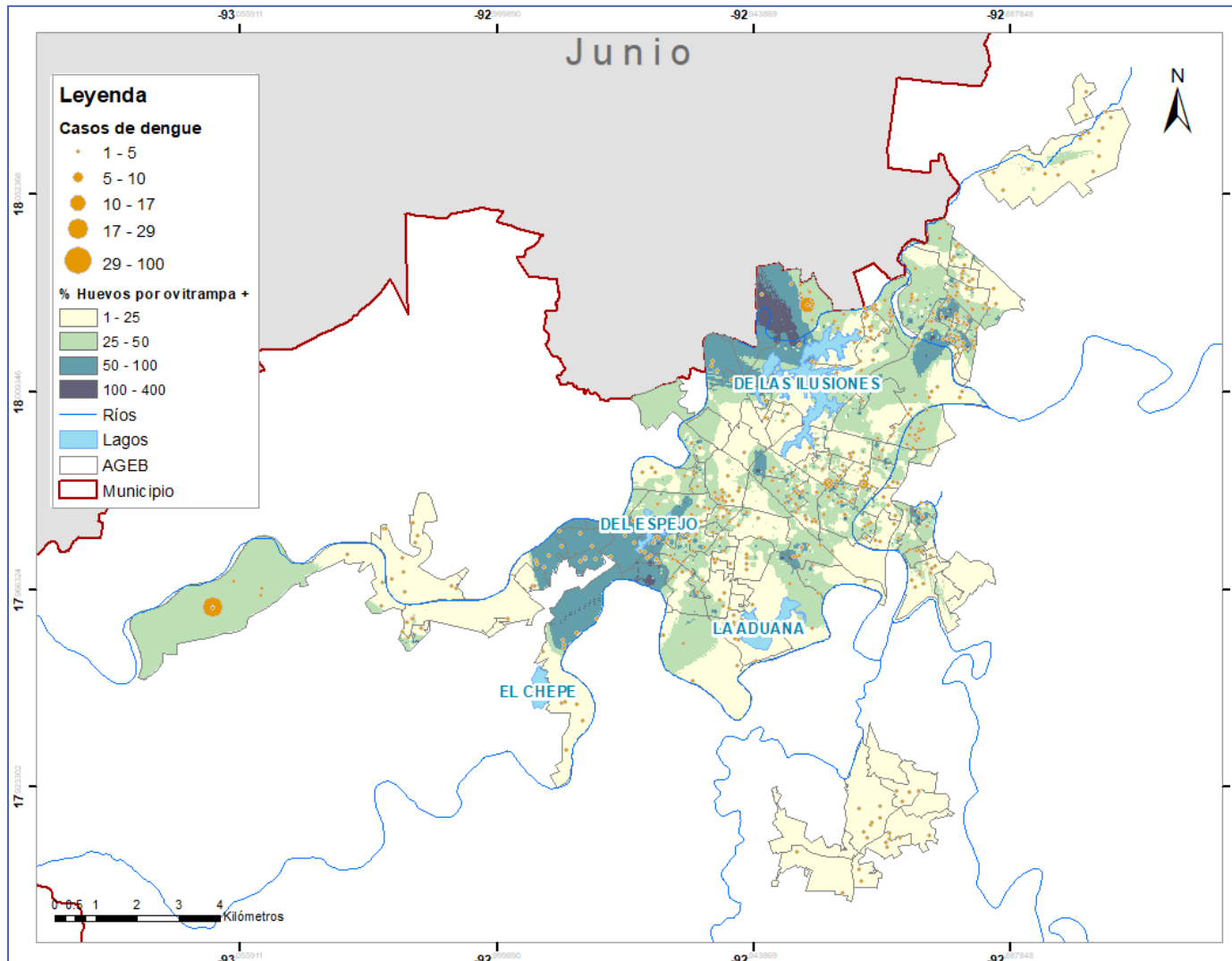


Fig. 115 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales del porcentaje huevos por ovitrampas positivas en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 116 a la Figura 121.

Para el mes de julio el 71% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 98% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 47% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 91% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 31% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 100% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 24% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 93% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 10% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 100% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 4% de las AGEB del área de estudio presentaron un porcentaje mayor a 25 de las cuales el 100% presentaron casos reportados por dengue en el mes.

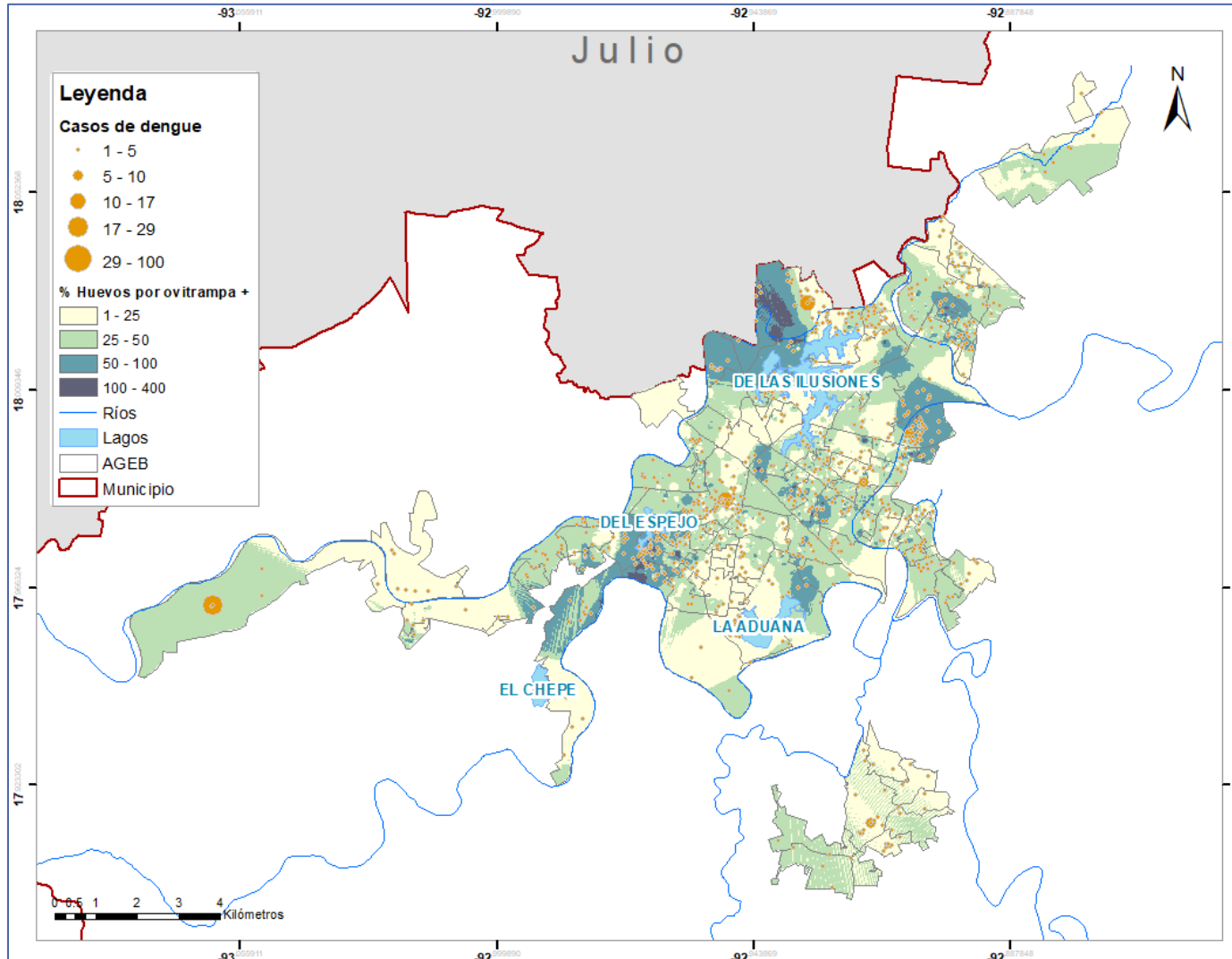


Fig. 116 Porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

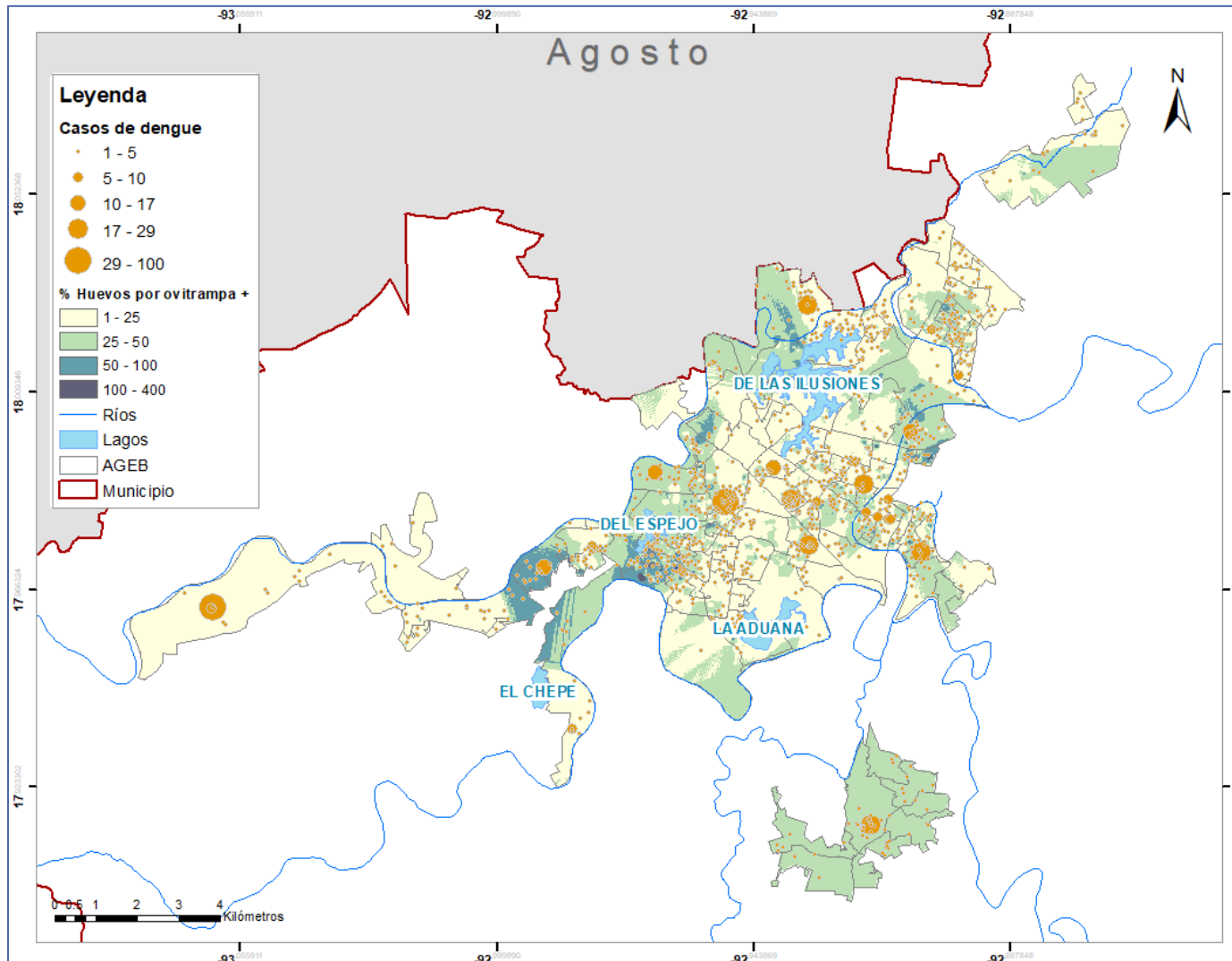


Fig. 117 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de agosto por AGEb del municipio Centro, Tabasco.

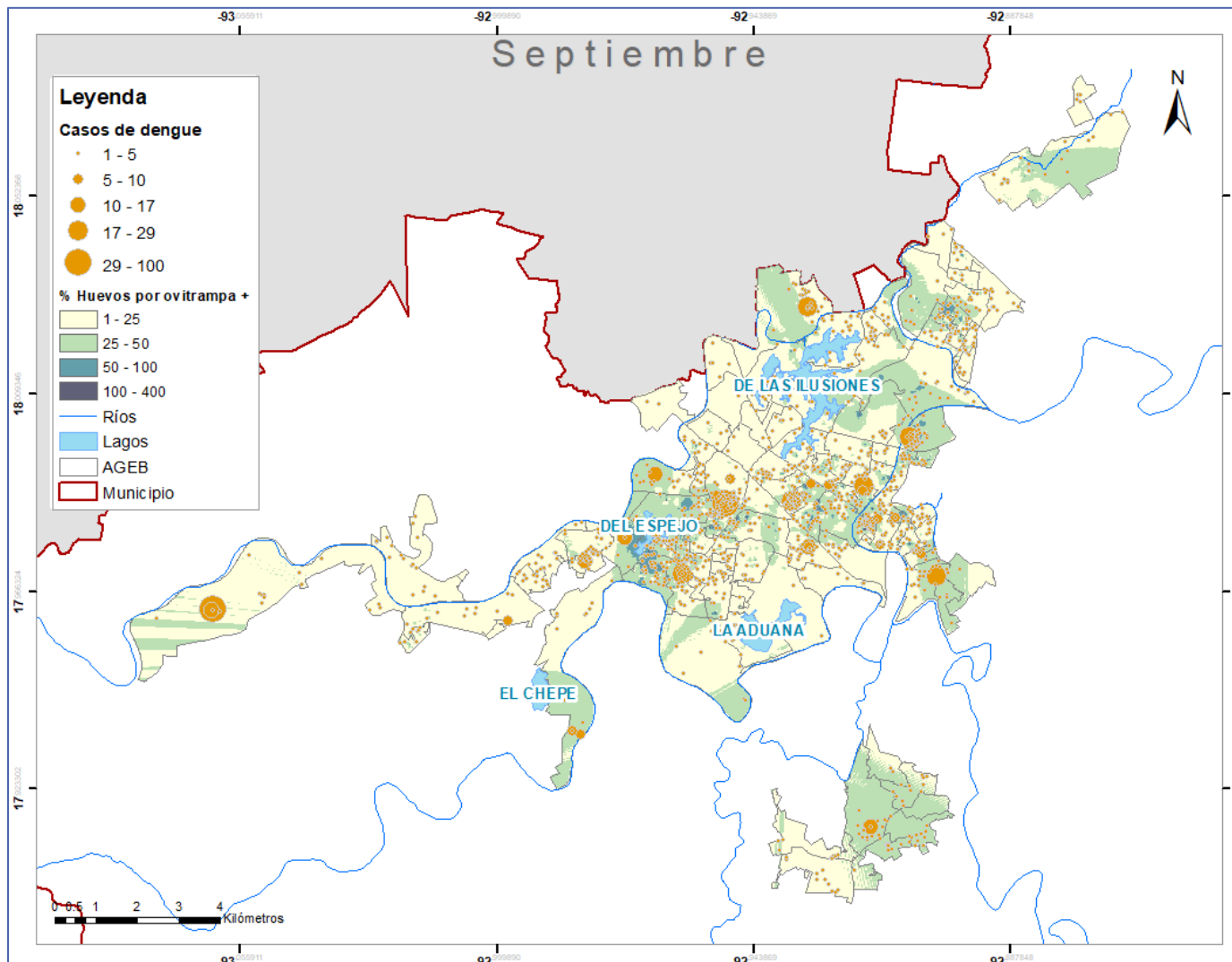


Fig. 118 Porcentaje de huevos por ovitrampa positiva y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

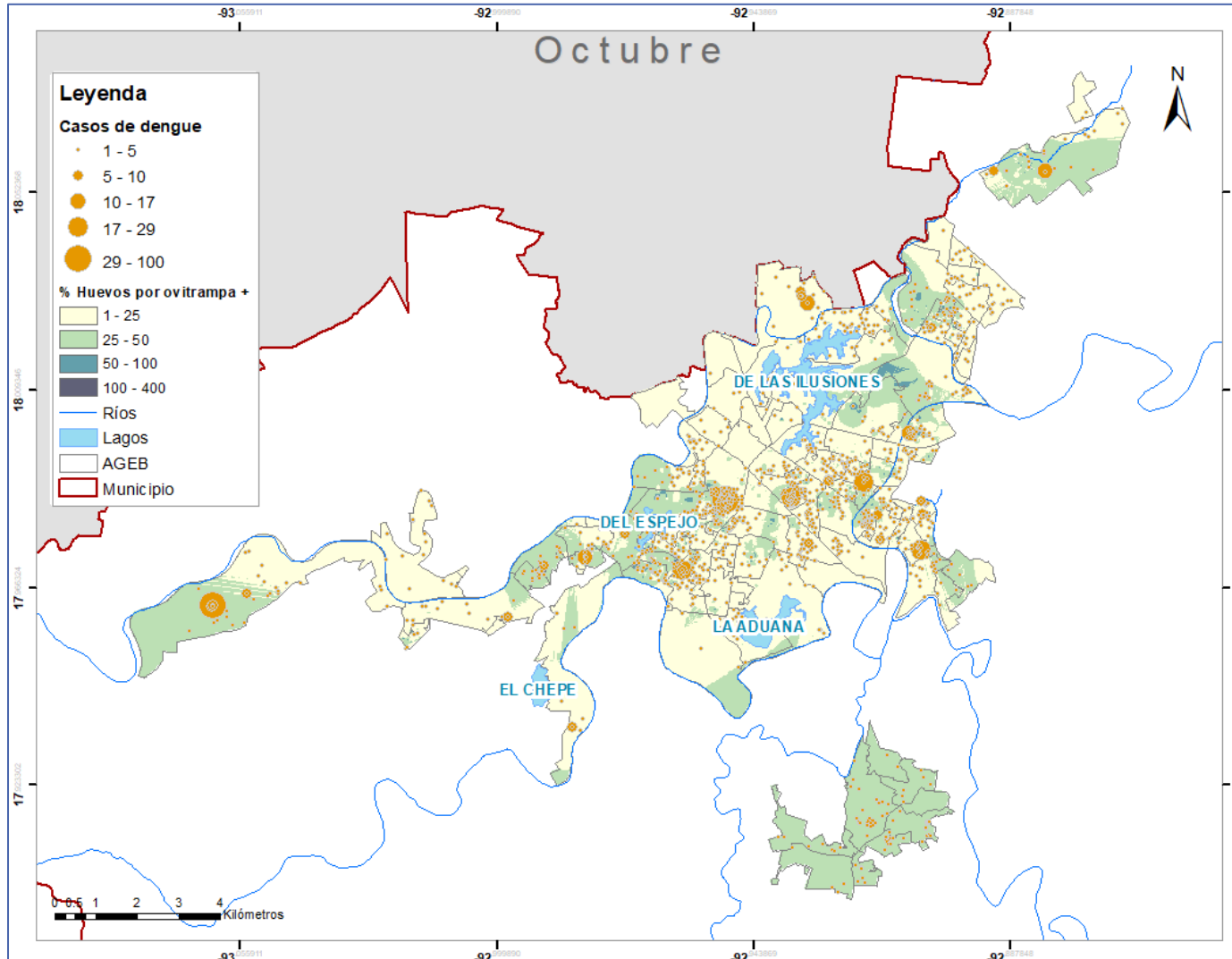


Fig. 119 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

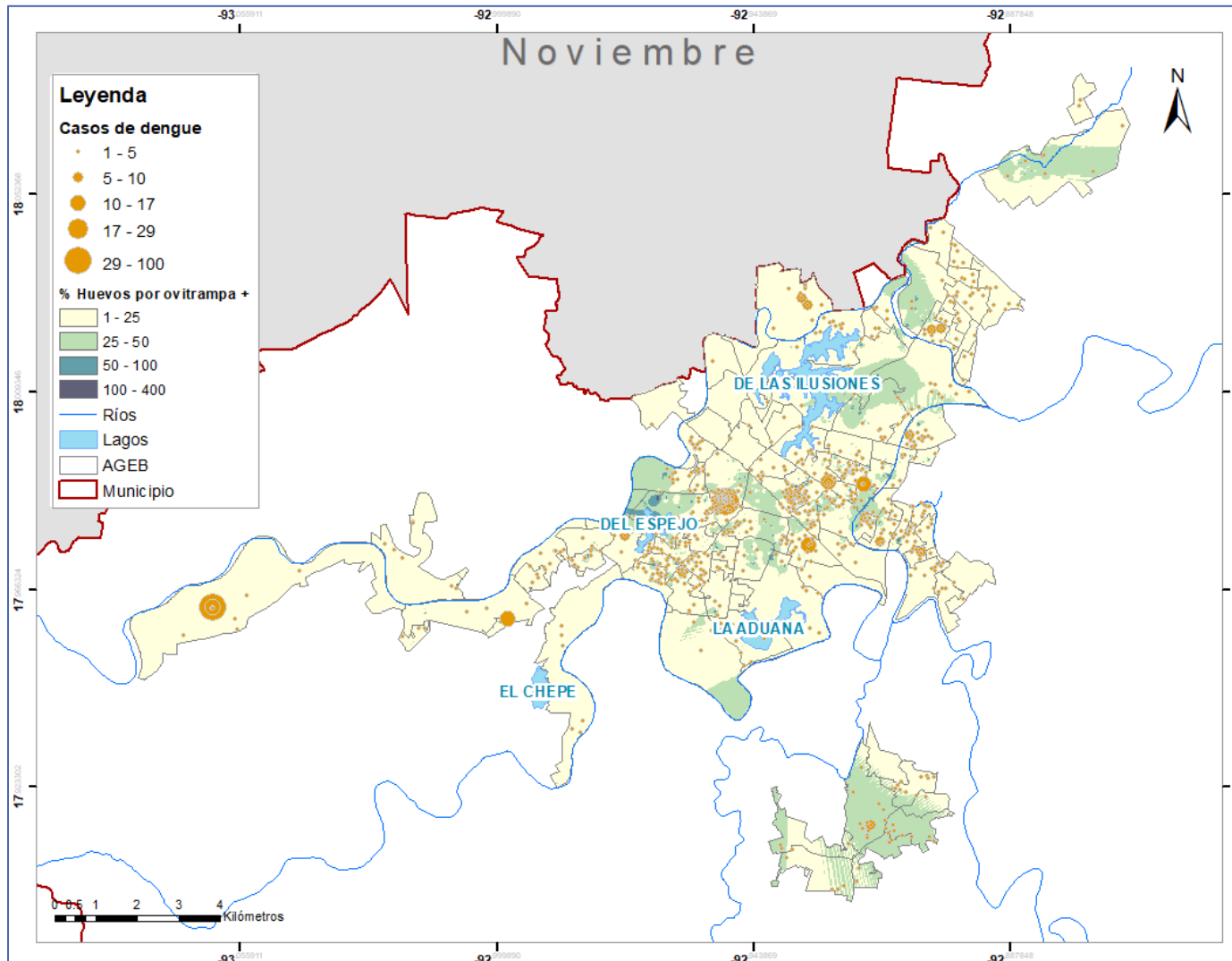


Fig. 120 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

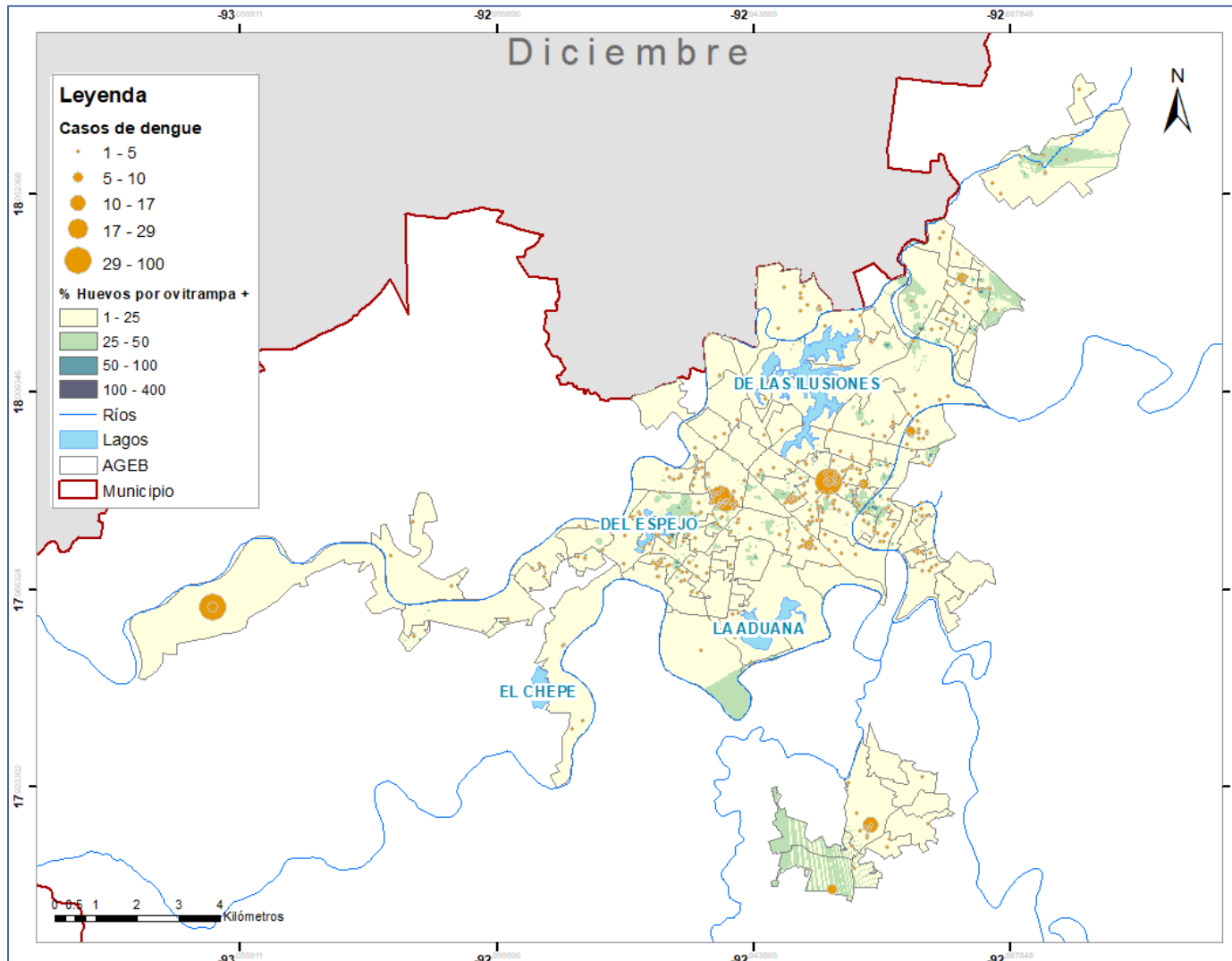


Fig. 121 Porcentaje de huevos por ovitampa positiva y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

3.1.5 Casos probables y confirmados

3.1.5.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

En el municipio Culiacán en el periodo de 2010-2020 se reportaron 10,450 casos probables de dengue. Como se puede ver en la Figura 122, en el primer semestre se nota un decremento en los casos, el mes con menos casos registrados es el mes de abril con el 2%, a partir del mes de agosto inicia el incremento en los casos, el mes que reporta más casos es el mes de octubre con el 30% del total de casos. En el mes de noviembre se inicia el descenso de los casos que concluye en diciembre.

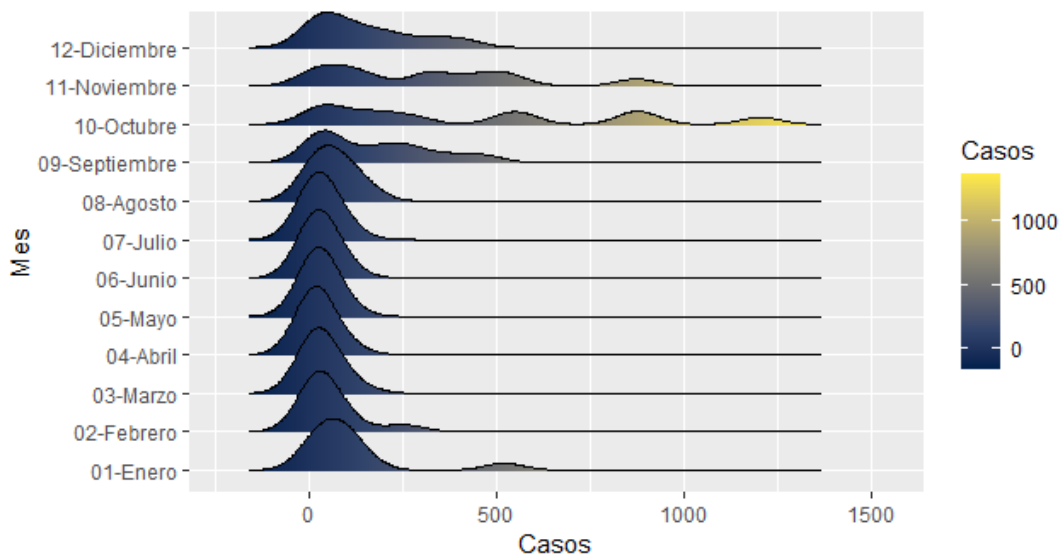


Fig. 122 Total de Casos probables y confirmados por mes por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Culiacán de toda el área de estudio el 67% de las AGEB no presentaron casos reportados por dengue para el mes de abril. Para el mes de octubre el 82% de las AGEB presentaron algún caso de dengue.

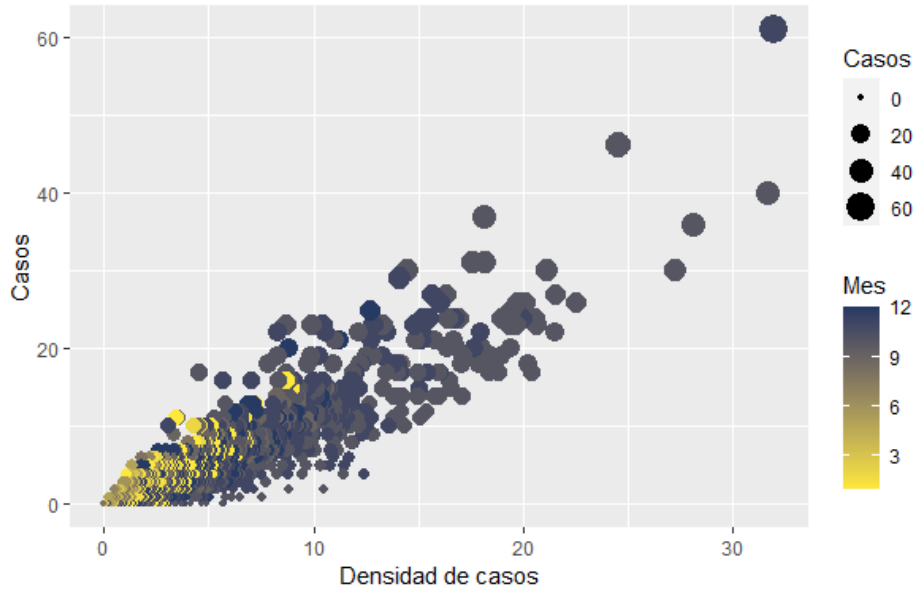


Fig. 123 Densidad de casos y casos mensuales por AGEBA del municipio Culiacán, Sinaloa.

La Figura 123 muestra una relación lineal entre la densidad de casos y los casos, como era de esperarse dado que vienen de la misma fuente. También se observa que conforme van pasando los meses del año los casos van incrementando. Esto va de acuerdo a la temporada de lluvias para esta área de estudio.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de la densidad de casos en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 124 a la Figura 129.

Para el mes de enero el 46% de las AGEBA del área de estudio presentaron más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 1% de las AGEBA del área de estudio presentaron más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de marzo ninguna de las AGEBA del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de abril ninguna de las AGEBA del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de mayo ninguna de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de junio ninguna de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

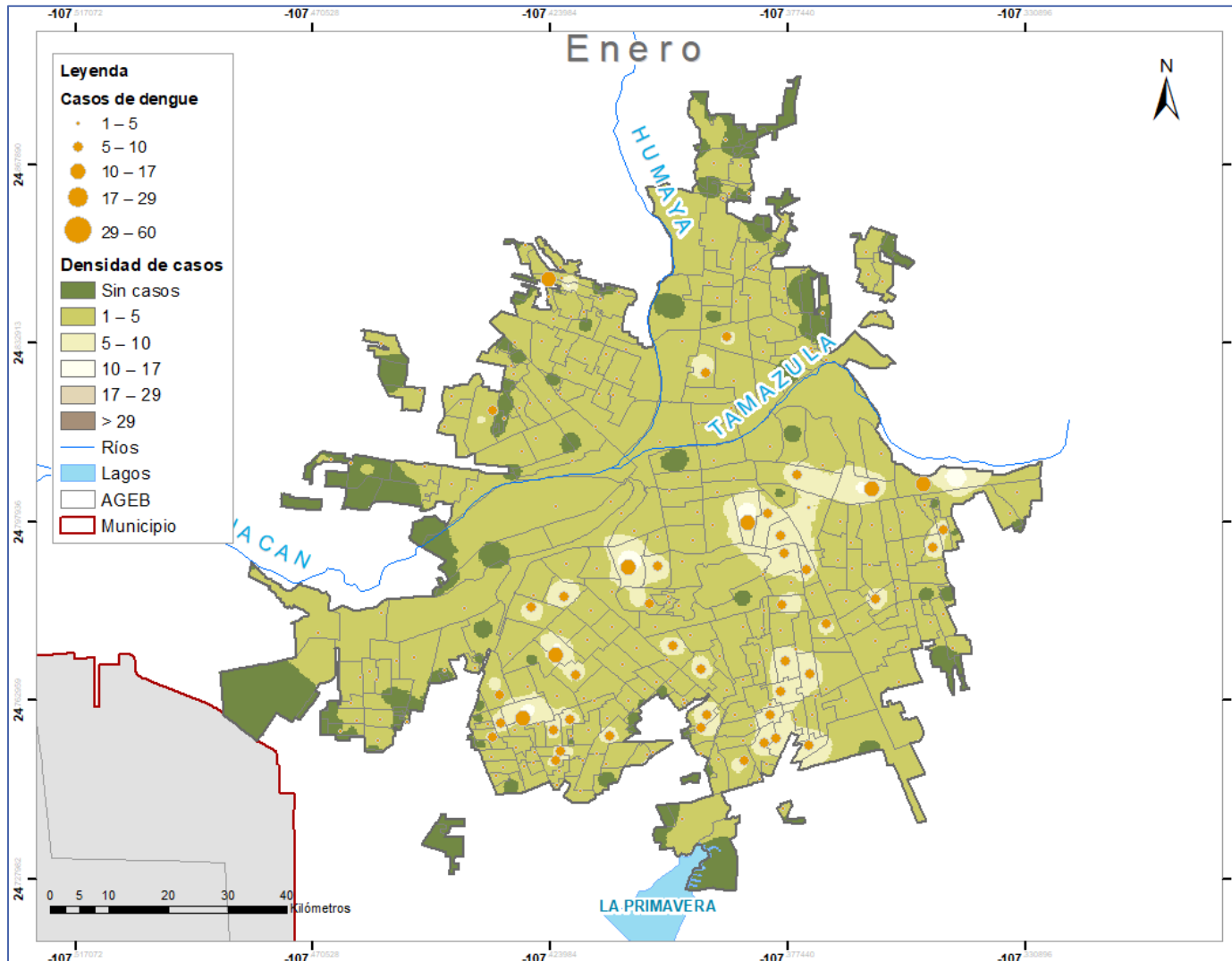


Fig. 124 Densidad y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

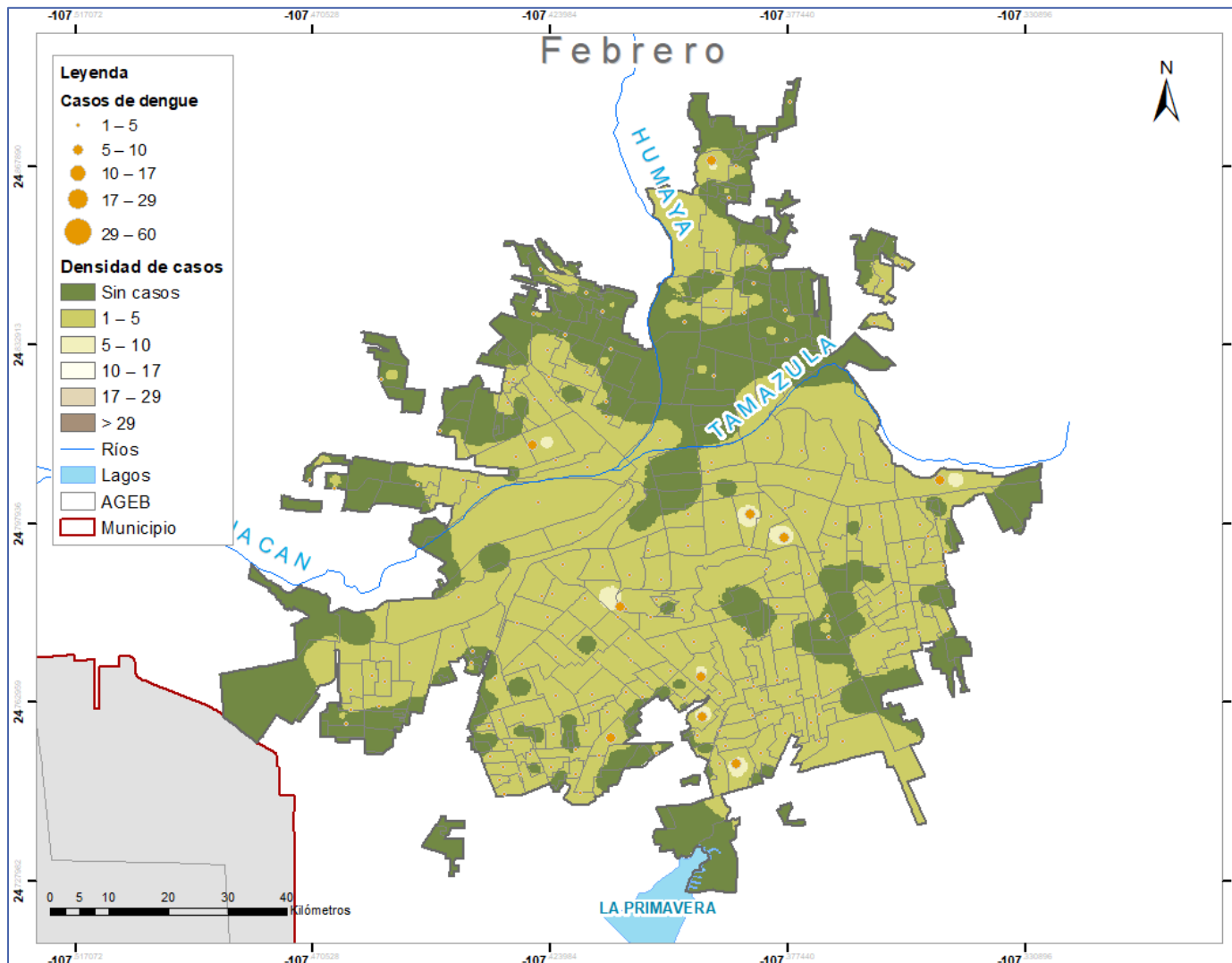


Fig. 125 Densidad y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

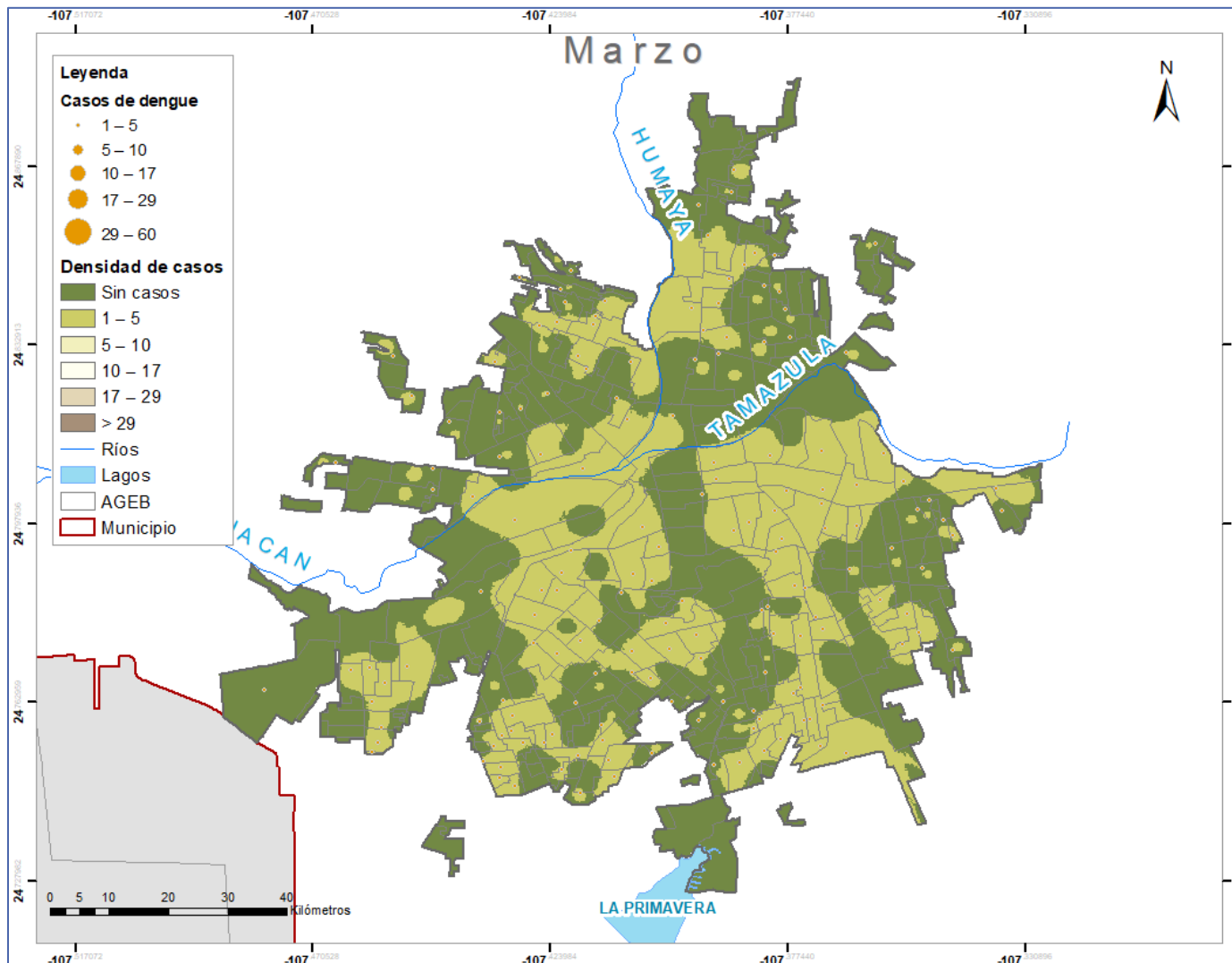


Fig. 126 Densidad y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

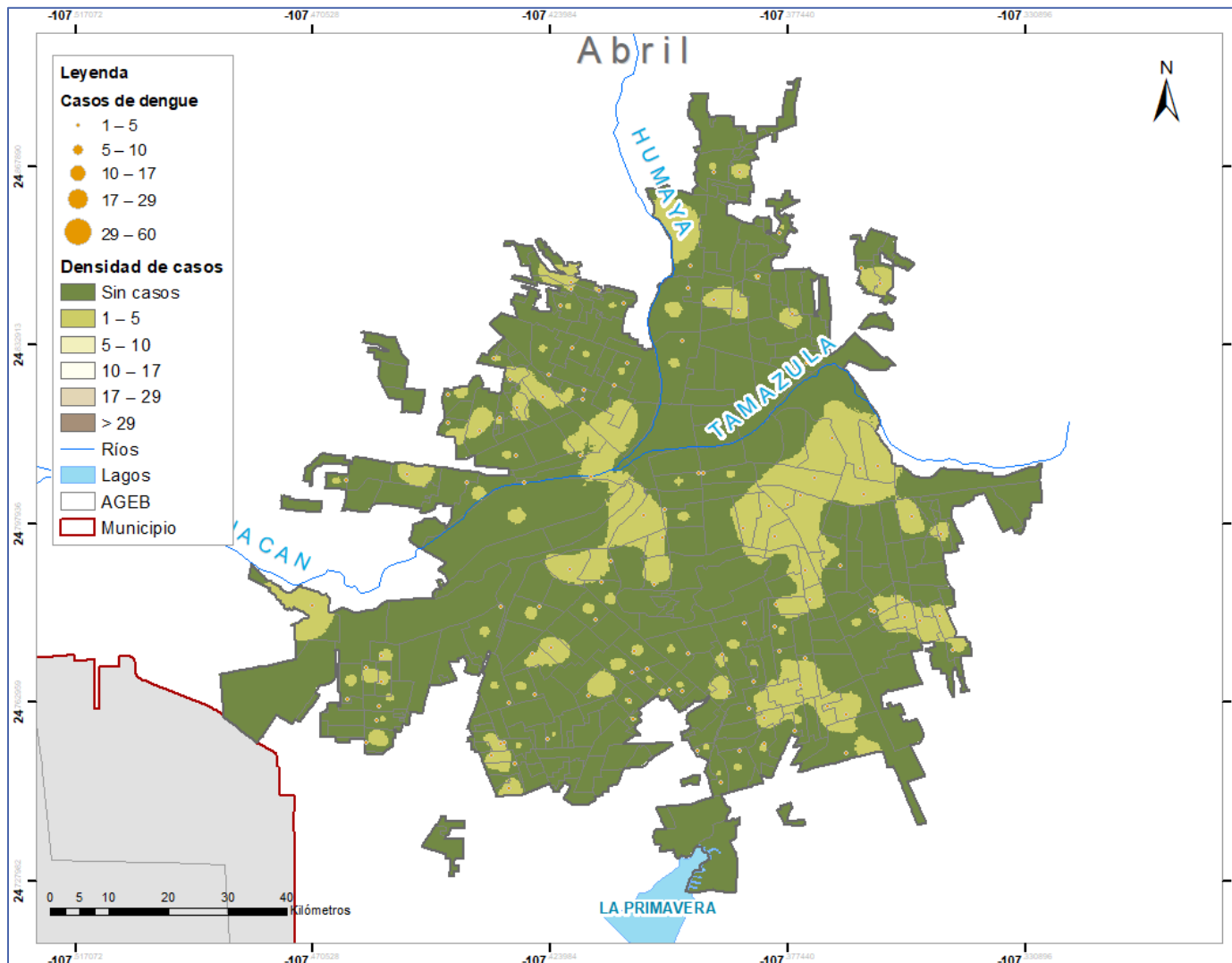


Fig. 127 Densidad y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

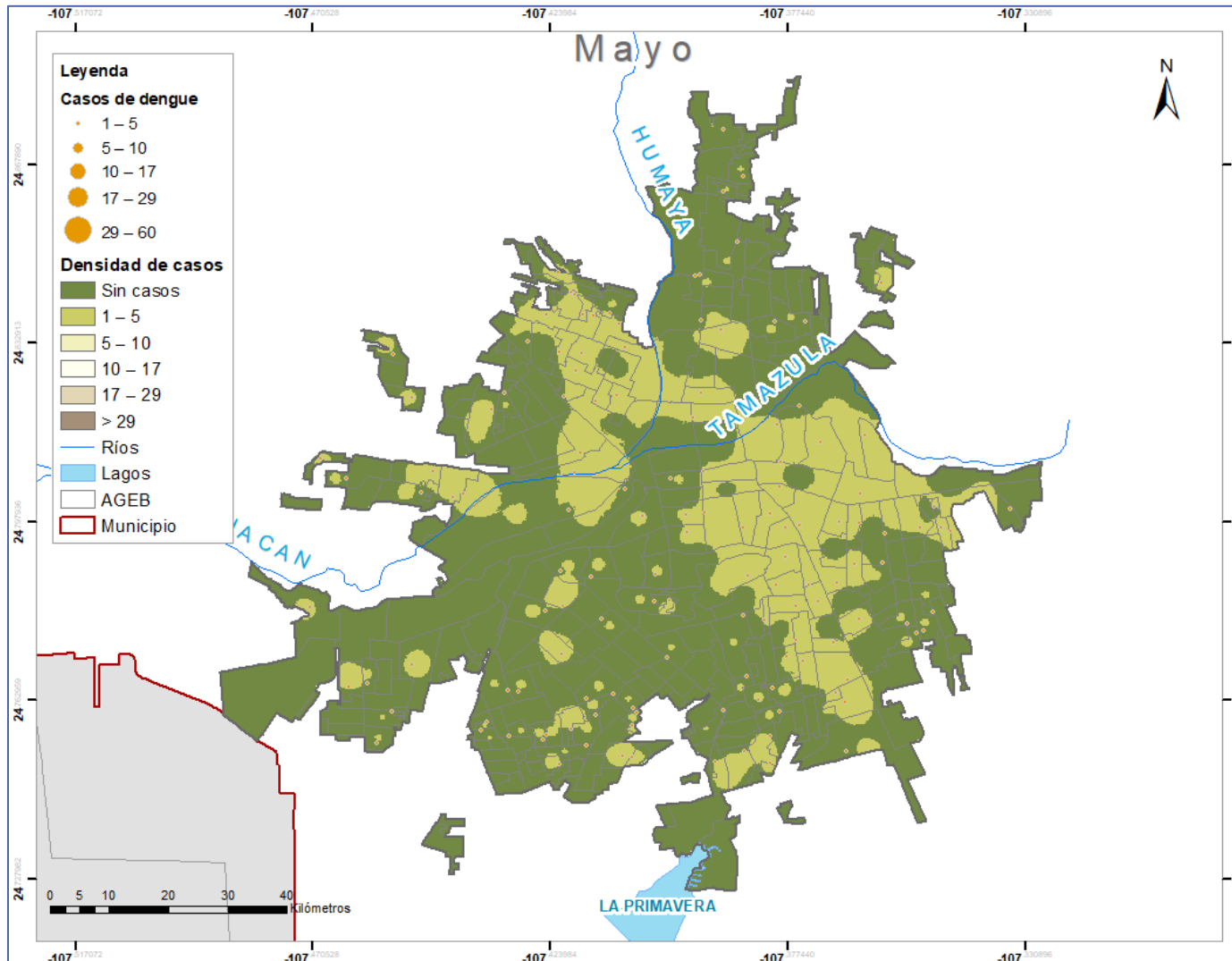


Fig. 128 Densidad y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

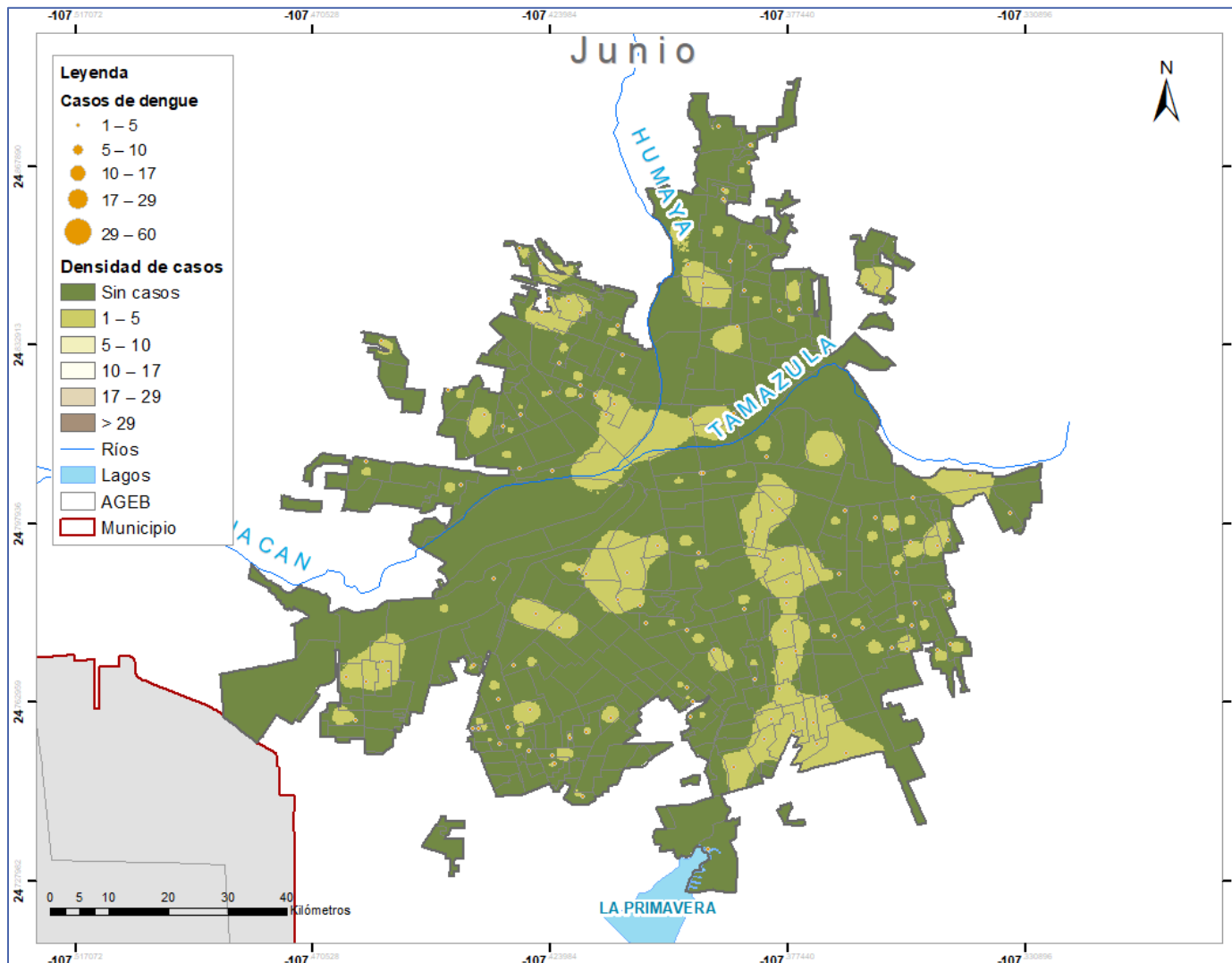


Fig. 129 Densidad y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de la densidad de casos en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 130 a la Figura 135.

Para el mes de julio ninguna de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de agosto menos del 1% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 15% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de octubre donde el 63% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de noviembre donde el 56% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de diciembre donde el 21% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

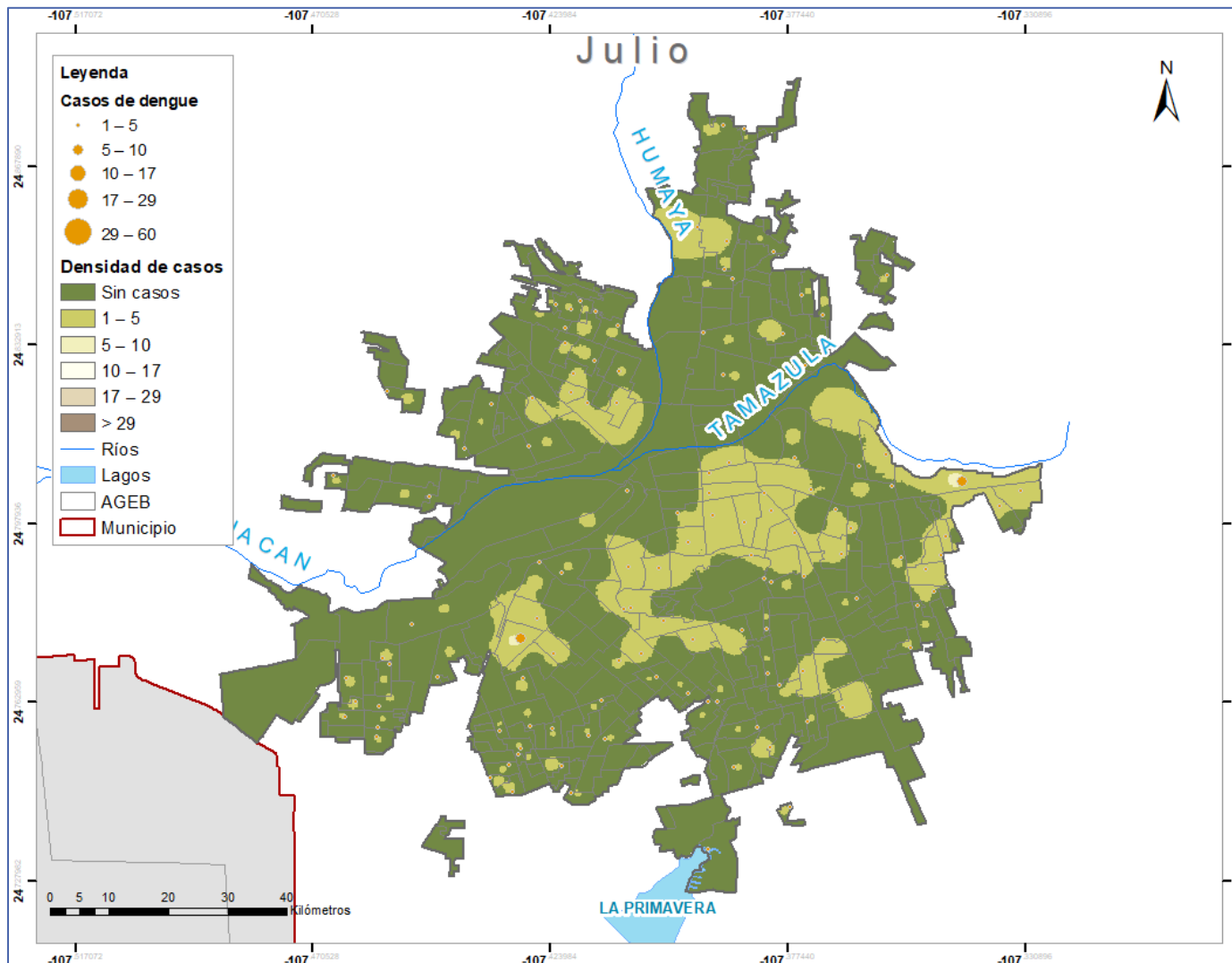


Fig. 130 Densidad y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

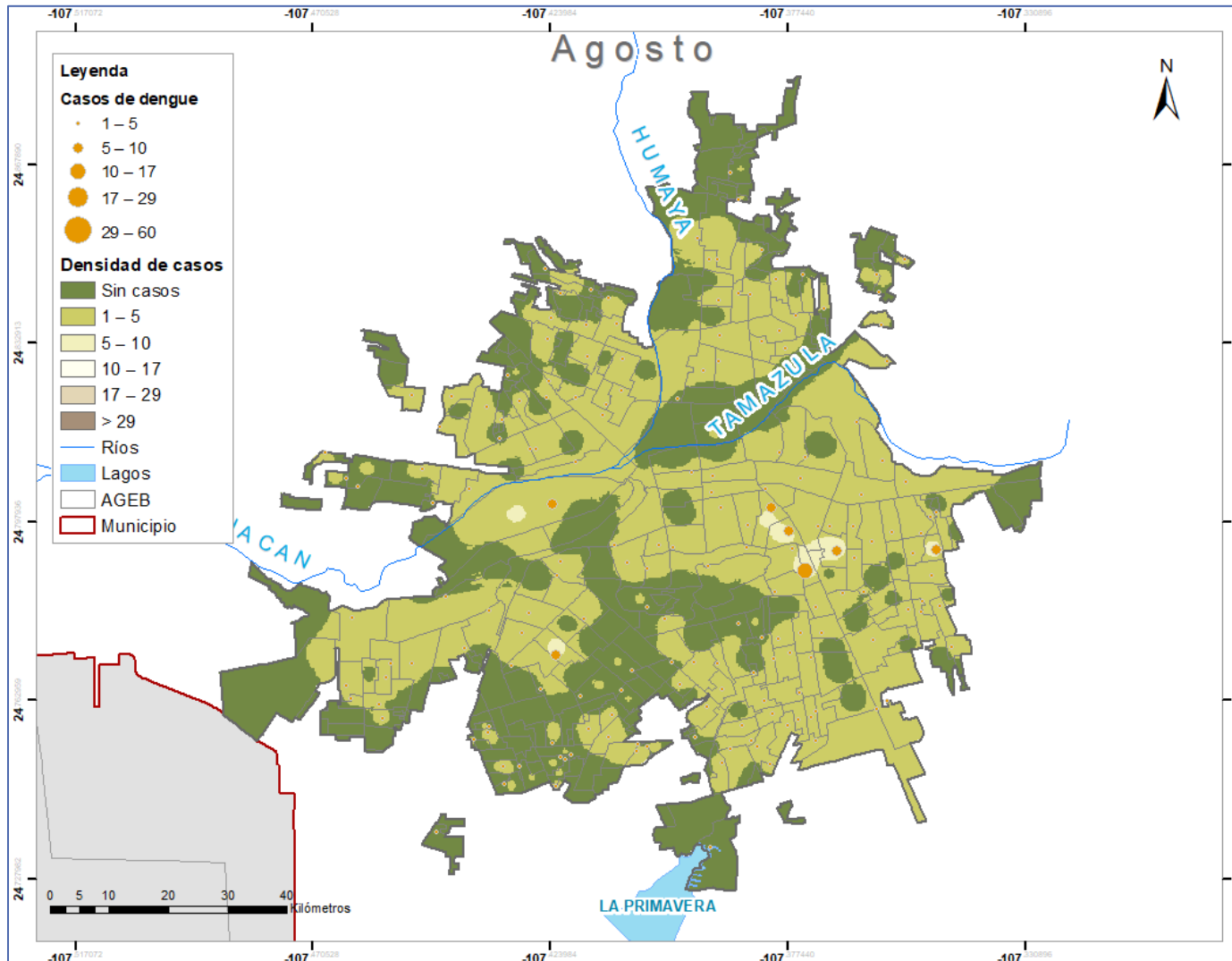


Fig. 131 Densidad y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

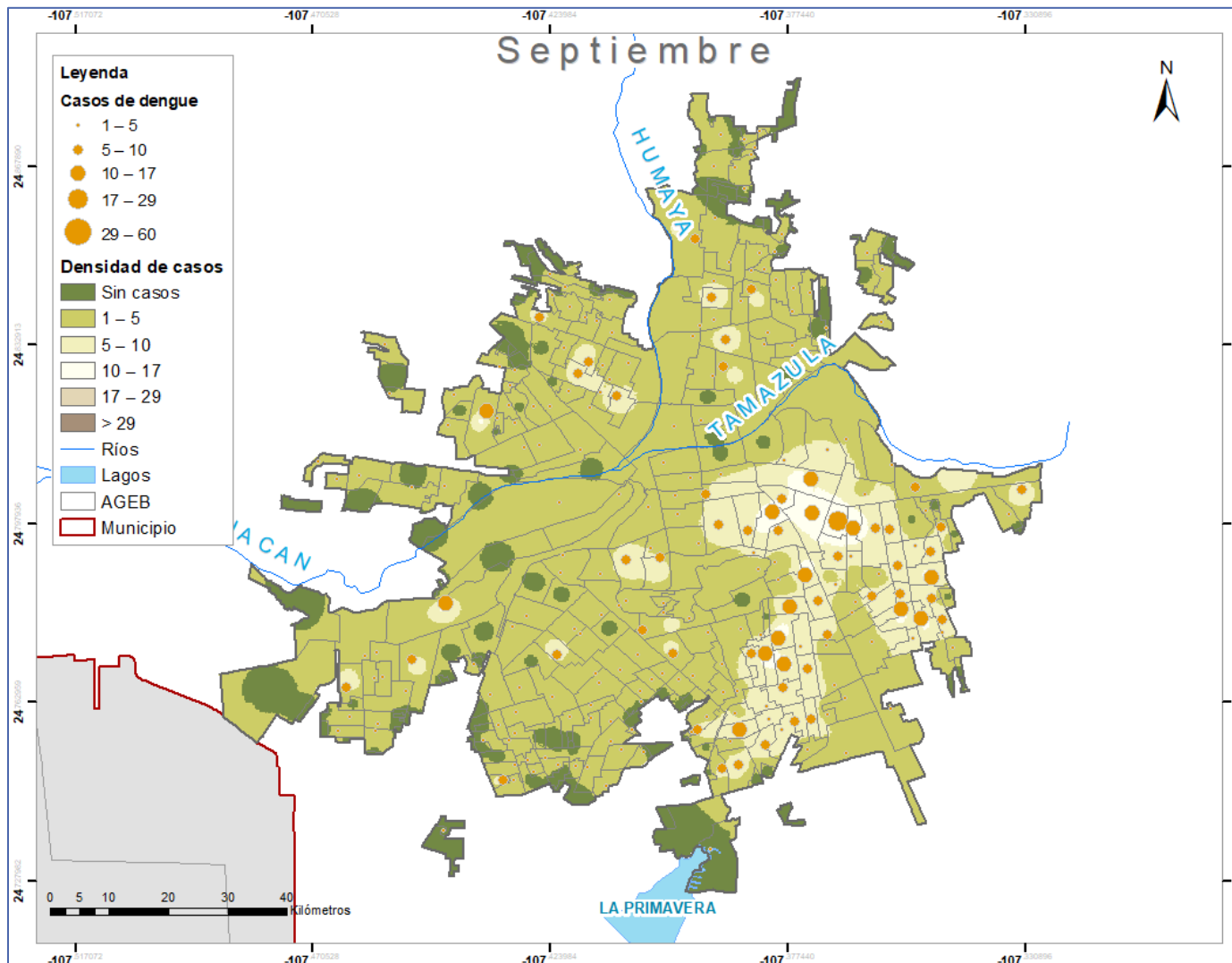


Fig. 132 Densidad y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

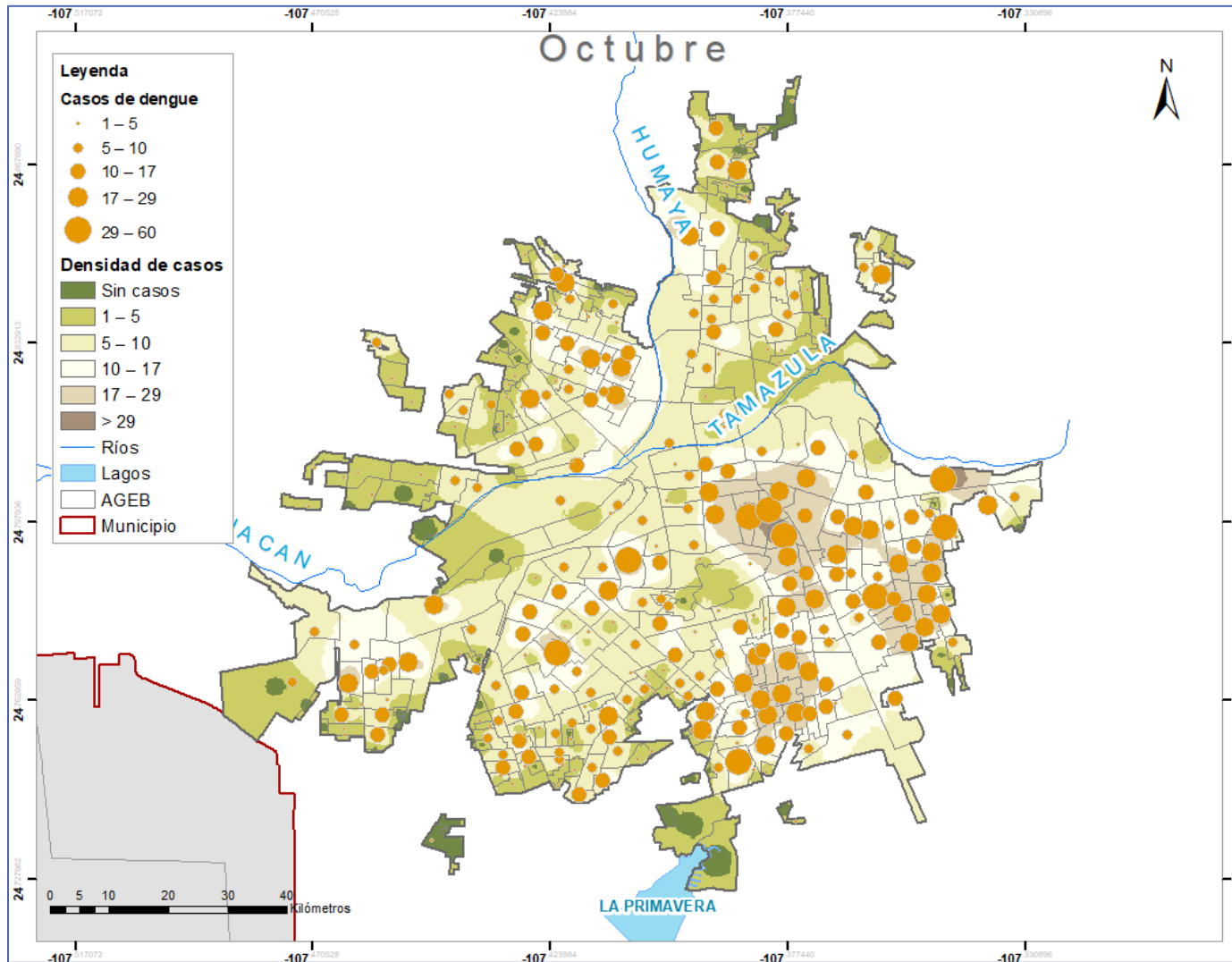


Fig. 133 Densidad y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

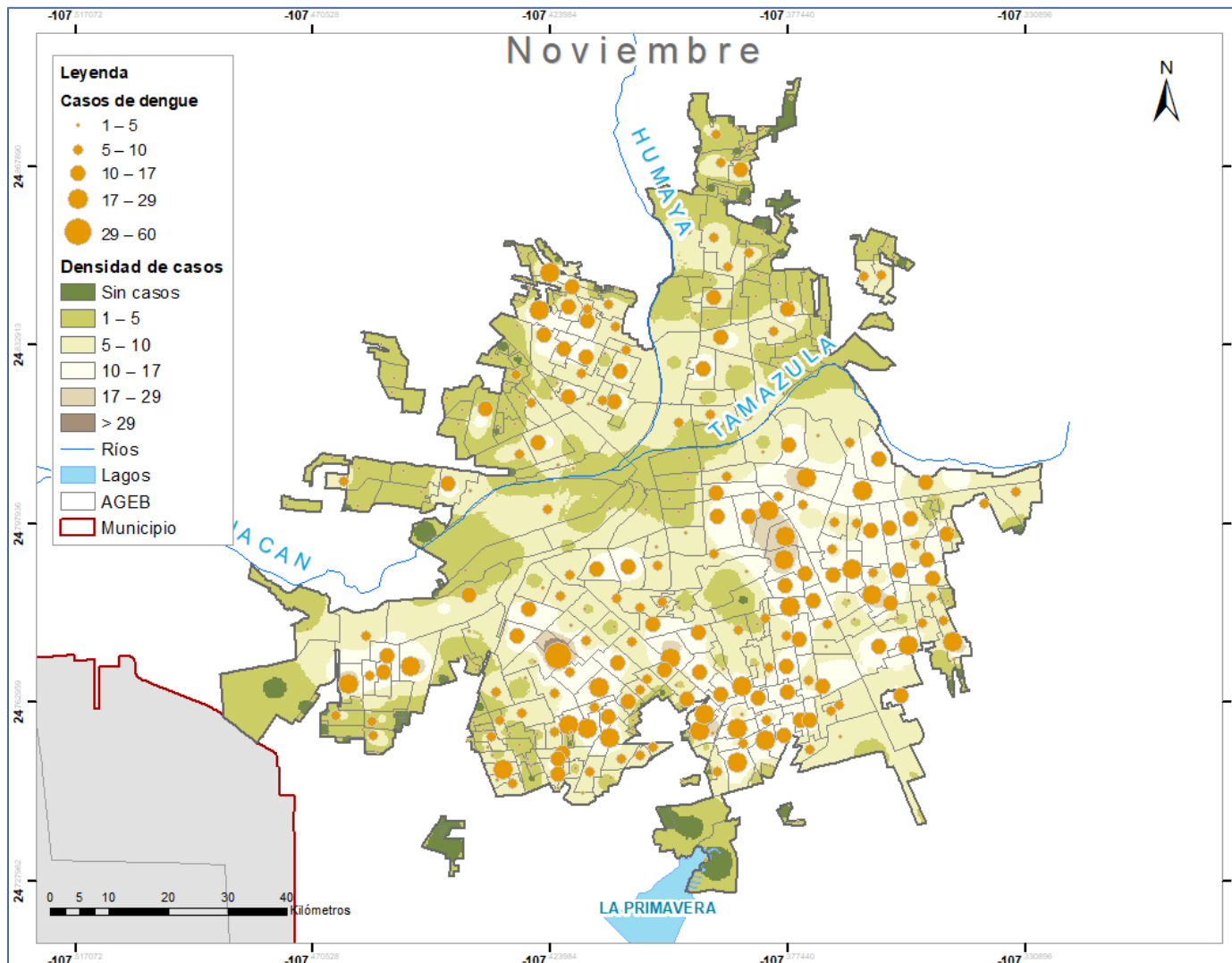


Fig. 134 Densidad y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

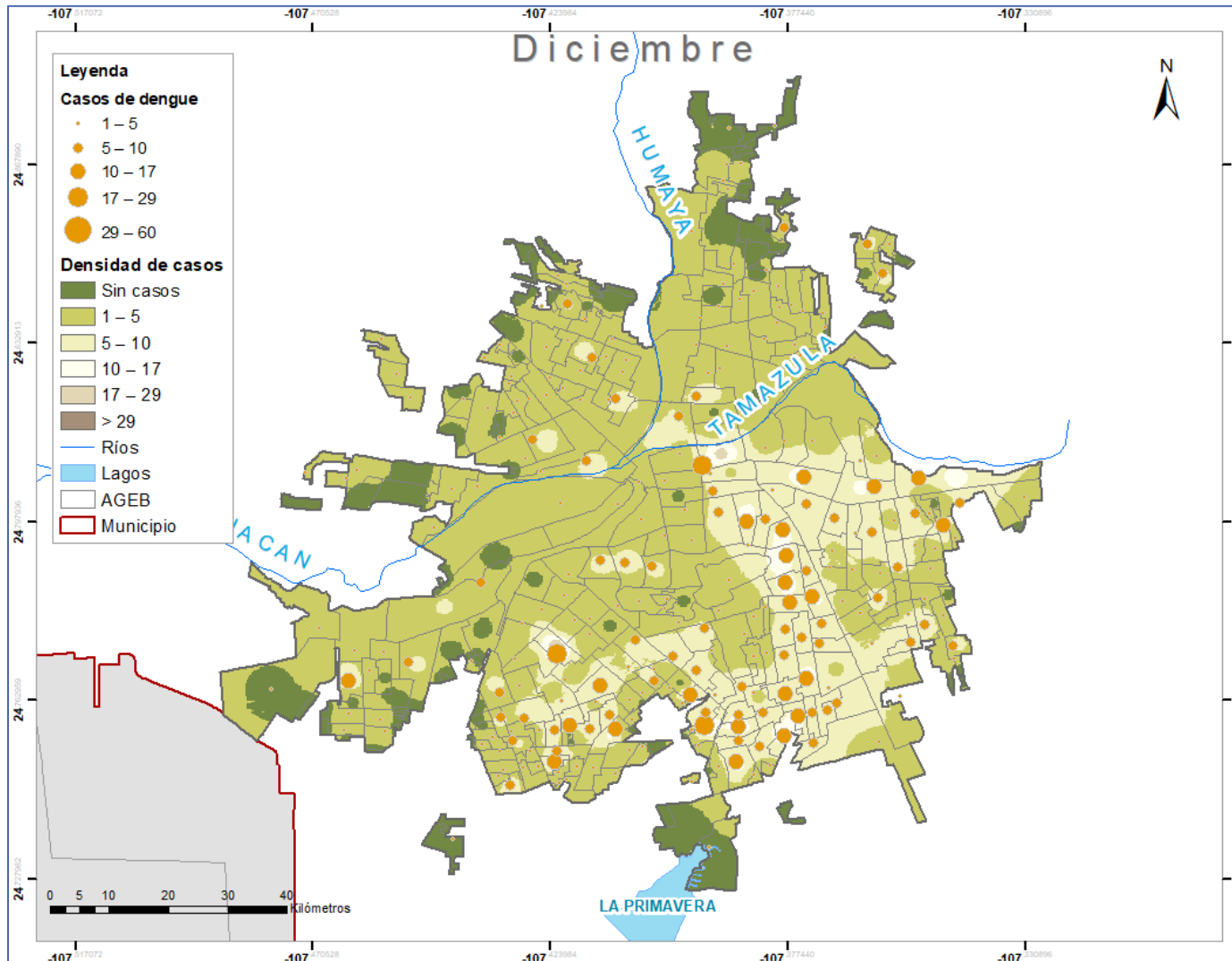


Fig. 135 Densidad y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.1.5.2 Municipio Centro, Tabasco

En el municipio Centro en el periodo de 2010-2020 se reportaron 14,299 casos probables de dengue. Como se puede ver en la Figura 136, en el primer trimestre se nota un decremento leve en los casos, el mes con menos casos registrados es el mes de marzo con el 4%, a partir del mes de abril inicia el incremento en los casos, el mes que reporta más casos es el mes de septiembre con el 17% del total de casos. En el mes de octubre se inicia el descenso de los casos que concluye en el mes de diciembre.

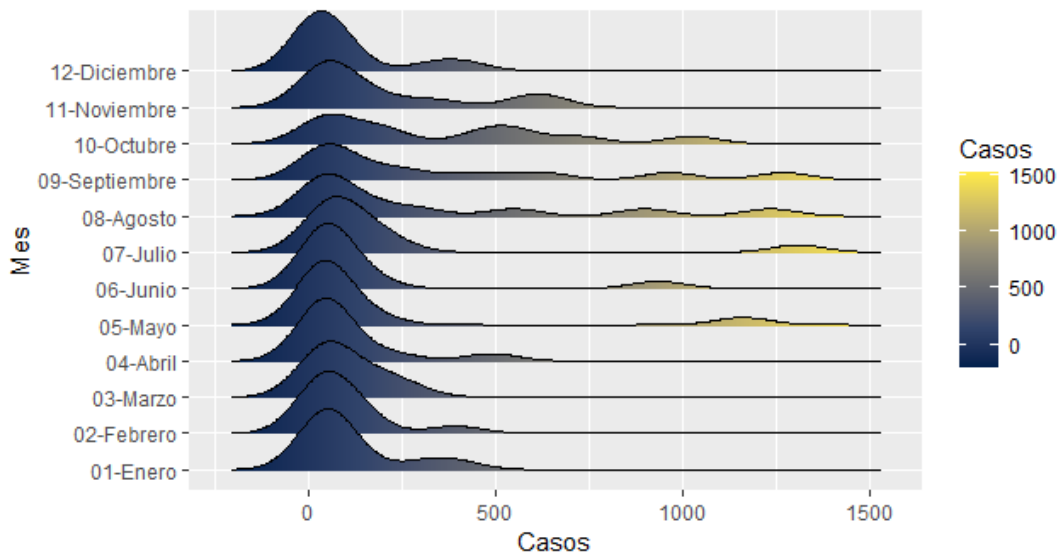


Fig. 136 Total de Casos probables y confirmados por mes por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

Para el municipio Centro de toda el área de estudio el 23% de las AGEB no presentaron casos reportados por dengue para el mes de marzo. Para el mes de septiembre el 96% de las AGEB presentaron algún caso de dengue.

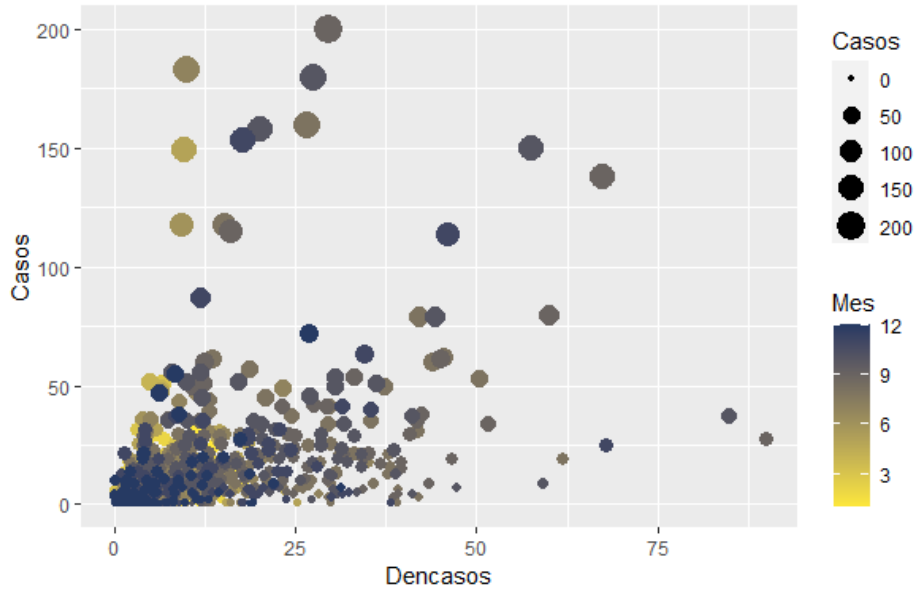


Fig. 137 Densidad de casos y casos mensuales por mes por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

La Figura 137 muestra una cierta relación lineal entre la densidad de casos y los casos, como era de esperarse dado que vienen de la misma fuente. Se puede ver que el total de casos por AGEB es igual para cualquier mes del año. Esto se puede deber a las constantes lluvias en todo el año en esta área de estudio.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de la densidad de casos en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 138 a la Figura 143.

Para el mes de enero el 46% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de febrero el 30% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de marzo el 34% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de abril el 24% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de mayo el 51% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de junio el 37% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

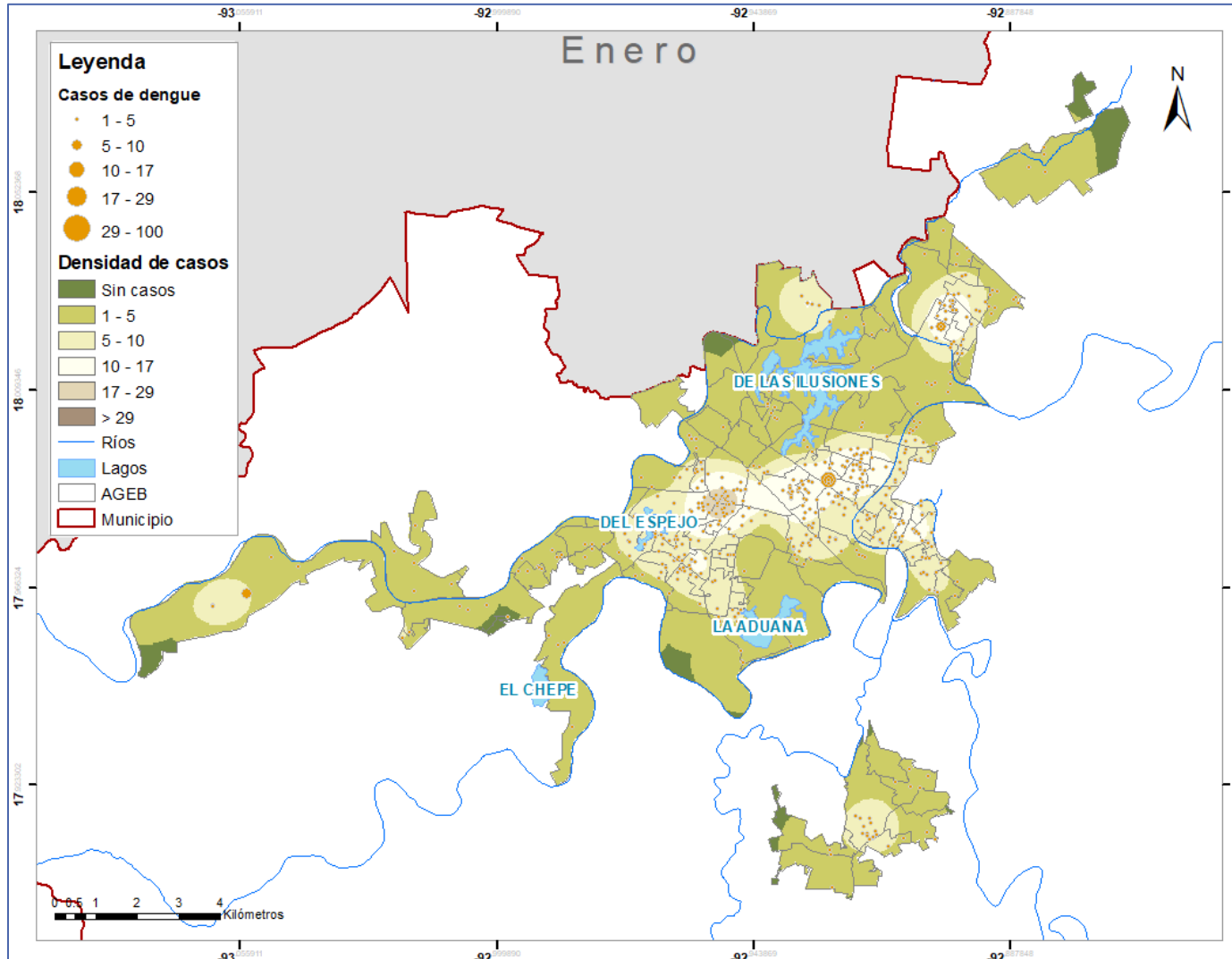


Fig. 138 Densidad y casos de dengue de enero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

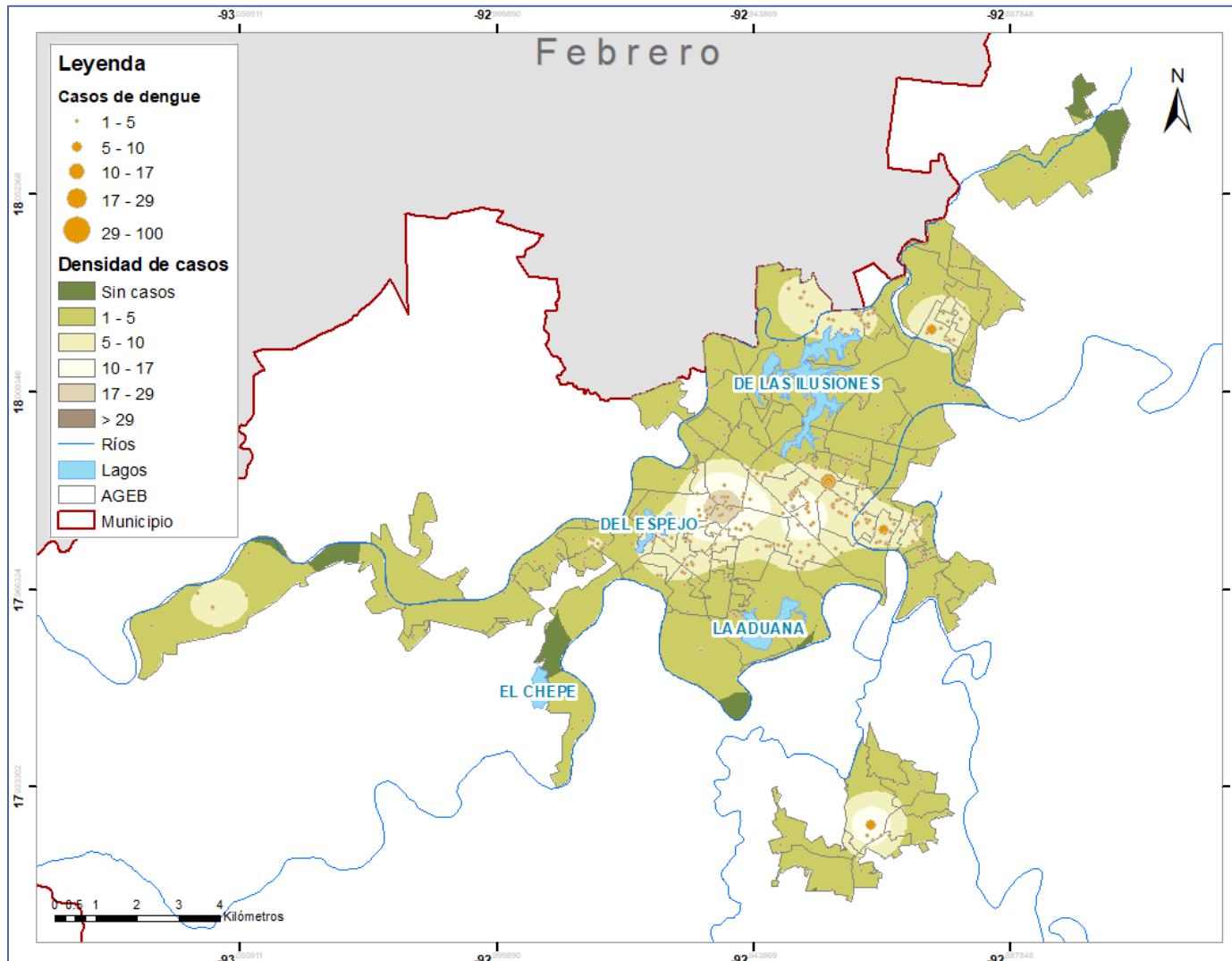


Fig. 139 Densidad y casos de dengue de febrero por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

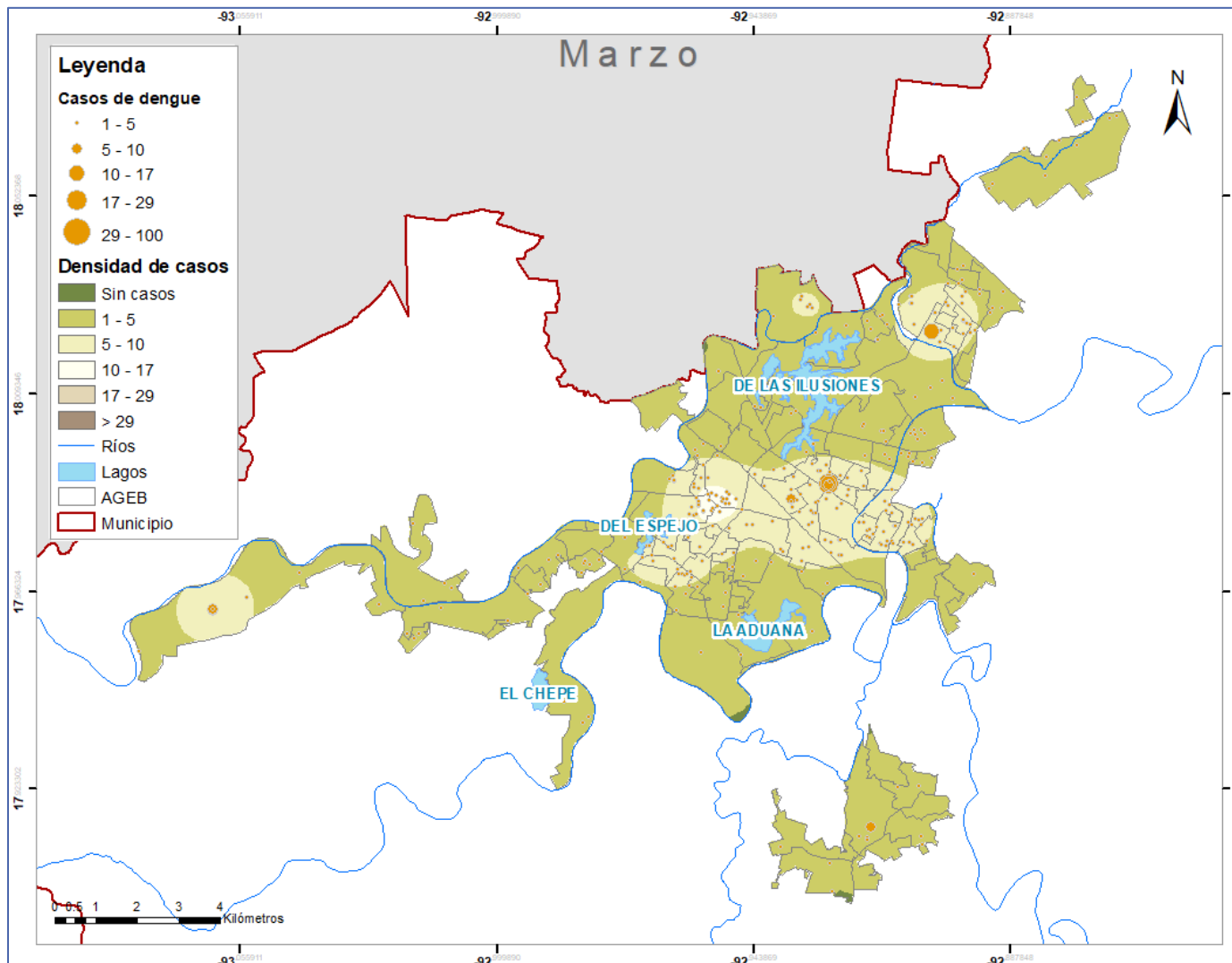


Fig. 140 Densidad y casos de dengue de marzo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

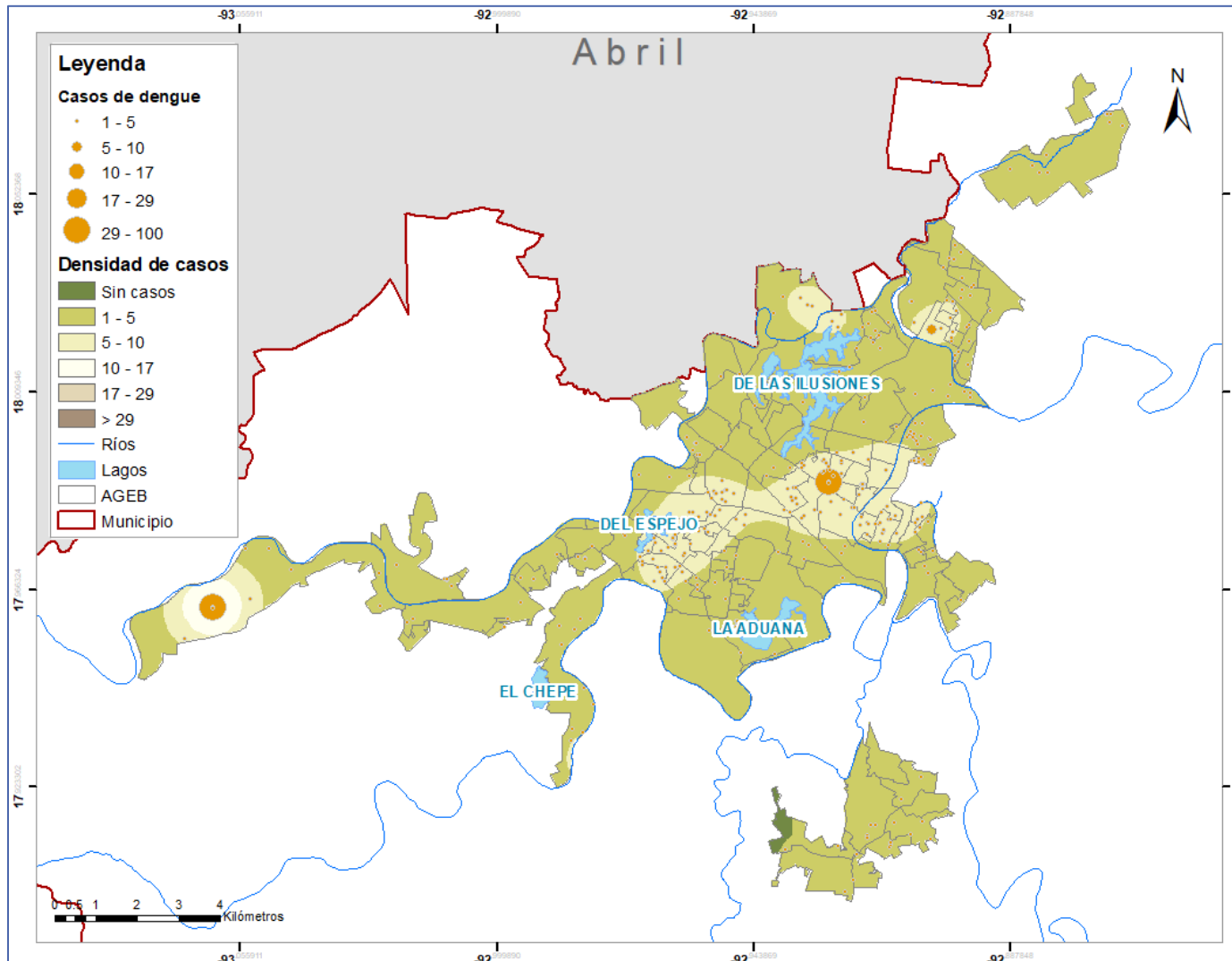


Fig. 141 Densidad y casos de dengue de abril por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

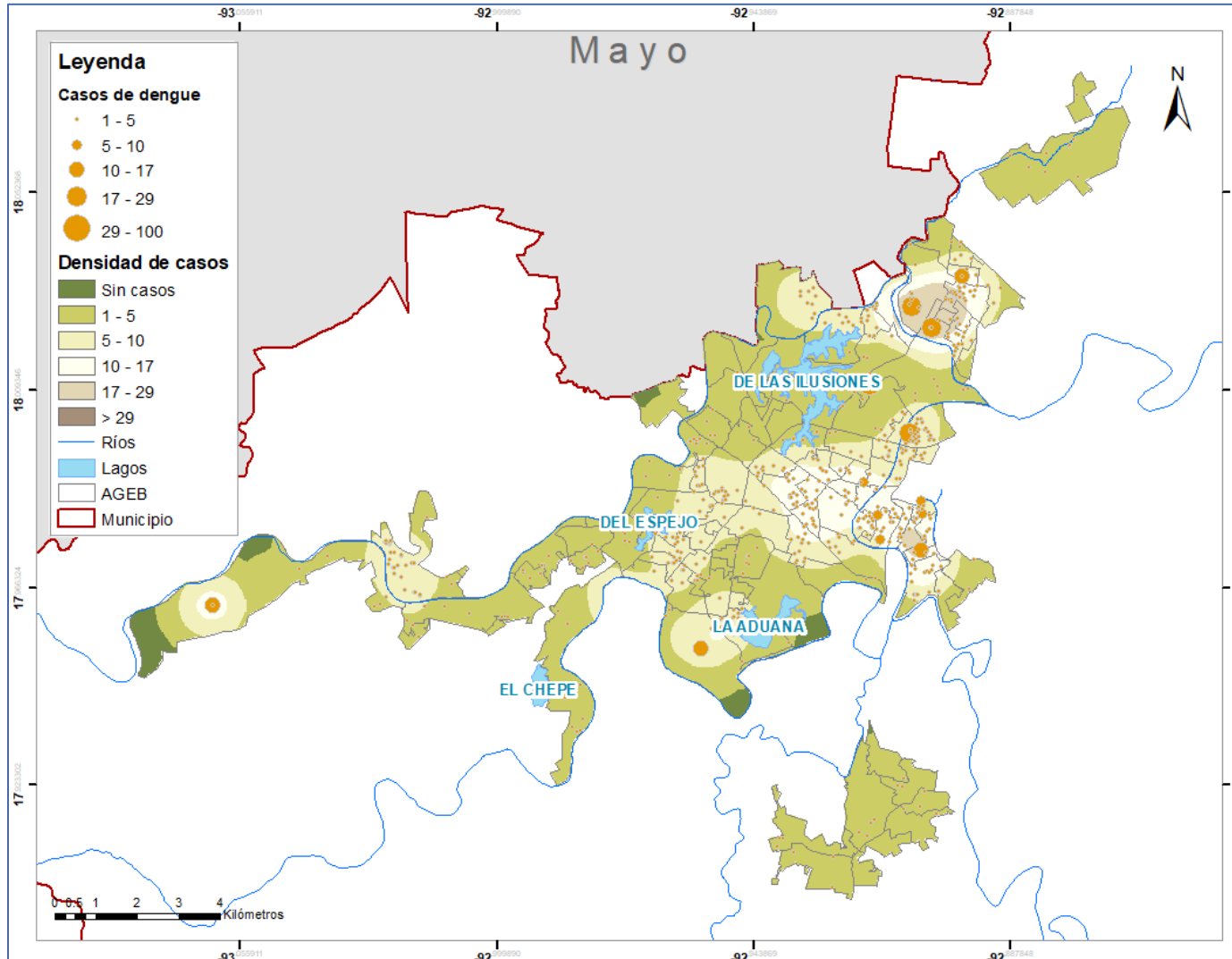


Fig. 142 Densidad y casos de dengue de mayo por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

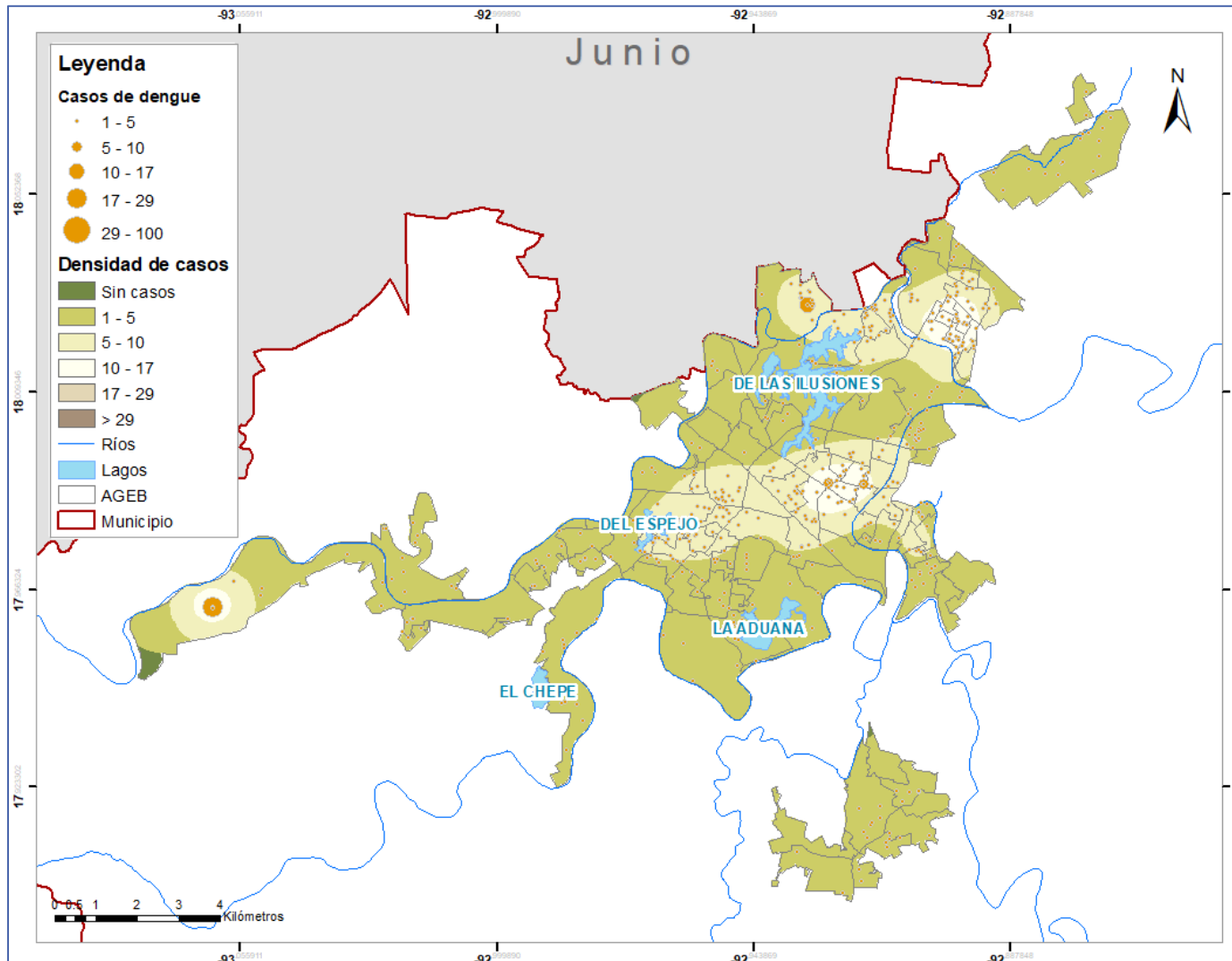


Fig. 143 Densidad y casos de dengue de junio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de la densidad de casos en comparación con la capa de casos reportados por dengue en cada mes para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 144 a la Figura 149.

Para el mes de julio el 70% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de agosto el 79% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de septiembre el 80% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de octubre el 80% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de noviembre el 64% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

Para el mes de diciembre el 43% de las AGEB del área de estudio presentó más de 5 casos reportados de dengue en el mes.

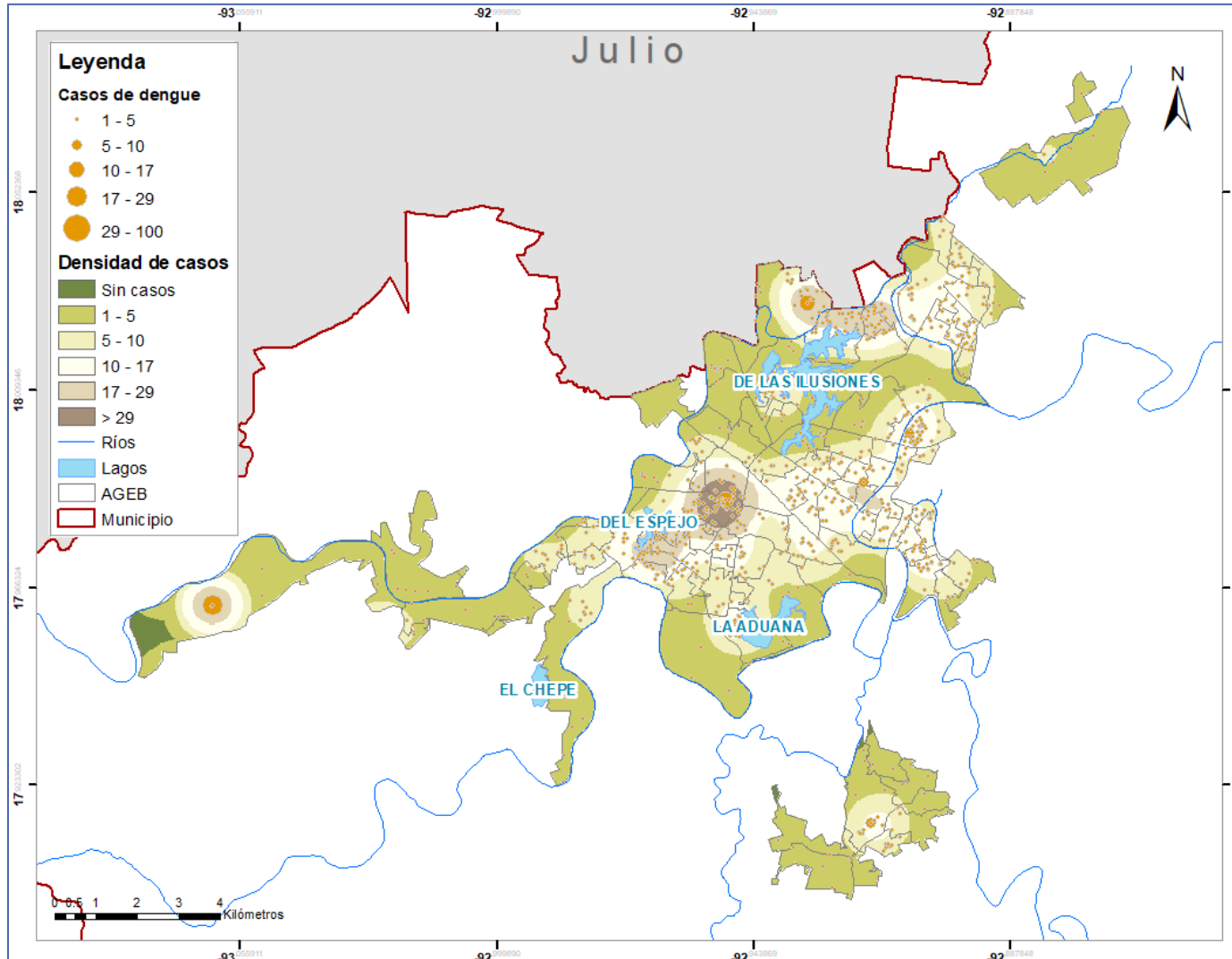


Fig. 144 Densidad y casos de dengue de julio por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

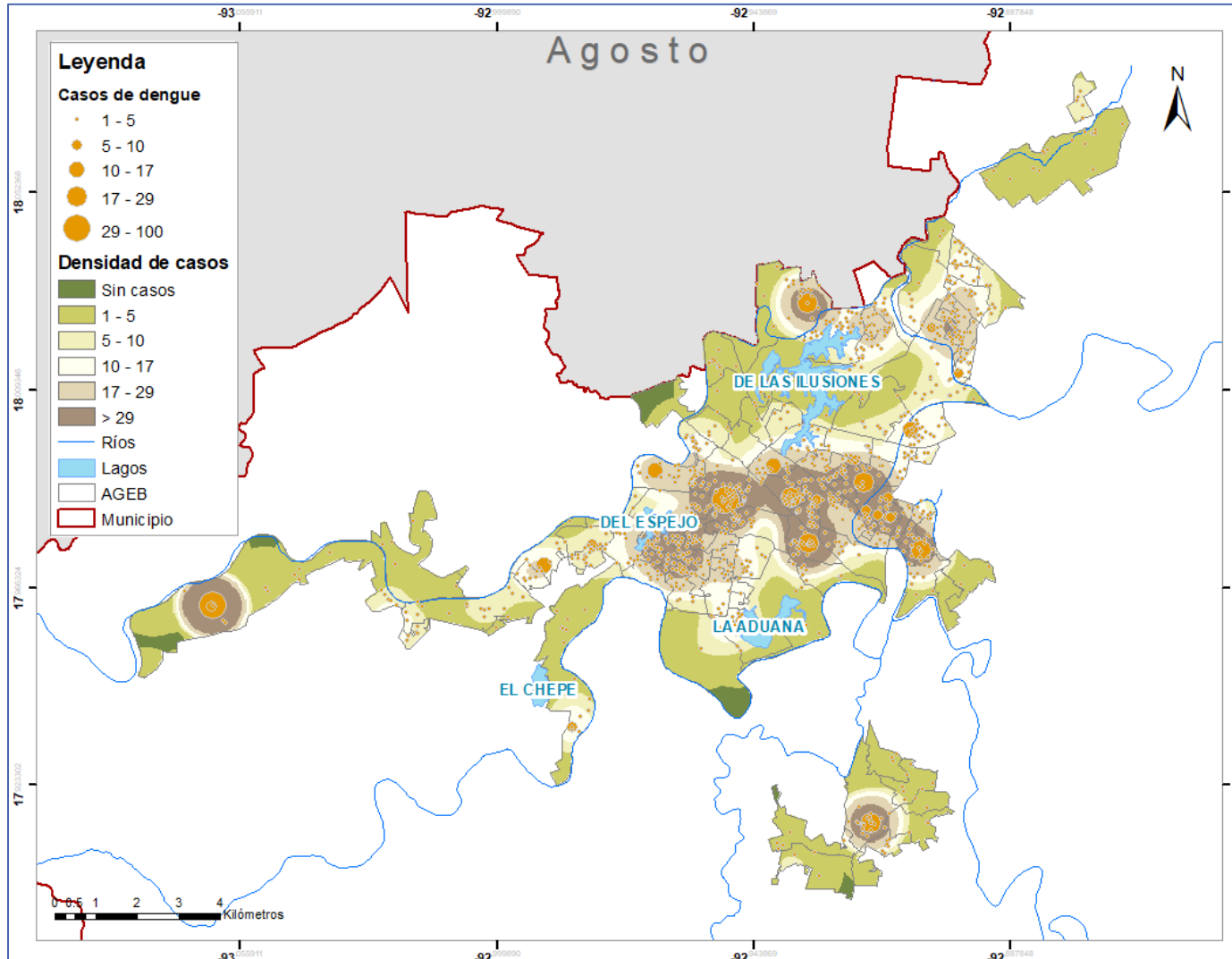


Fig. 145 Densidad y casos de dengue de agosto por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

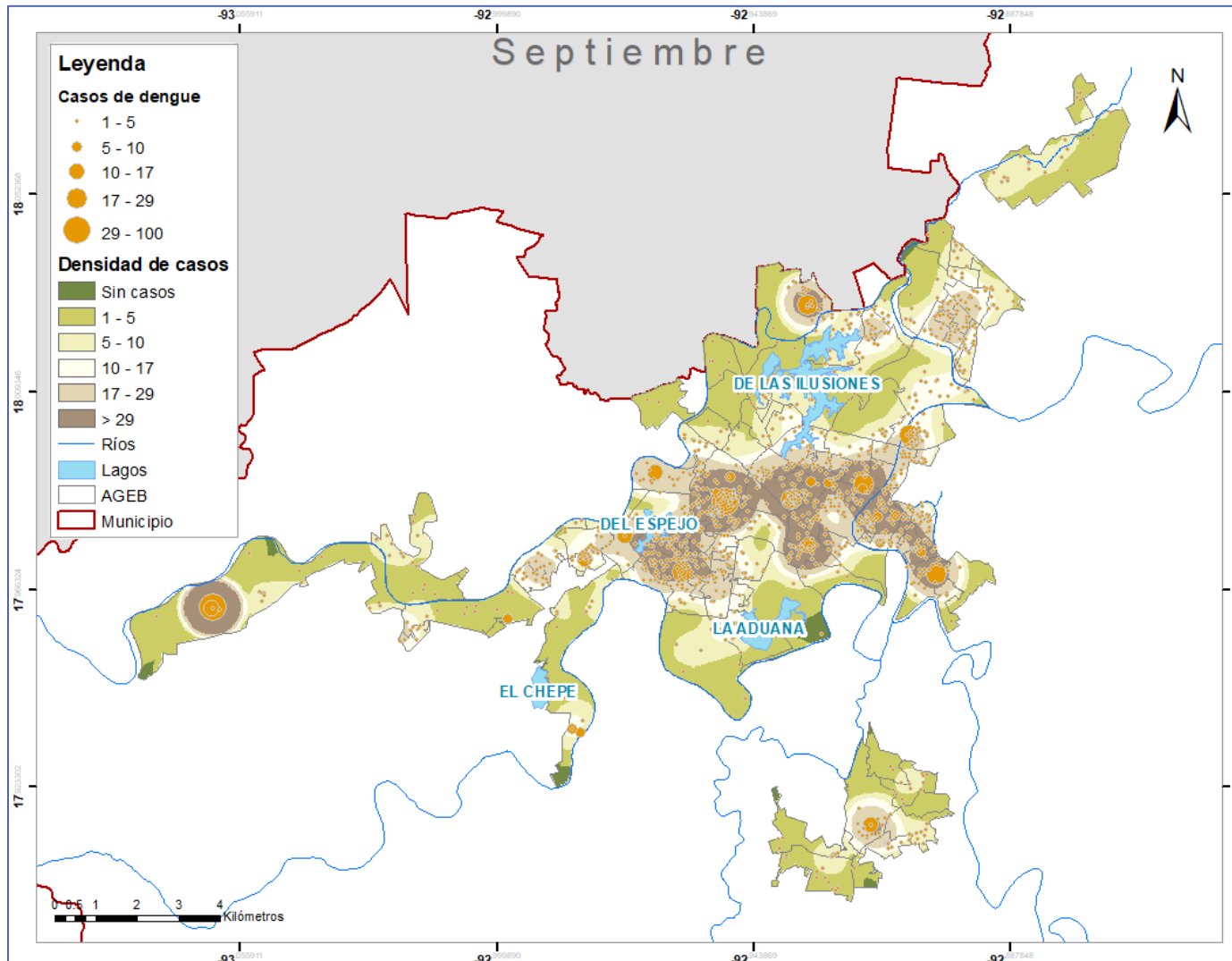


Fig. 146 Densidad y casos de dengue de septiembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

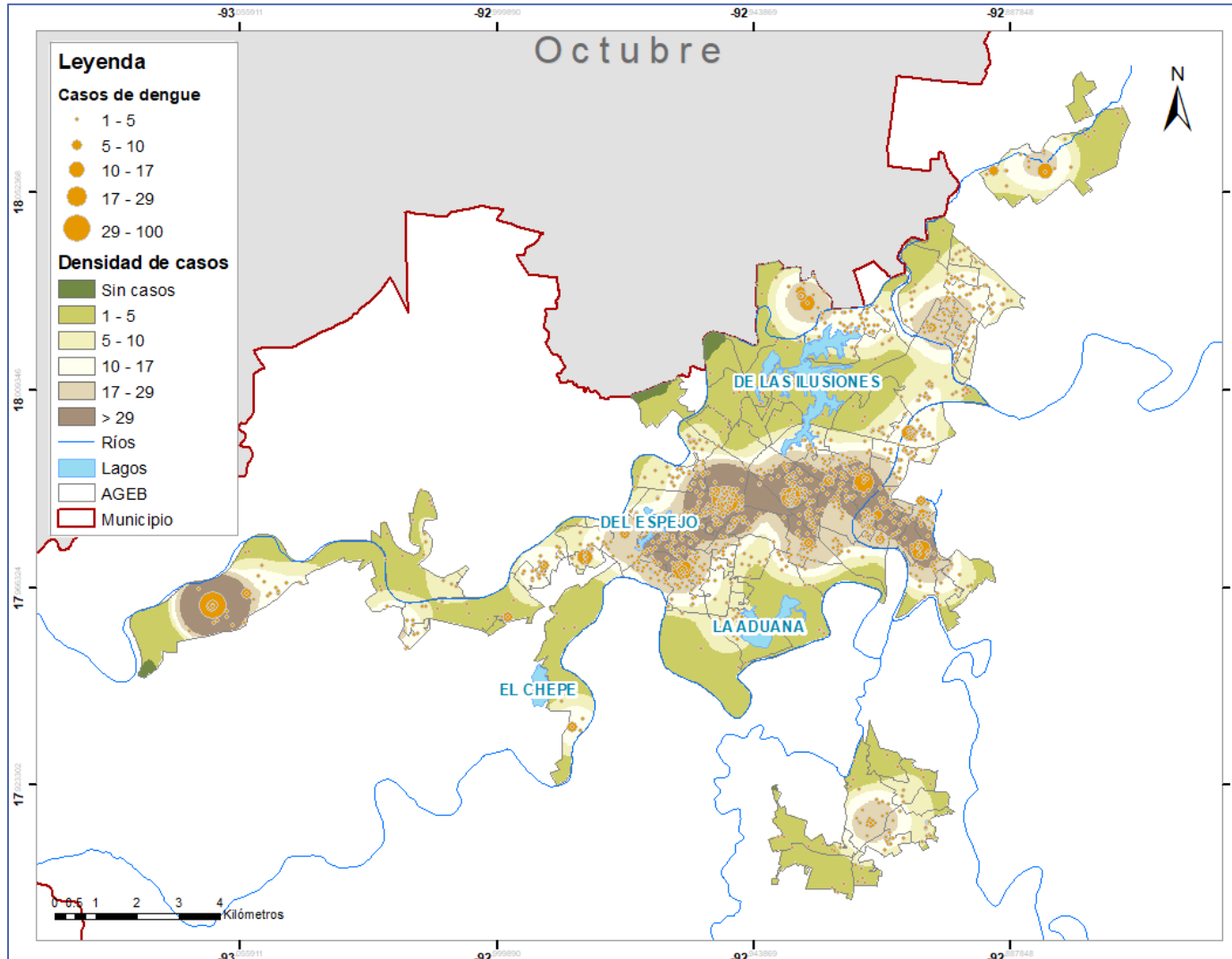


Fig. 147 Densidad y casos de dengue de octubre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

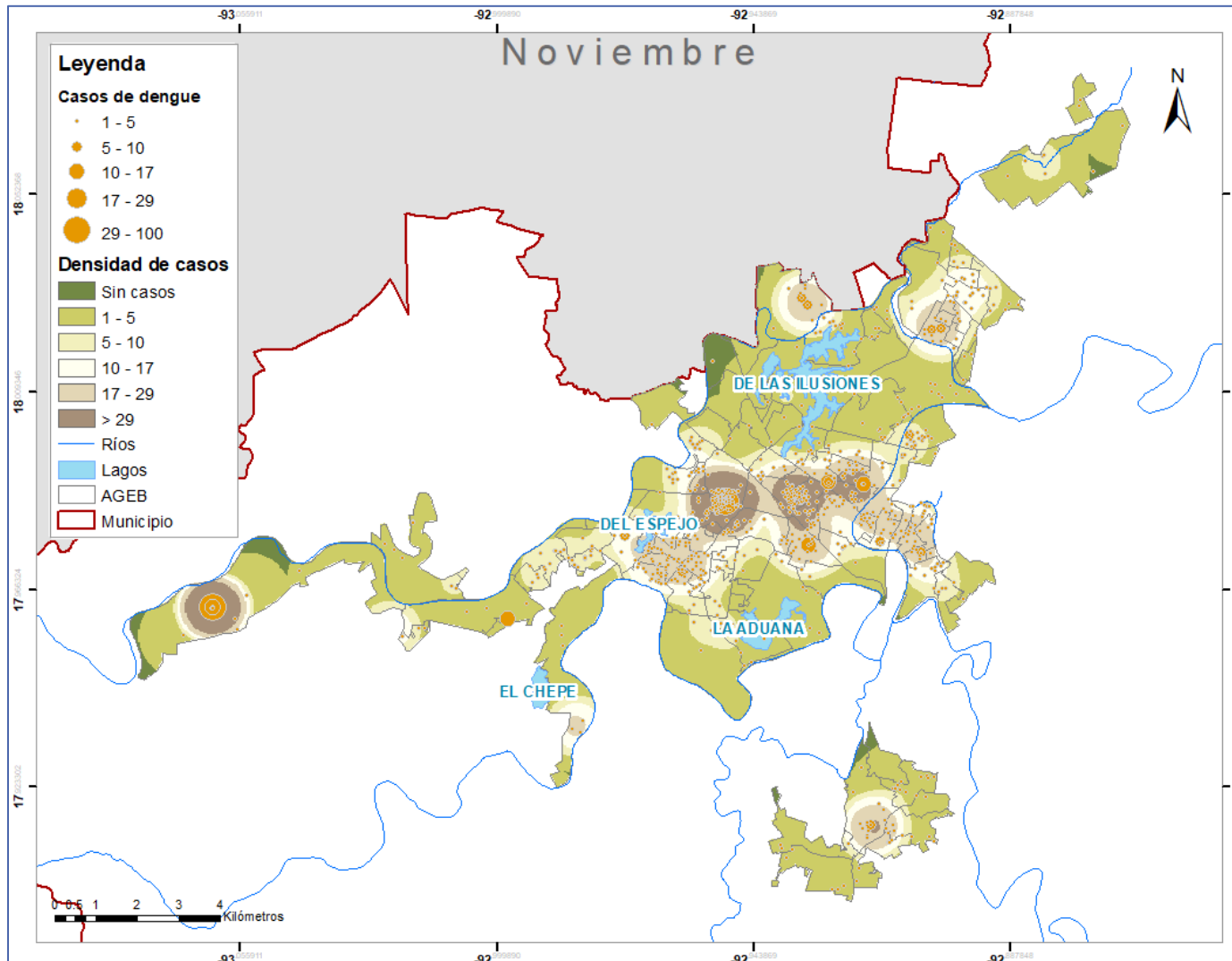


Fig. 148 Densidad y casos de dengue de noviembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

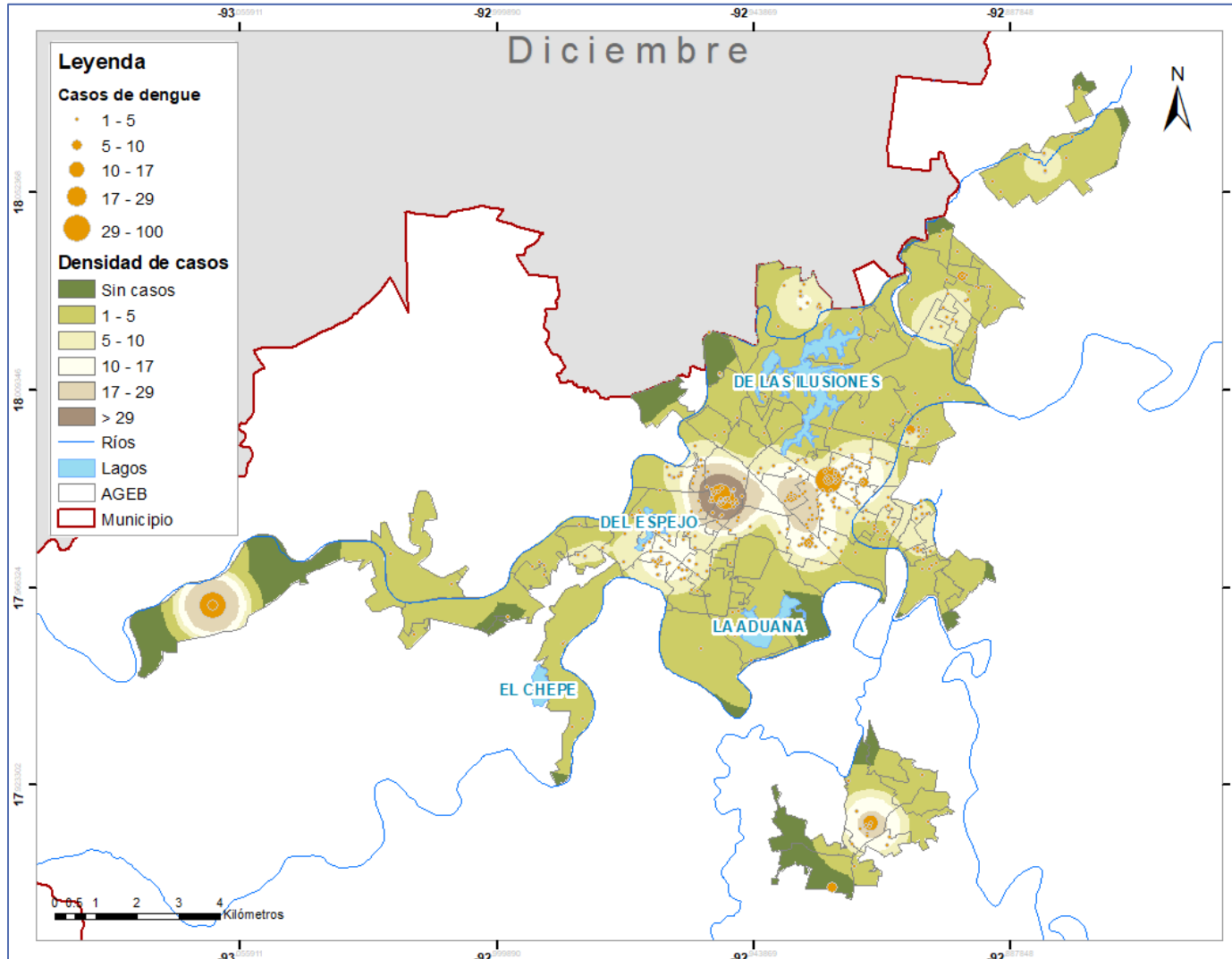


Fig. 149 Densidad y casos de dengue de diciembre por AGEB del municipio Centro, Tabasco.

3.2 Variables espaciales

Se cuenta con 1 imagen ráster para cada municipio por cada variable (Altitud, densidad de población y porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento), 3 imágenes en total. Estas variables no cuentan con una variabilidad temporal, pero sí espacial.

3.2.1 Altitud

A pesar de que la altitud para esta zona específica no tiene variabilidad en las áreas de estudio dado que se encuentran por debajo de los 152 metros sobre el nivel del mar, es importante incluirla ya que en otras zonas esta puede variar mucho y por lo tanto influir de alguna forma para la enfermedad del dengue.

3.2.1.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio de Culiacán en la Figura 150 se observa que alrededor del 90% de las AGEB caen en una altitud menor a los 100 msnm y solo el 7% de las AGEB está entre los 100 y 150 msnm.

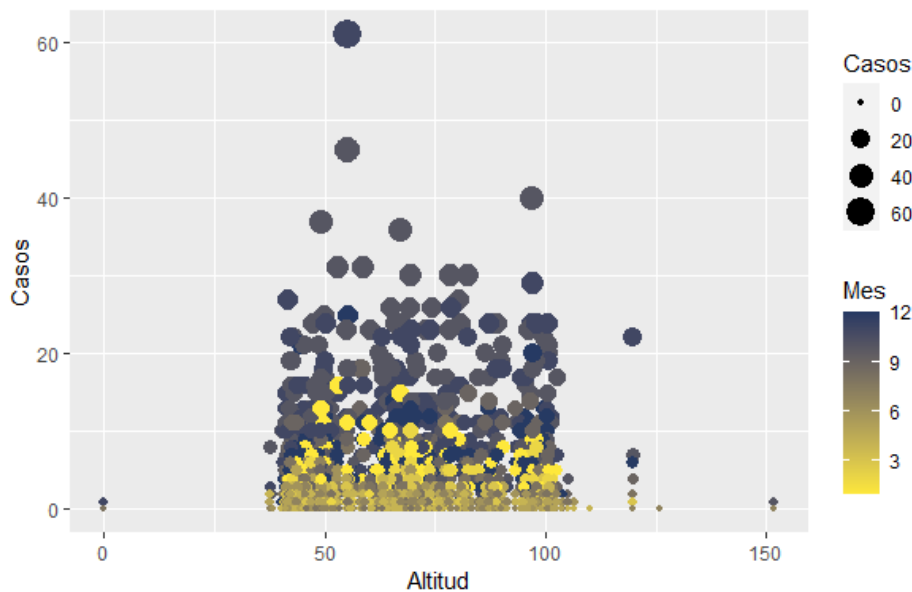


Fig. 150 Altitud y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.

Por la poca variabilidad que se presenta en la altitud que existe en este municipio, no se observa ninguna relación entre la altitud y el reporte de casos por dengue. Sin embargo, se puede observar que los meses que presentan mayor número de casos en los AGEB son los últimos meses del año, es decir, de septiembre a diciembre. El primer semestre del año presenta menos de 20 casos reportados por dengue en el periodo de estudio. Se puede decir que este municipio presenta una

estacionalidad del dengue muy marcada por la temporada de lluvias. Este municipio reporta AGEB que concentran un poco más de 60 casos por dengue.

Para el municipio Culiacán en la Figura 151, se puede ver que la zona noroeste de la mancha urbana es la que tiene una altitud menor a 50 msnm que es por donde confluyen el río Humaya y el río Tamazula para formar el río Culiacán. La zona sur, suroeste de la mancha urbana es donde aumenta ligeramente la altitud hasta llegar arriba a los 150 msnm.

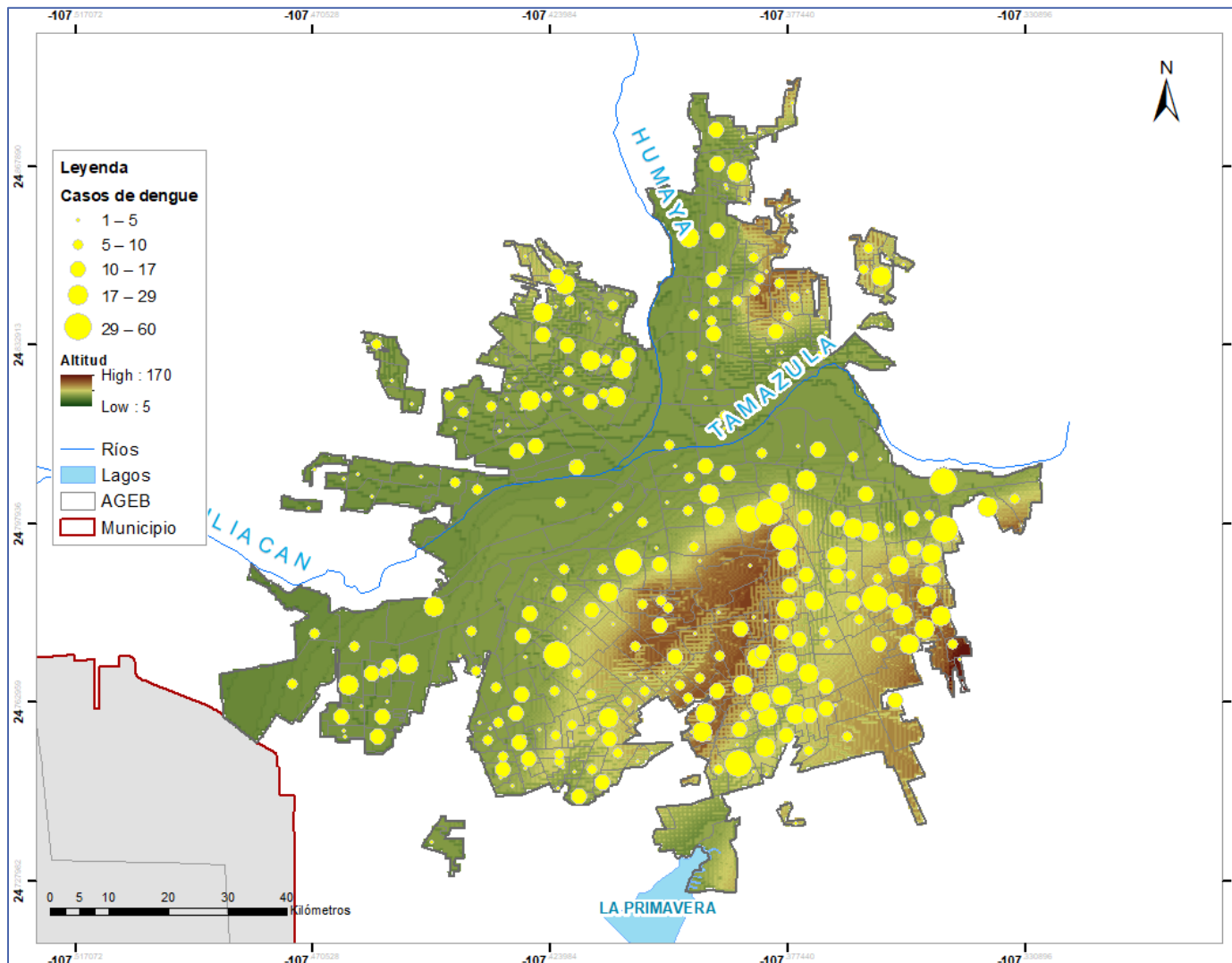


Fig. 151 Mapa de altitud y casos del mes de octubre del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.2.1.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro en la Figura 152 se puede observar que el 100% de las AGEB que conforman el área de estudio están por debajo de los 50 msnm.

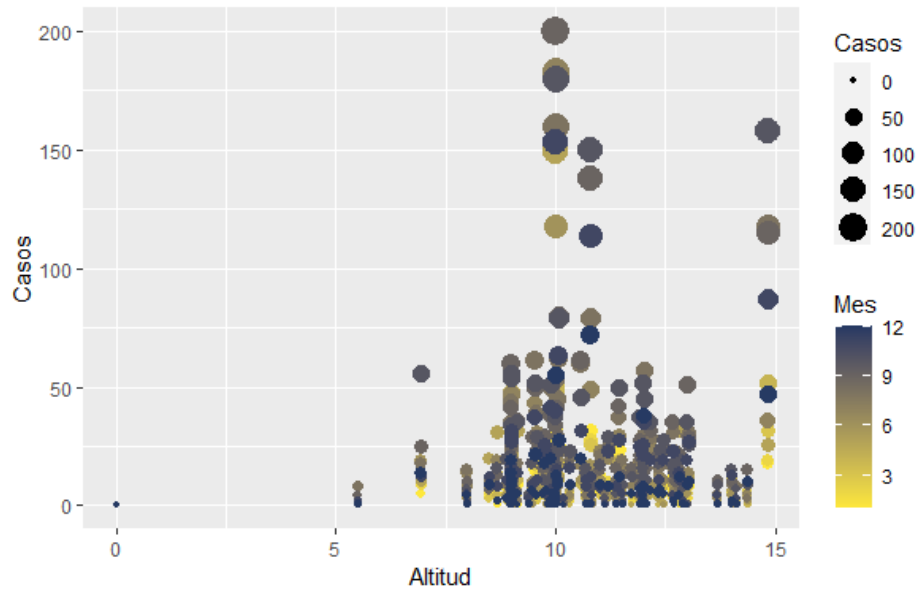


Fig. 152 Altitud y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.

Por la poca variabilidad que se presenta en la altitud que existe en este municipio, no se observa ninguna relación entre la altitud y el reporte de casos por dengue. Sin embargo, en este municipio a diferencia de Culiacán, no presenta el mismo patrón de casos en los últimos meses del año, más bien se observan casos reportados por dengue en cualquier mes del año. Este municipio reporta AGEB que concentran hasta 200 casos por dengue.

Para el municipio Centro en la Figura 153, se puede observar que todas las AGEB caen en una altitud menor a los 50 msnm y dado que en esta zona se encuentra la laguna de Las Ilusiones, Del Espejo, La Aduana y varios ríos que pasan por la periferia de la mancha urbana, es por ello que ha sufrido de importantes inundaciones a través del tiempo.

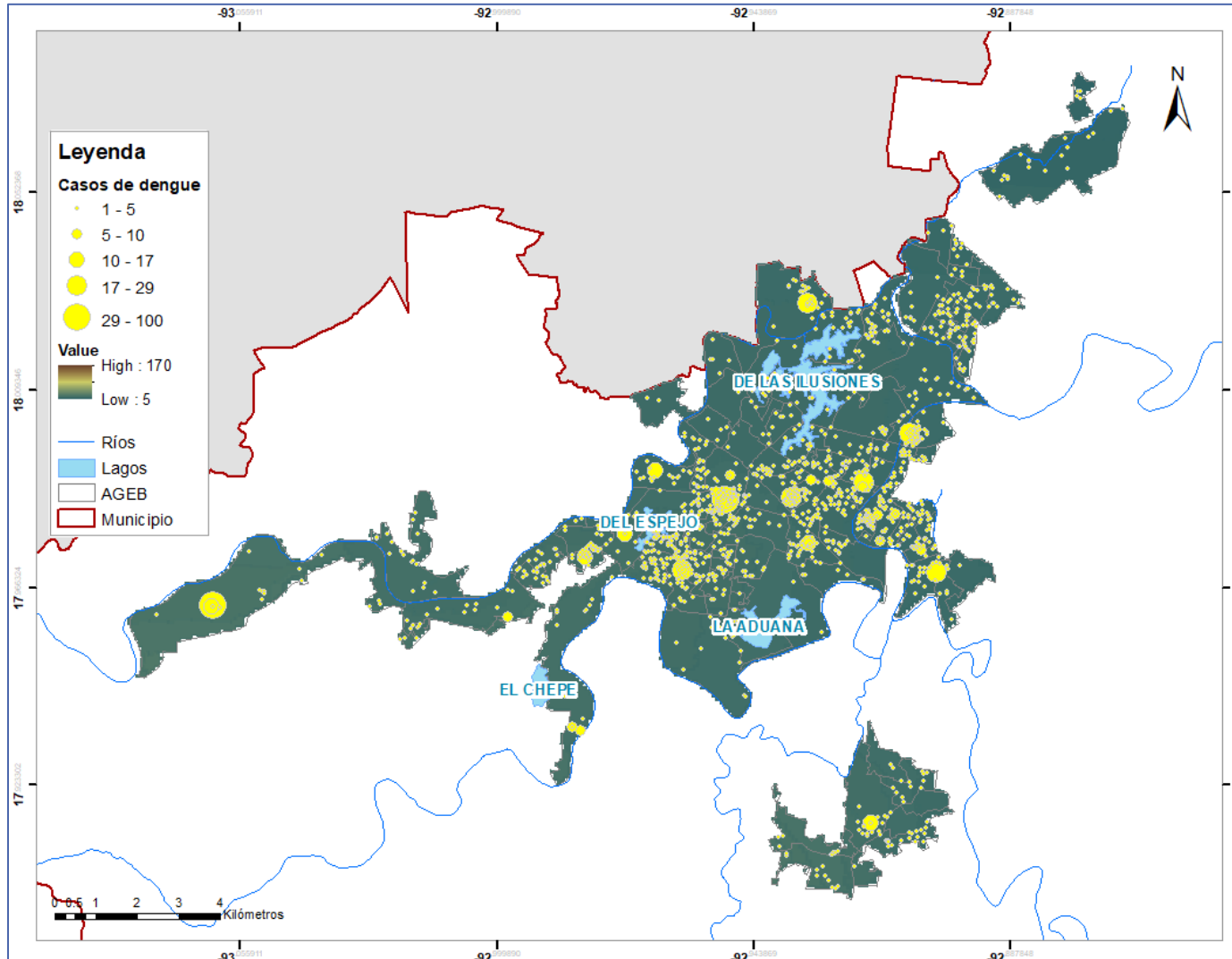


Fig. 153 Mapa de altitud y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.

3.2.2 Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento

3.2.2.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán Sinaloa, el 88% de las AGEB del área de estudio cuentan con algún nivel de hacinamiento, de los cuales el 98% presentaron casos reportados por dengue en algún momento del periodo de estudio. Del 12% de las AGEB que no cuentan con ningún nivel de hacinamiento el 66% no presentaron casos reportados en el periodo de estudio. El 37% de las AGEB tienen menos del 20% de viviendas con algún nivel de hacinamiento. De estas AGEB el 75% presentaron casos por dengue. Del 24% de las AGEB que presentaron un porcentaje de hacinamiento entre 60 y 80%, el 96% de estas presentaron casos en algún momento del periodo de estudio (Figura 154).

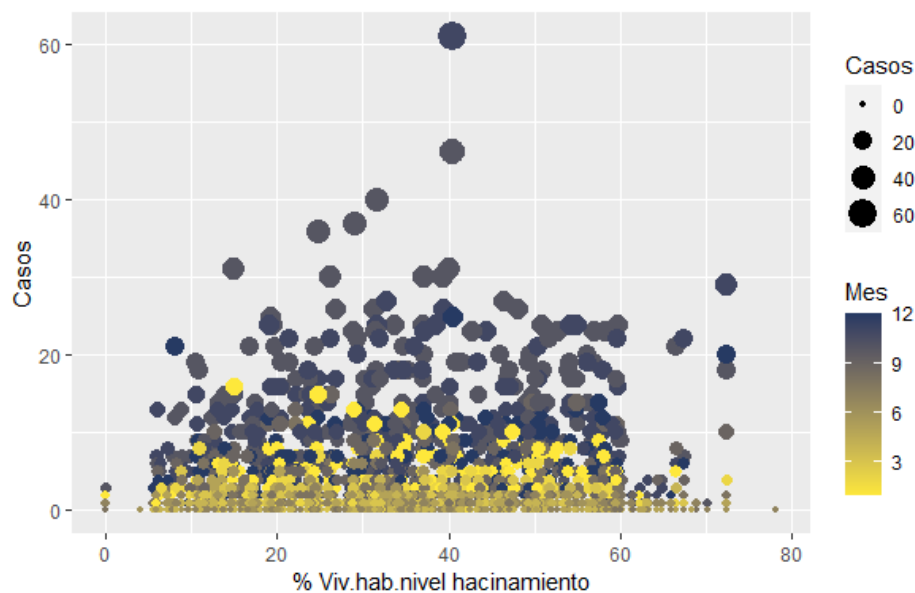


Fig. 154 Porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.

El porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento no parece presentar una relación lineal con los casos, es decir, que entre más hacinamiento se reporten más casos. Sin embargo, se puede observar que los AGEB que tienen hasta el 60% de hacinamiento, también presentan casos registrados por dengue. Ya se había visto en la variable de altitud que los meses que presentan mayor número de casos en los AGEB son los últimos meses del año, es decir, de septiembre a diciembre. El primer semestre del año presenta menos de 20 casos reportados por dengue en el periodo de estudio. Se puede decir que este municipio presenta una estacionalidad del dengue muy marcada por la temporada de lluvias. Este municipio reporta AGEB que concentran un poco más de 60 casos por dengue.

Para el municipio Culiacán, Sinaloa, en la Figura 155 se muestra el mapa de porcentaje de hacinamiento y los casos del mes de octubre que es el mes en donde se registran más casos. En el mapa se puede apreciar que las áreas con mayor porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento concuerdan con las áreas donde hay mayor cantidad de casos reportados.

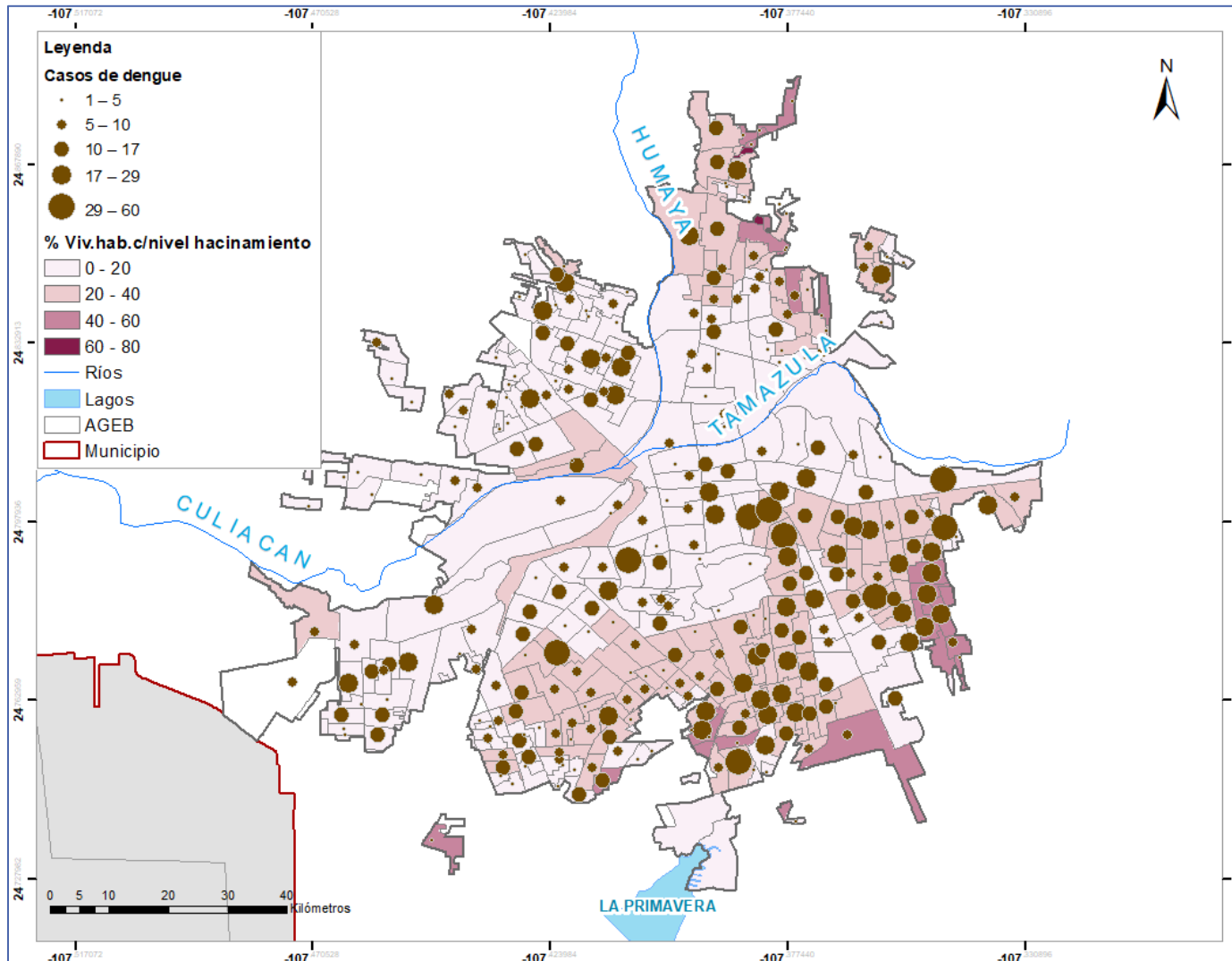


Fig. 155 Mapas del porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y casos del mes de octubre para el municipio Culiacán, Sinaloa.

3.2.2.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro de Tabasco, el 96% de las AGEB del área de estudio cuentan con algún nivel de hacinamiento, de los cuales el 100% presentaron casos reportados por dengue en algún momento del periodo de estudio. Del 4% de las AGEB que no cuentan con ningún nivel de hacinamiento el 80% no presentaron casos reportados en el periodo de estudio. El 59% de las AGEB tienen entre el 20 y 40% de viviendas con algún nivel de hacinamiento. De estas AGEB el 100% presentaron casos por dengue. Del 22% de las AGEB que presentaron un porcentaje de hacinamiento menor al 20%, el 92% de estas AGEB presentaron casos en algún momento del periodo de estudio (Figura 156).

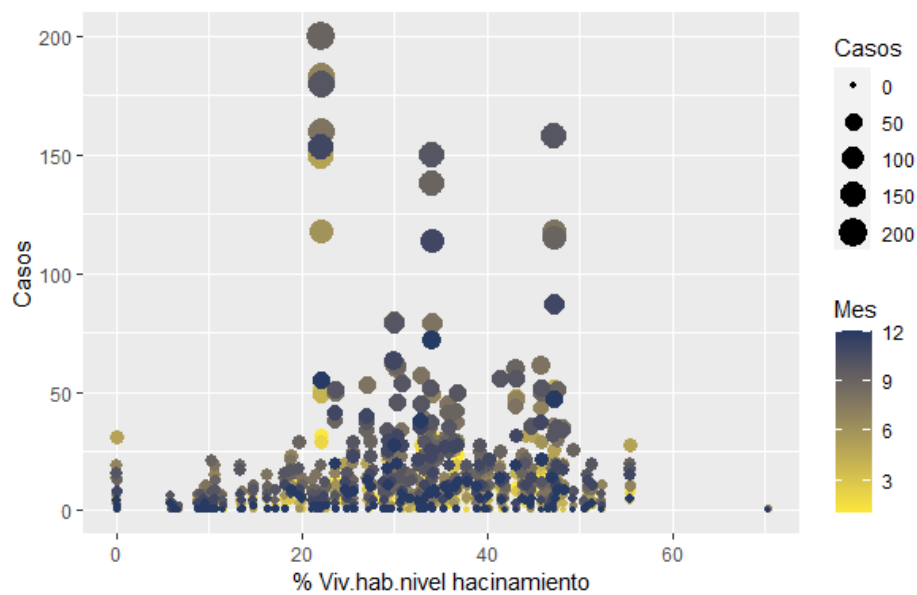


Fig. 156 Porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.

El porcentaje de viviendas habitadas con algún nivel de hacinamiento para este municipio no parece presentar una relación lineal con los casos, es decir, que entre más hacinamiento se reporten más casos, esto igual al municipio Culiacán. Sin embargo, se puede observar que los AGEB que tienen hasta el 60% de hacinamiento, también presentan casos registrados por dengue, esto concuerda con el municipio de Culiacán. Ya se había visto en la variable de altitud que en este municipio se reportan casos registrados en cualquier mes del año, es decir, que no hay una estacionalidad del dengue, esto puede deberse a que en este municipio hay lluvias en la mayoría de los meses del año. Este municipio reporta AGEB que concentran alrededor de 200 casos por dengue en el periodo de estudio.

Para el municipio Centro, Tabasco, en la Figura 157 se muestra el mapa de porcentaje de hacinamiento y los casos del mes de septiembre que es el mes en donde se registran más casos. En el mapa se puede apreciar que las áreas con mayor porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento concuerdan con las áreas donde hay mayor cantidad de casos reportados.

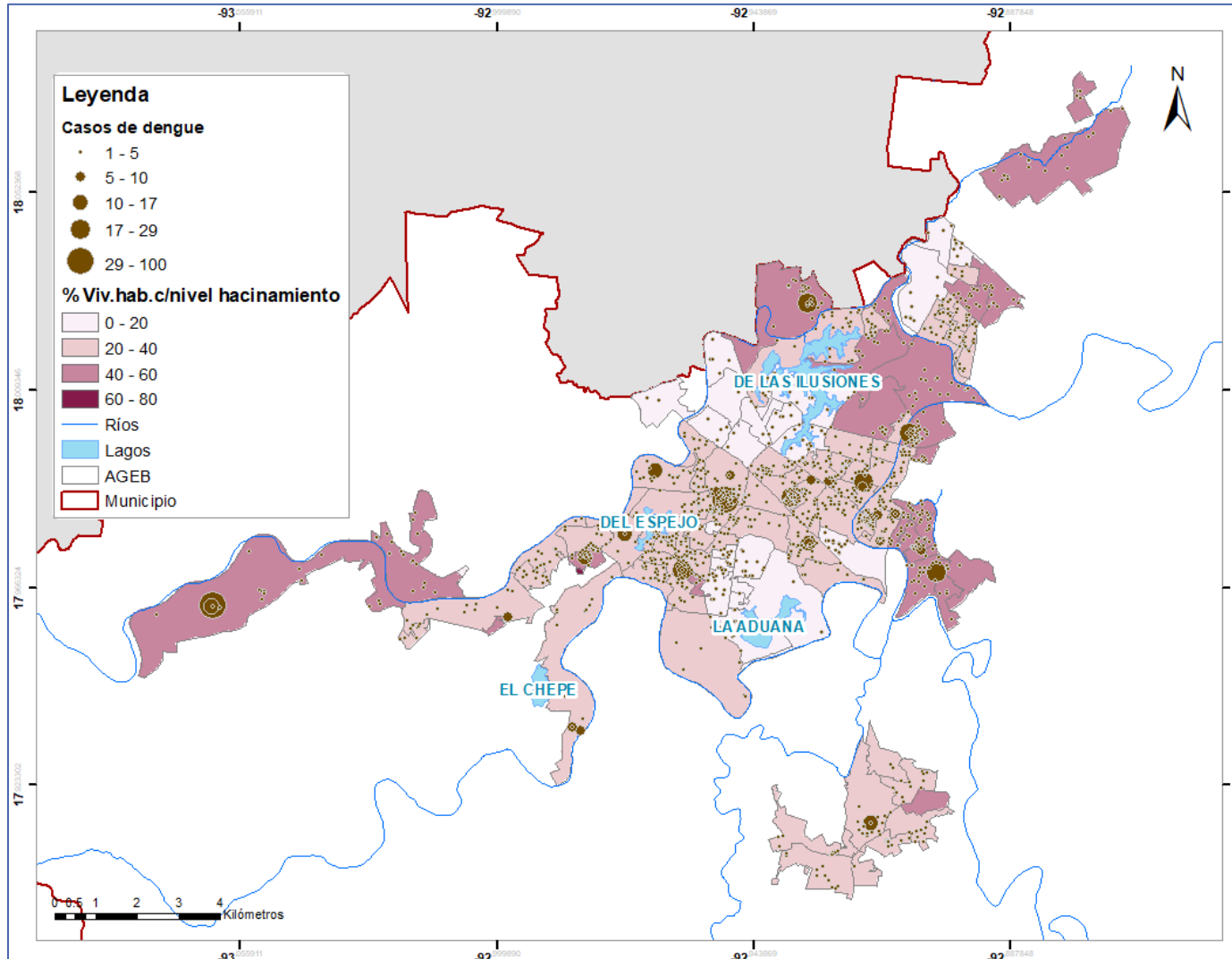


Fig. 157 Mapas del porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.

3.2.3 Densidad de población por kilómetro cuadrado.

3.2.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán, Sinaloa, el 20% de las AGEB tienen una densidad de población menor o igual a 2,500 habitantes por kilómetro cuadrado. De estas AGEB en el 49% se reportaron casos de dengue. El 80% de las AGEB tienen una densidad de población mayor a 2,500 habitantes por kilómetro cuadrado, de los cuales el 89% presentan casos reportados por dengue en algún momento del periodo de estudio (Figura 158).

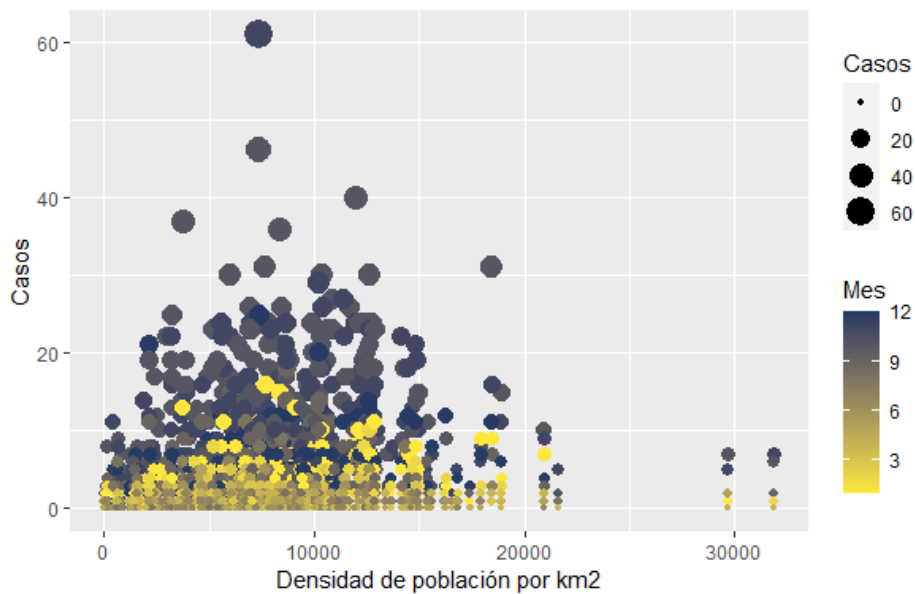


Fig. 158 Densidad de población y casos mensuales del municipio Culiacán, Sinaloa.

La densidad de población no parece presentar una relación lineal con los casos, es decir, que entre más densidad de población más casos. Sin embargo, se puede observar que los AGEB que tienen una densidad de población de hasta 15000 habitantes por km^2 , presentan casos registrados por dengue. Ya se había visto en las variables anteriores que los meses que presentan mayor número de casos en los AGEB son los últimos meses del año, es decir, de septiembre a diciembre. El primer semestre del año presenta menos de 20 casos reportados por dengue en el periodo de estudio. Se puede decir que este municipio presenta una estacionalidad del dengue muy marcada por la temporada de lluvias. Este municipio reporta AGEB que concentran un poco más de 60 casos por dengue.

Para el municipio Culiacán, en la Figura 159 se muestra el mapa de densidad de población con los casos del mes de octubre. En el mapa se puede apreciar que las áreas con mayor densidad de población coinciden con las áreas donde hay más casos registrados por dengue.

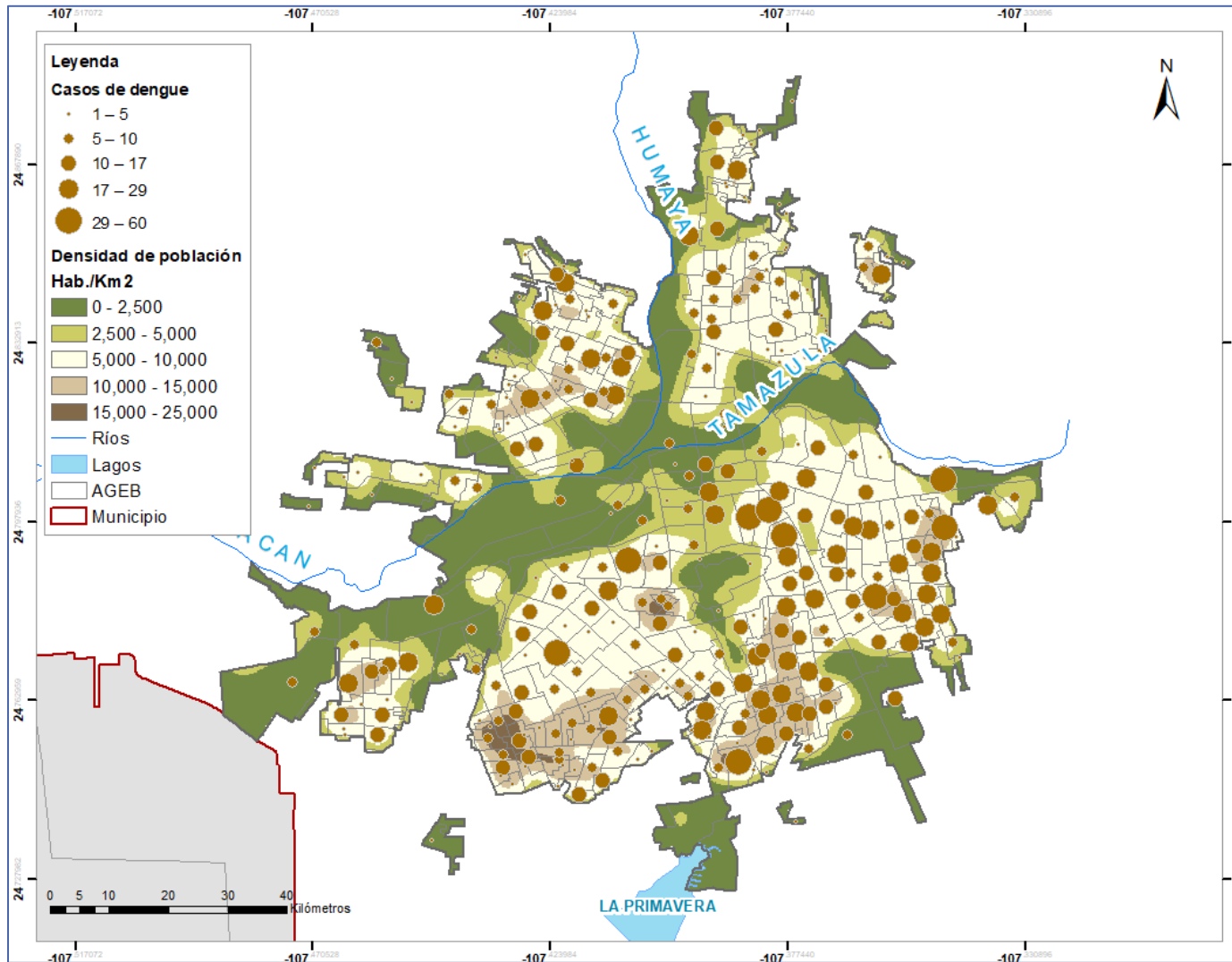


Fig. 159 Mapas de densidad de población y casos del mes de octubre para el municipio Culiacán, Sinaloa.

3.2.3.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro, Tabasco, el 19% de las AGEB tienen una densidad de población menor o igual a 2,500 habitantes por kilómetro cuadrado. De estas AGEB en el 94% se reportaron casos de dengue. El 81% de las AGEB tienen una densidad de población mayor a 2,500 habitantes por kilómetro cuadrado, de los cuales el 98% presentan casos reportados por dengue en algún momento del periodo de estudio (Figura 160).

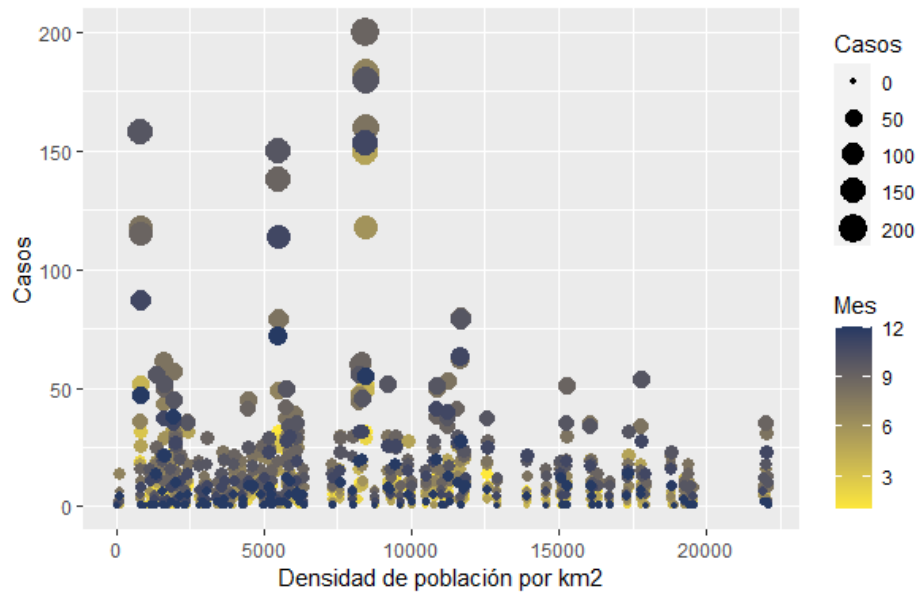


Fig. 160 Densidad de población y casos mensuales del municipio Centro, Tabasco.

La densidad de población para este municipio no parece presentar una relación lineal con los casos, es decir, que entre más densidad de población se reporten más casos. Sin embargo, se puede observar que los AGEB que tienen una densidad de población menor a 20000 habitantes por km^2 , también presentan casos registrados por dengue, esto, aunque concuerda con el municipio de Culiacán, cabe señalar que el número de casos para este municipio es mayor. Ya se había visto en las variables anteriores que en este municipio se reportan casos registrados en cualquier mes del año, es decir, que no hay una estacionalidad del dengue, pero al parecer si se reportan mayor número de casos a partir del segundo semestre del año. Este municipio reporta AGEB que concentran alrededor de 200 casos por dengue en el periodo de estudio.

Para el municipio Centro, en la Figura 161 se muestra el mapa de densidad de población con los casos del mes de septiembre. En el mapa se puede apreciar que las áreas con mayor densidad de población coinciden con las áreas donde hay más casos registrados por dengue.

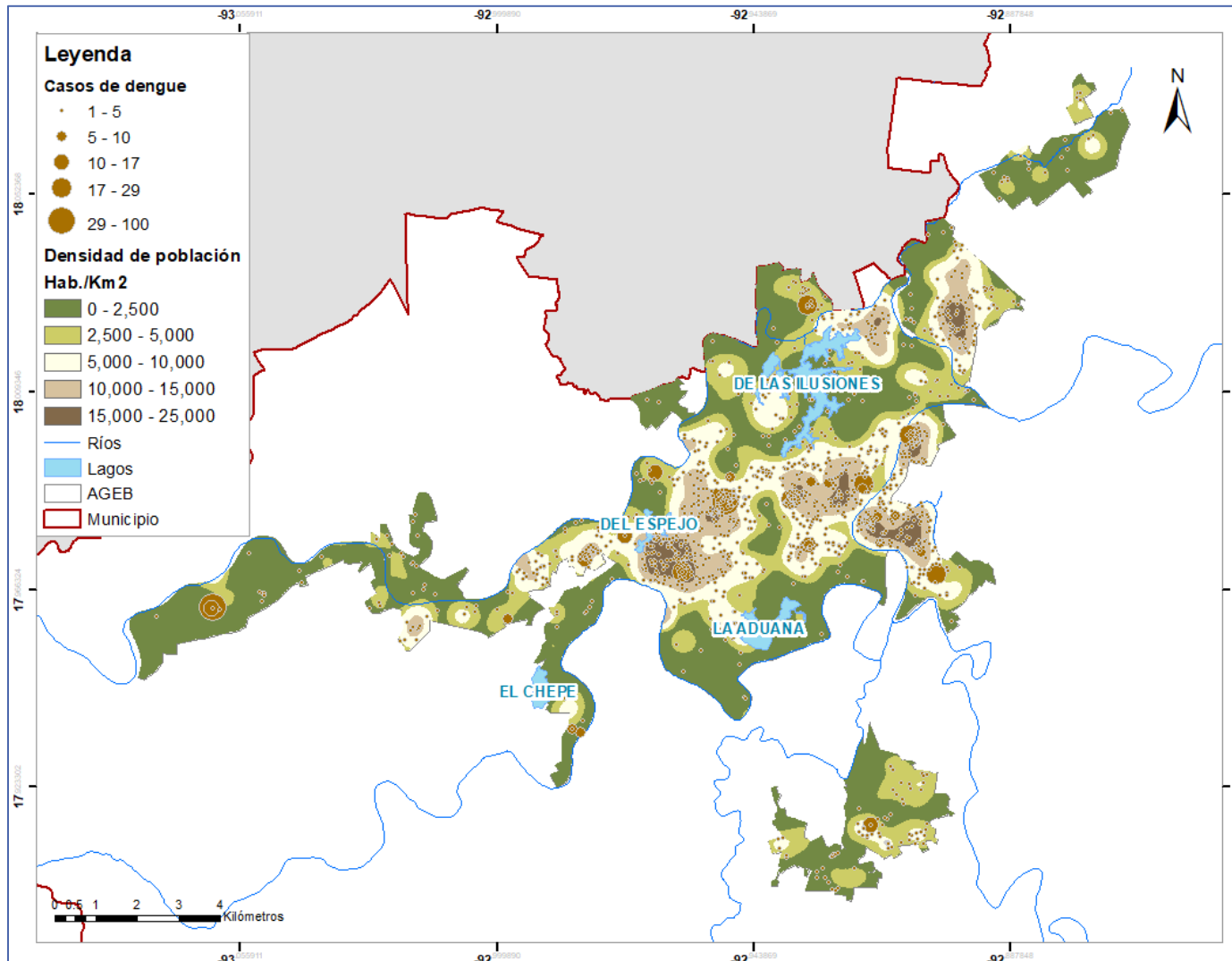


Fig. 161 Mapas de densidad de población y casos del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.

3.3 Análisis estadístico

3.3.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

En la Tabla 10 se puede observar un resume de estadísticas básicas de los promedios mensuales de las variables de estudio con variabilidad temporal para el municipio Culiacán, Sinaloa.

Mes	LST				NDVI				NDMI				Huevos X ovitrampa +				Casos de dengue			
	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.
Enero	25.0	27.8	27.8	30.9	0.1	0.2	0.2	0.5	-0.1	0.1	0.1	0.1	7.9	27.5	29.2	77.8	0.0	2.0	2.5	16.0
Febrero	26.7	31.2	31.2	34.8	0.1	0.2	0.2	0.4	-0.1	0.0	0.0	0.1	9.8	26.0	26.4	74.6	0.0	1.0	1.2	10.0
Marzo	35.5	39.1	39.0	43.1	0.1	0.2	0.2	0.4	-0.1	0.0	0.0	0.1	9.4	30.9	33.1	90.0	0.0	0.0	0.8	5.0
Abril	38.9	42.4	42.5	46.6	0.1	0.2	0.2	0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	12.5	38.6	38.2	102.0	0.0	0.0	0.5	5.0
Mayo	43.5	47.5	47.6	51.8	0.1	0.2	0.2	0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	13.9	33.8	36.1	84.2	0.0	0.0	0.6	5.0
Junio	45.0	48.8	48.9	53.8	0.1	0.2	0.2	0.4	-0.1	0.0	0.0	0.1	15.5	34.2	35.6	70.1	0.0	0.0	0.5	5.0
Julio	36.7	43.8	43.5	47.0	0.1	0.2	0.2	0.6	0.0	0.1	0.1	0.2	20.0	38.7	39.3	74.8	0.0	0.0	0.5	6.0
Agosto	31.9	39.6	39.4	43.5	0.1	0.3	0.3	0.8	0.0	0.1	0.1	0.4	32.0	68.9	72.1	138.6	0.0	0.0	1.0	11.0
Septiembre	32.3	39.9	39.5	44.0	0.1	0.3	0.3	0.8	0.0	0.1	0.1	0.4	30.4	81.5	83.8	160.0	0.0	2.0	2.8	18.0
Octubre	34.7	39.9	39.7	42.1	0.1	0.2	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.2	28.4	67.7	71.3	137.7	0.0	6.0	8.3	46.0
Noviembre	31.7	34.8	34.8	37.3	0.1	0.2	0.2	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	14.7	43.5	45.7	85.4	0.0	5.0	6.9	61.0
Diciembre	26.0	28.7	28.8	31.8	0.1	0.2	0.2	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	9.7	28.7	29.8	74.3	0.0	2.0	3.3	25.0

Tabla 10 Estadísticos descriptivos de las variables de estudio del municipio Culiacán, Sinaloa.

El valor máximo de la LST se presenta en el mes de junio y el valor mínimo en enero. El valor máximo del NDVI y el NDMI se presentan entre agosto y septiembre, 0.8 y 0.4, respectivamente. El promedio de huevos por ovitrampa positiva en Culiacán es 2.2 veces más elevado en el periodo de agosto a octubre que el promedio del resto del año. El promedio de los casos probables de dengue en Culiacán es 5.5 veces más elevado entre octubre y noviembre en comparación con en el resto del año.

Se calcularon las correlaciones bivariadas de Spearman para el análisis de multicolinealidad. Todos los VIF fueron menores a 10, esto demostró que no existen problemas de multicolinealidad (Tabla 11).

Modelo	Estadísticas de colinealidad	
	Tolerancia	VIF
(Constante)		
LST	0.744	1.344
NDMI	0.303	3.295
NDVI	0.343	2.919
Huevos por ovitrampa positiva	0.577	1.733
Densidad de casos	0.813	1.230
Altitud	0.744	1.354
Hacinamiento	0.599	1.670
Densidad de población	0.647	1.545

Tabla 11 Estadísticas de multicolinealidad para el municipio Culiacán, Sinaloa.

En el gráfico de dispersión de pronósticos tipificados en el eje de las x y residuos tipificados en el eje de las y, no se observa una banda en la forma de los puntos. No se cumplió el supuesto de igualdad de varianzas; al observarse cierto patrón en la distribución de los datos con tendencia a una forma de cono (Figura 162a). El estadístico de Durbin-Watson se reportó en 1.787, lo cual indica que los residuos son independientes. No se cumplió el supuesto de normalidad de acuerdo con el gráfico de proporciones acumuladas de la variable esperada y la observada (Figura 162b).

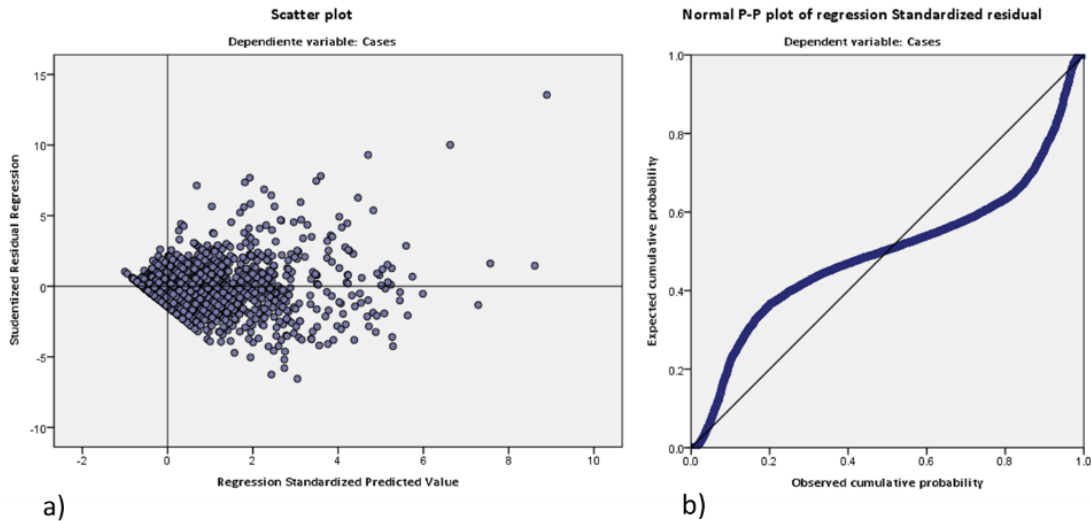


Fig. 162 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Culiacán, Sinaloa.

Como el supuesto de linealidad no se cumplió, siguiendo la recomendación de (Foley, 2019) se transformó la variable Casos, que, al presentar valores iguales a ceros, se utilizó la transformación $\text{Log}_{10}(Y + 0.001)$. Al transformar la variable Y (casos) mediante la fórmula $\text{Log}_{10}(Y + 0.001)$ se obtuvieron los gráficos de regresión parciales donde se mostró una tendencia lineal leve a moderada, excepto para la variable densidad de casos por lo que también se transformó esta variable adicionalmente como $\text{Log}_{10}(\text{Densidad de casos} + 0.001)$, los gráficos parciales para este modelo evidenciaron en general una tendencia lineal (Figuras 163 y 164).

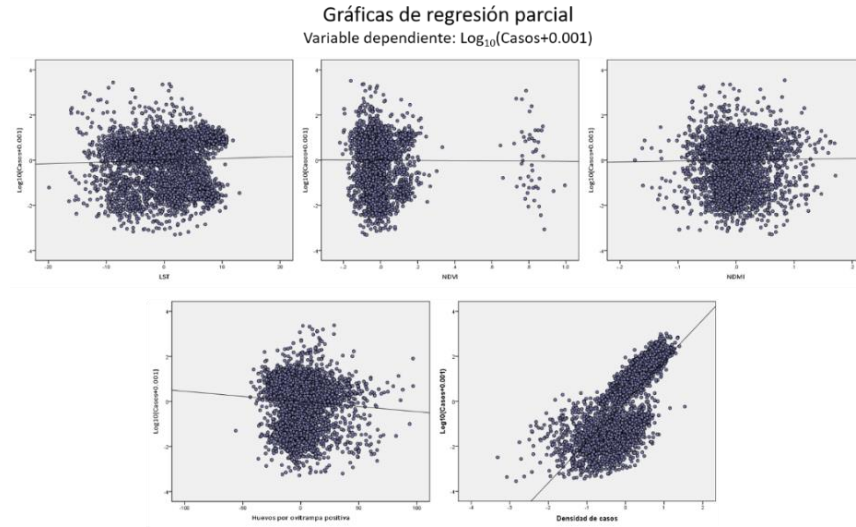


Fig. 163 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales y temporales del municipio Culiacán, Sinaloa.

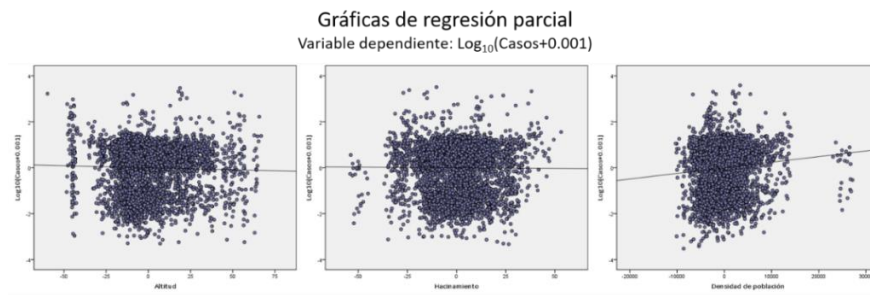


Fig. 164 Gráficos de dispersión parcial de variables espaciales del municipio Culiacán, Sinaloa.

En la Tabla 12 se muestra el resultado del modelo:

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	0.792 ^a	0.627	0.626	1.06019	1.832

a. Variables predictoras: (Constante), LogDenCasos, Altitud, NDVI, DenPob, DenEggs, LST, IND9, NDMI

b. Variable dependiente: LogCasos

Tabla 12 Resumen del modelo para el municipio Culiacán, Sinaloa.

El diagrama de dispersión no cumplió el supuesto de homocedasticidad, al observarse un patrón en los datos (Figura 165a). Así mismo, no se cumple con el supuesto de normalidad, al desviarse los puntos de la diagonal y se cuenta con valores atípicos reportados (Figura 165b).

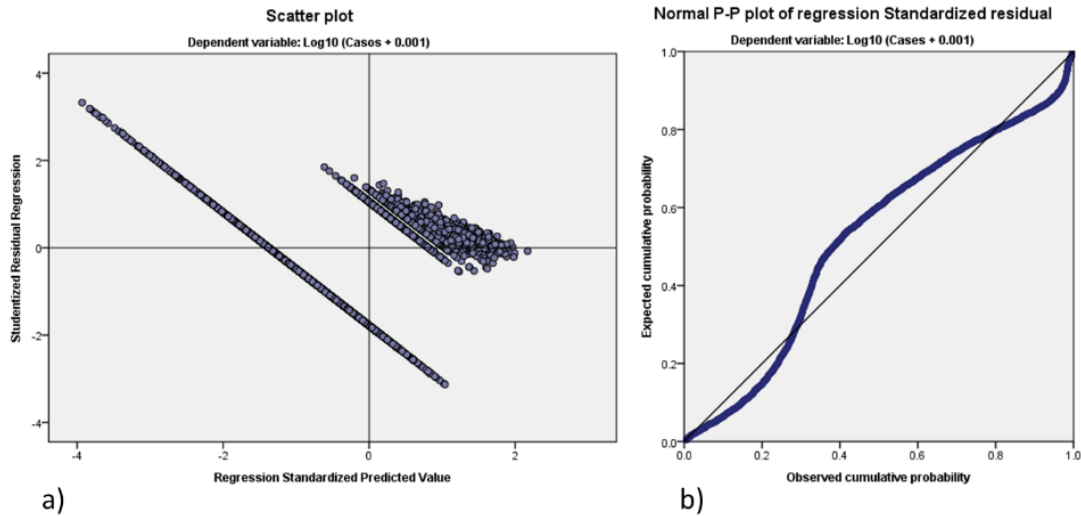


Fig. 165 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Culiacán, Sinaloa.

Ante la existencia de variables asimétricas y con valores atípicos, se realizó una regresión robusta y ante la ausencia de homocedasticidad se empleó el método bootstrap de simulación mediante remuestreo para estimar el error estándar de los parámetros estimados, ya que dicho método no supone igualdad de varianzas (Thulin, 2021). El modelo final quedó como $Y = \text{Log}_{10}(\text{Casos} + 0.001)$, y variables independientes Altitud, LST, Densidad de población, $\text{Log}_{10}(\text{Densidad de casos} + 0.001)$ y Densidad de huevos, esto dado que las variables NDMI, NDVI y Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento no fueron significativas (Tabla 13).

Variable	Estimador	Valor-P	Interpretación
Intercepto	-1.00594	0.001	
Altitud	-0.00209	0.007 *	-0.209
LST	0.00819	0.014 *	0.823
NDMI	0.28496	0.583	32.971
NDVI	0.19690	0.597	21.762
Hacinamiento	-0.00068	0.590	-0.068
Densidad de población	0.00002	0.000 *	0.002
$\text{Log}_{10}(\text{Densidad de casos}+0.001)$	1.91386	0.000 *	1.914
Densidad de huevos por ovitrampa positiva	-0.00497	0.001 *	-0.496

* Variables significativas

Tabla 13 Coeficientes de regresión robustos estimados mediante método bootstrap para el municipio Culiacán, Sinaloa.

3.3.2 Municipio Centro, Tabasco

En la Tabla 14 se puede observar un resumen de estadísticas básicas de los promedios mensuales de las variables con variabilidad temporal para el municipio Centro, Tabasco.

Mes	LST				NDVI				NDMI				Promedio de número de huev				Casos de dengue			
	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.	Min.	Mediana	Media	Max.
Enero	27.6	29.6	29.4	31.8	0.1	0.3	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.3	4.6	21.6	20.6	34.5	0.0	4.0	6.1	32.0
Febrero	30.2	33.1	32.9	35.6	0.1	0.3	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.3	5.6	21.1	20.4	41.2	0.0	3.0	4.7	29.0
Marzo	33.1	37.4	37.1	40.8	0.1	0.3	0.3	0.7	-0.1	0.1	0.1	0.3	5.4	21.5	20.4	38.2	0.0	2.0	4.5	51.0
Abril	34.2	39.0	38.8	42.6	0.1	0.2	0.3	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	3.6	18.9	19.7	81.5	0.0	3.0	4.6	52.0
Mayo	34.4	39.3	39.1	42.8	0.1	0.3	0.3	0.6	0.0	0.1	0.1	0.3	6.1	17.5	18.1	42.4	0.0	4.0	8.6	149.0
Junio	36.0	40.0	39.9	43.3	0.1	0.3	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.4	4.6	26.8	30.9	86.4	0.0	4.0	6.3	118.0
Julio	35.3	40.2	39.7	43.6	0.1	0.3	0.3	0.6	0.0	0.1	0.1	0.3	9.1	29.9	33.3	76.2	0.0	7.0	10.9	183.0
Agosto	32.1	37.3	37.2	43.2	0.1	0.3	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.4	7.1	23.4	26.3	68.0	0.0	11.0	18.2	160.0
Septiembre	30.1	33.9	34.0	37.9	0.1	0.3	0.3	0.6	0.0	0.1	0.1	0.4	3.7	21.1	21.7	56.9	0.0	14.0	20.7	200.0
Octubre	25.9	32.0	32.2	37.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.0	0.1	0.2	0.3	3.2	19.4	18.6	38.3	0.0	12.0	20.3	180.0
Noviembre	24.7	29.2	29.2	33.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	13.2	14.2	35.6	0.0	6.0	13.2	153.0
Diciembre	26.9	29.8	29.7	32.1	0.1	0.3	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	12.3	12.7	29.4	0.0	2.0	6.2	72.0

Tabla 14 Estadísticos descriptivos de las variables de estudio del municipio Centro, Tabasco.

El valor máximo del NDMI se presenta en junio, agosto y septiembre con 0.4. El valor máximo del NDVI se presenta en junio, agosto y diciembre con 0.7. El valor máximo de la LST se presenta en el mes de julio y el valor mínimo en noviembre. El promedio de huevos por ovitrampa positiva en el municipio Centro es 1.6 veces más elevado en el periodo de junio a agosto que el promedio del resto del año. El promedio de los casos probables de dengue en el municipio Centro es 2.7 veces más elevado entre agosto a octubre en comparación con en el resto del año.

Se calcularon las correlaciones bivariadas de Spearman para el análisis de multicolinealidad. Todos los VIF fueron menores a 10, esto demostró que no existen problemas de multicolinealidad (Tabla 15).

Modelo	Estadísticas de colinealidad	
	Tolerancia	VIF
(Constante)		
Altitud	0.950	1.053
LST	0.669	1.495
NDMI	0.293	3.418
NDVI	0.354	2.827
Hacinamiento	0.689	1.451
Densidad de población	0.431	2.322
Densidad de casos	0.747	1.339
Densidad de huevos	0.804	1.243

Tabla 15 Estadísticas de multicolinealidad para el municipio Centro, Tabasco.

En el gráfico de dispersión de pronósticos tipificados en el eje de las x y residuos tipificados en el eje de las y, no se observa una banda en la forma de los puntos. No se cumplió el supuesto de igualdad de varianzas; al observarse cierto patrón en la distribución de los datos con tendencia a una forma de cono (Figura 166a). El estadístico de Durbin-Watson se reportó en 2.019, lo cual indica que los residuos son independientes. No se cumplió el supuesto de normalidad de acuerdo con el gráfico de proporciones acumuladas de la variable esperada y la observada (Figura 166b).

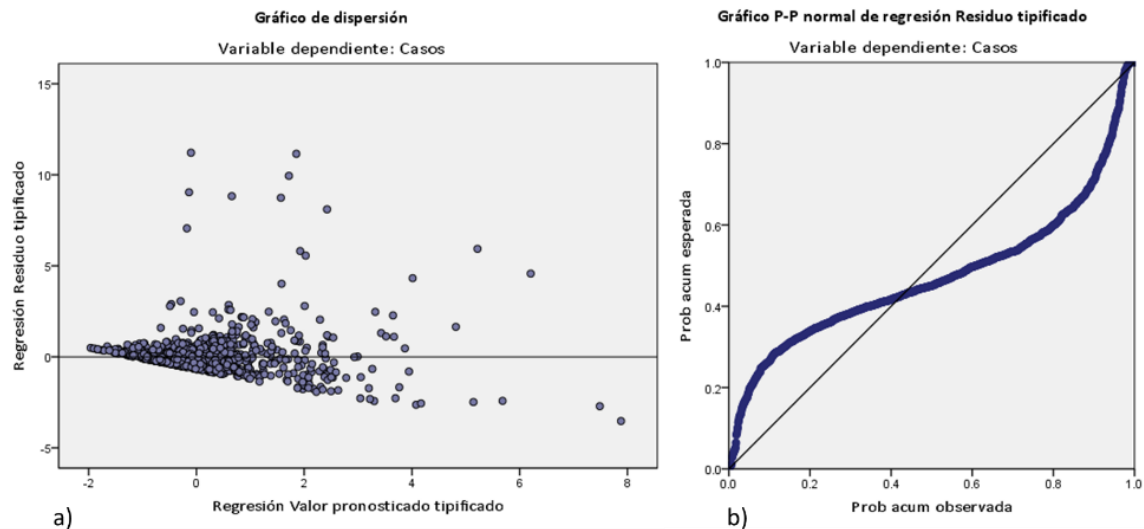


Fig. 166 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Centro, Tabasco.

Como el supuesto de linealidad no se cumplió, siguiendo la recomendación de (Foley, 2019) se transformó la variable Casos, que, al presentar valores iguales a ceros, se utilizó la transformación $\text{Log}_{10}(Y + 0.001)$. Al transformar la variable Y (casos) mediante la fórmula $\text{Log}_{10}(Y + 0.001)$, además se decidió transformar aquellas variables independientes con mayor desviación de la tendencia lineal, tales como altitud, NDVI y Huevos por ovitrampa positiva. Además, se realizó una transformación cuadrática en todas las variables independientes debido a la curvatura en la gráfica P-P normal de regresión de residuo estandarizado, los coeficientes no significativos fueron $(\text{Altitud})^2$, $(\text{LST})^2$ y $(\text{Huevos por ovitrampa positiva})^2$, los cuales fueron excluidos del modelo. Se obtuvieron los gráficos de regresión parciales mostrados, la mayoría de las gráficas muestran una tendencia lineal moderada en las variables no transformadas, y un buen ajuste en las variables cuadráticas (Figuras 167 y 168).

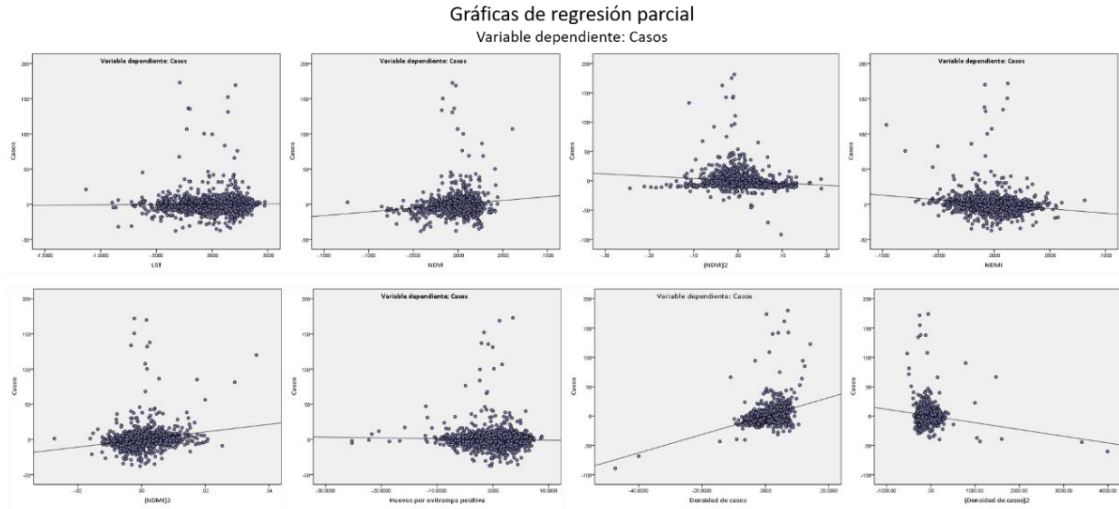


Fig. 167 Gráficas de dispersión parcial de variables espaciales y temporales del municipio Centro Tabasco.

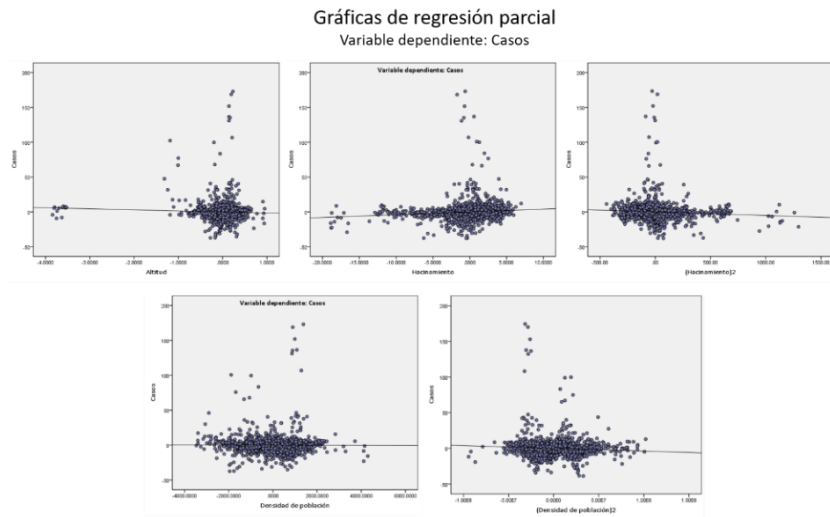


Fig. 168 Gráficas de dispersión parcial de variables espaciales del municipio Centro Tabasco.

En la Tabla 16 se muestra el resultado del modelo:

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R ²	R ² Austada	Error típico de la estación	Durbin-Watson
1	0.558 ^a	0.311	0.305	14.969	2.001

a. Variables predictoras: (Constante), (Densidad de población)², Altitud, LST, (Densidad de casos)², (Hacinamiento)², Huevos por ovitrampa positiva, (NDMI)², NDVI, Densidad de casos, Hacinaamiento, NDMI, Densidad de población, (NDVI)²

b. Variable dependiente: Casos

Tabla 16 Resumen del modelo para el municipio Centro, Tabasco.

El diagrama de dispersión no cumplió el supuesto de homocedasticidad, al observarse un patrón en los datos (Figura 169a). Así mismo, no se cumple con el supuesto de normalidad, al desviarse los puntos de la diagonal y se cuenta con valores atípicos reportados (Figura 169b).

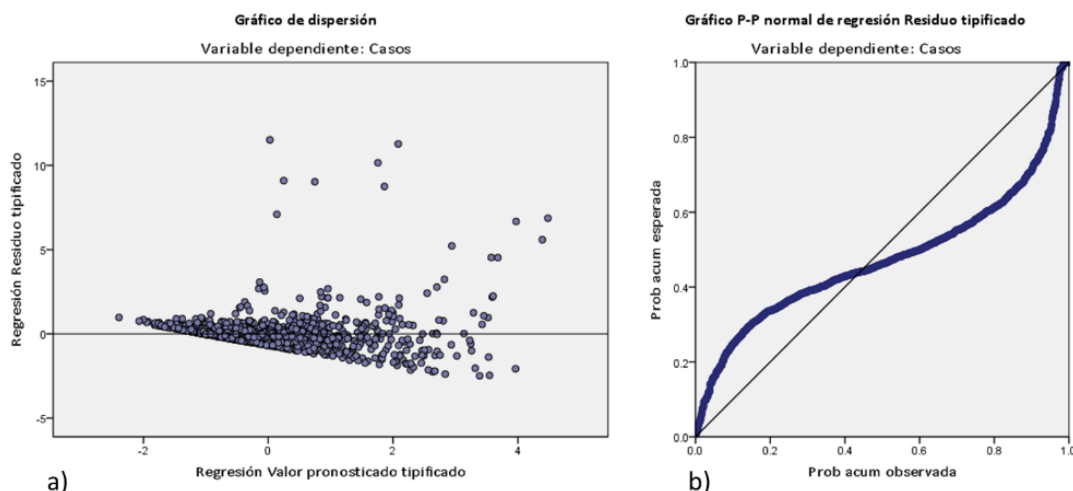


Fig. 169 Gráficos de dispersión y normalidad del municipio Centro Tabasco.

Ante la existencia de variables asimétricas y con valores atípicos, se realizó una regresión robusta y ante la ausencia de homocedasticidad se empleó el método bootstrap de simulación mediante remuestreo para estimar el error estándar de los parámetros estimados, ya que dicho método no supone igualdad de varianzas (Thulin, 2021). El modelo final para medir el número de casos a partir de las variables estadísticamente significativas corresponde a $(NDVI)^2$, $(NDMI)^2$, $(Hacinamiento)^2$, $(Densidad\ de\ población)^2$ y $(Densidad\ de\ casos)^2$, esto dado que las variables $(LST)^2$, $(Huevos\ por\ ovitrampa\ positiva)^2$ y $(Altitud)^2$ no fueron significativas (Tabla 17). Adicionalmente, sólo se interpretará el término cuadrático cuando la variable haya sido transformada.

Variable	Estimador	Valor-P	Interpretación
Intercepto	-12.384	0.0010	
LST	-0.021	0.6190	
NDVI	78.771	0.0000	
$(NDVI)^2$	-106.217	0.0010 *	-212.433
NDMI	-56.142	0.0010	
$(NDMI)^2$	253.330	0.0000 *	506.660
Huevos por ovitrampa positiva	-0.002	0.8760	
Densidad de casos	1.046	0.0000	
$(Densidad\ de\ casos)^2$	-0.008	0.0010 *	-0.016
Altitud	0.044	0.5980	
Hacinamiento	0.258	0.0000	

(Hacinamiento) ²	-0.003	0.0010 *	-0.006
Densidad de población	-0.00013	0.3350	
(Densidad de población) ²	-0.00000002	0.0130 *	-0.00000003

* Variables significativas

Tabla 17 Coeficientes de regresión robustos estimados mediante método bootstrap para el municipio Centro, Tabasco.

3.4 Análisis espacial

Con los valores de interpretación de las variables significativas obtenidos a través del análisis estadístico se aplicó la escala fundamental de Saaty para definir los pesos de cada criterio y realizar el proceso analítico jerárquico (Saaty, 1980).

Para el municipio Culiacán Sinaloa, el índice de inconsistencia fue de -0.86 por lo cual la matriz fue valida quedando los pesos de la siguiente forma:

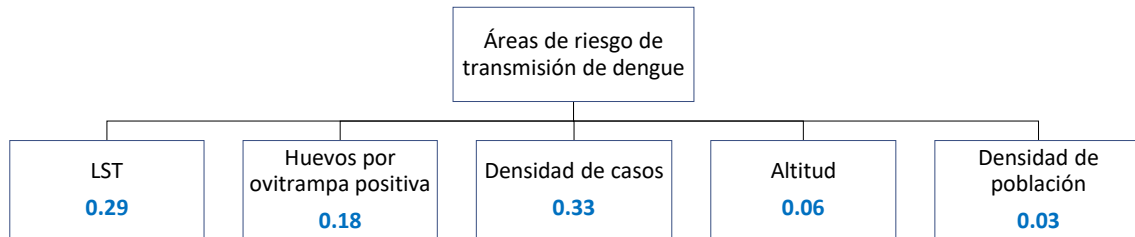


Fig. 170 Criterios y pesos de las variables significativas para el municipio Culiacán, Sinaloa.

Para el municipio Centro de Tabasco, el índice de inconsistencia fue de -0.11 por lo cual la matriz fue valida quedando los pesos de la siguiente forma:

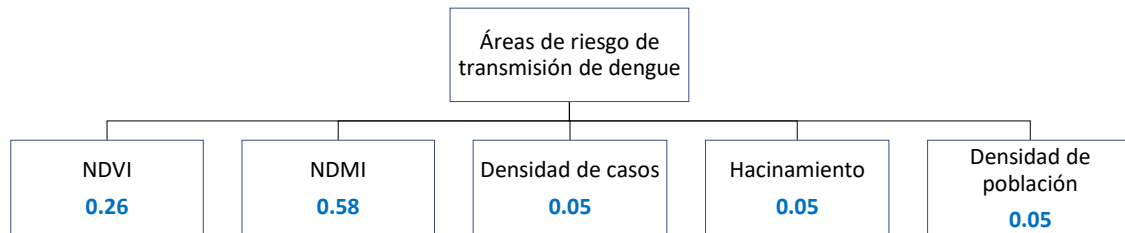


Fig. 171 Criterios y pesos de las variables significativas para el municipio Centro, Tabasco.

Una vez normalizadas todas las capas de datos espaciales se aplicó el método de superposición ponderada para realizar el análisis multicriterio y determinar las áreas de riesgo de transmisión de dengue para cada área de estudio.

3.5 Áreas de riesgo

Las áreas de riesgo de transmisión de dengue obtenidas a través del modelo espacial se clasificaron en 5 estratos de acuerdo con el método de quintiles quedando como 1 Alto, 2 Medio alto, 3 Medio, 4 Medio bajo y 5 Bajo. Estas áreas se explicarán en términos de la población que se encuentra en las áreas de riesgo del estrato Medio alto y Alto.

3.5.1 Municipio Culiacán, Sinaloa

Para el municipio Culiacán, las AGEB que presentan áreas de riesgo es menor al 10% del total de AGEB del municipio, se cuenta con áreas de riesgo de transmisión de dengue en 6 meses del año.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de las áreas de riesgo para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 172 a la Figura 177.

Para el mes de enero se observa el área de riesgo que es menor al 1%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo enero tiene menos del 2%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en enero se encuentra menos del 1%.

Para los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio no se cuenta con áreas de riesgo.

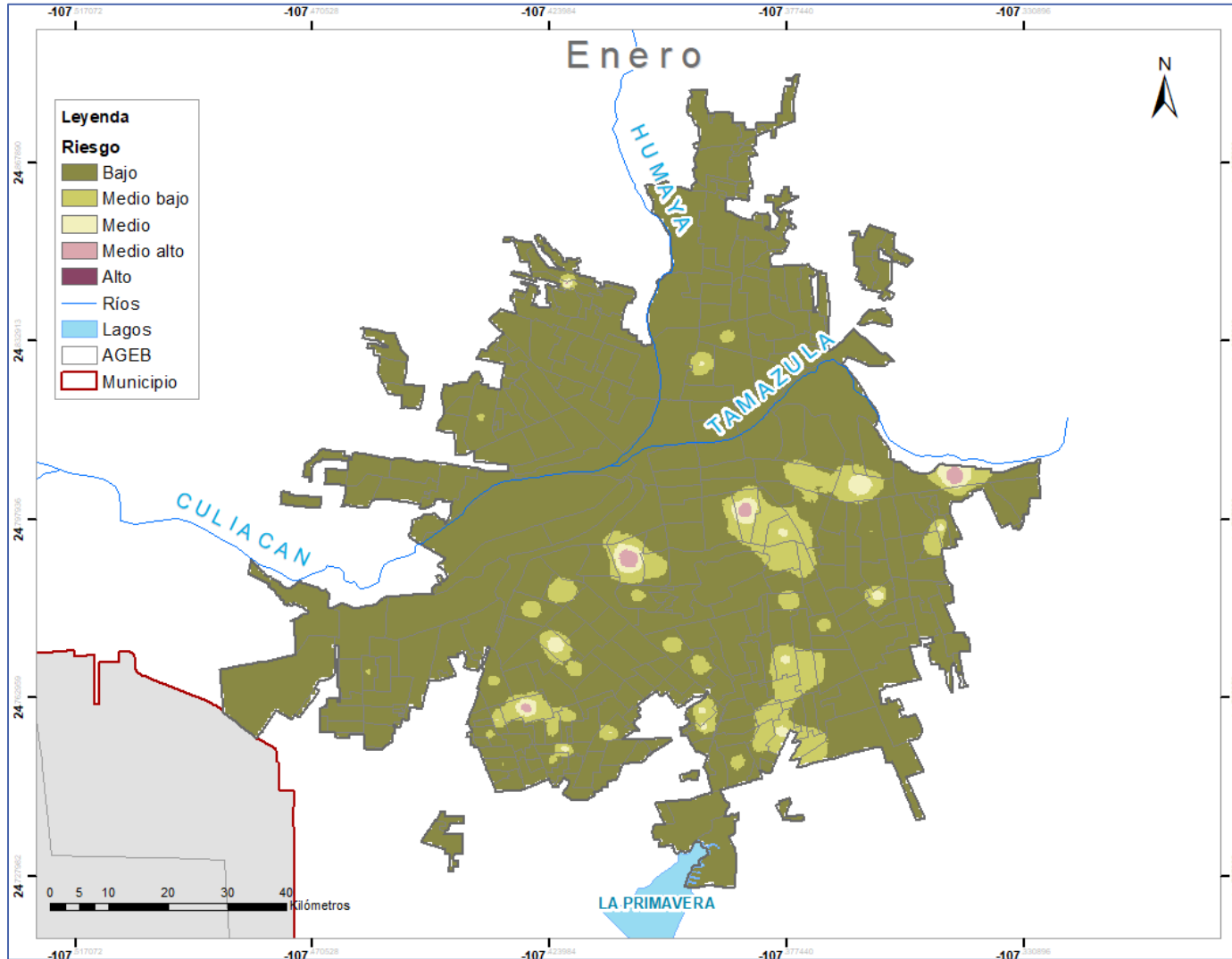


Fig. 172 Área de riesgo del mes de enero del municipio Culiacán, Sinaloa.

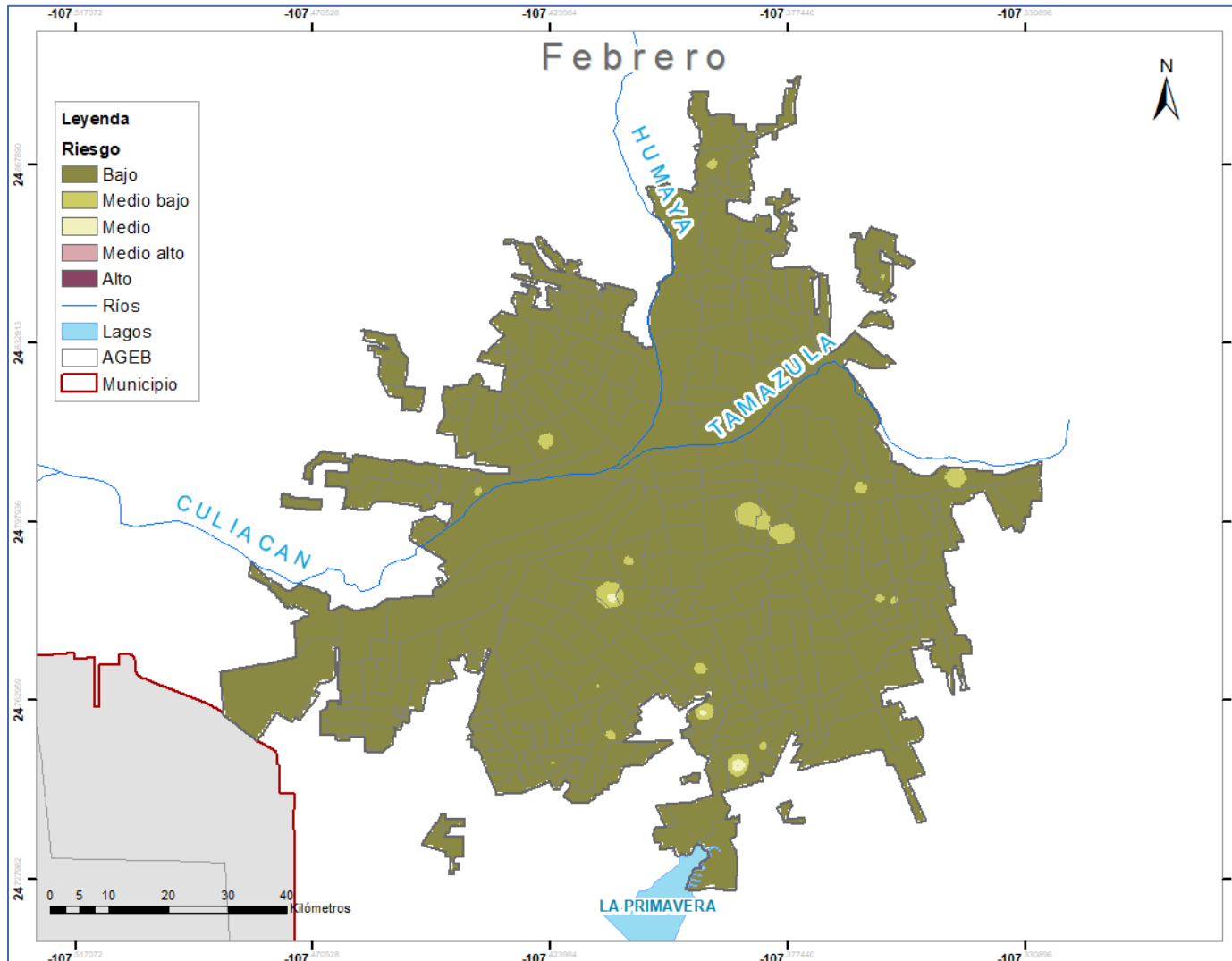


Fig. 173 Área de riesgo del mes de febrero del municipio Culiacán, Sinaloa.

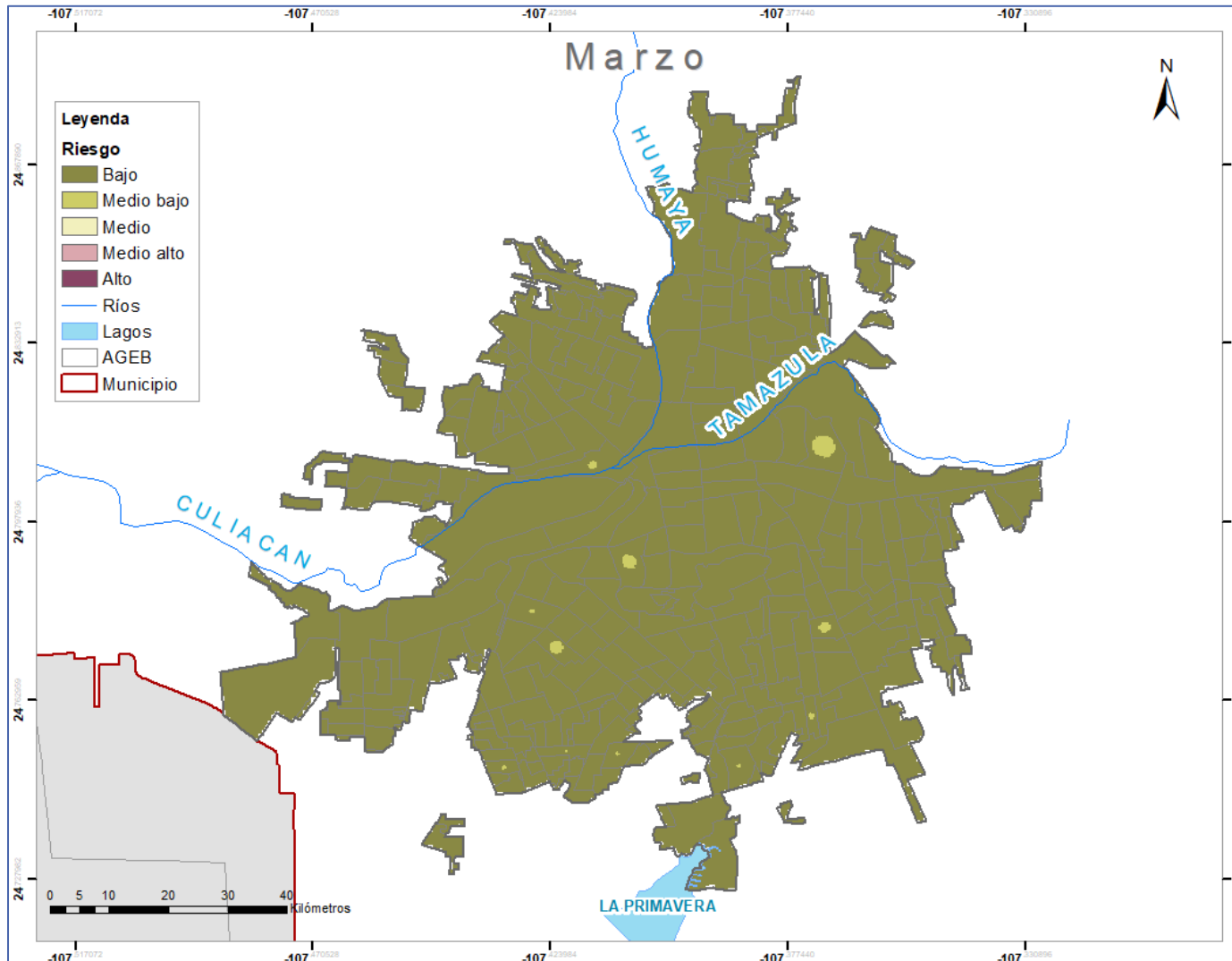


Fig. 174 Área de riesgo del mes de marzo del municipio Culiacán, Sinaloa.

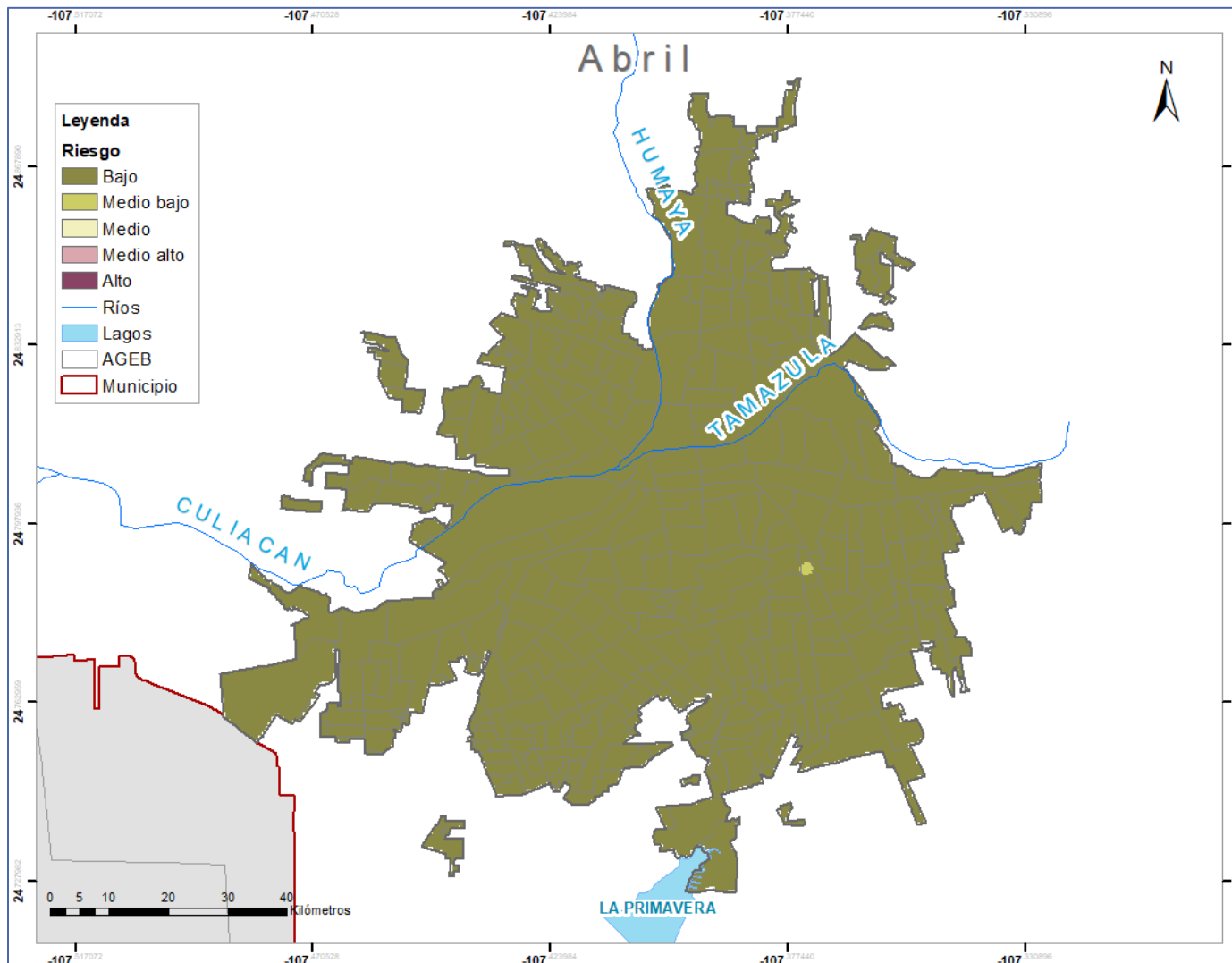


Fig. 175 Área de riesgo del mes de abril del municipio Culiacán, Sinaloa.

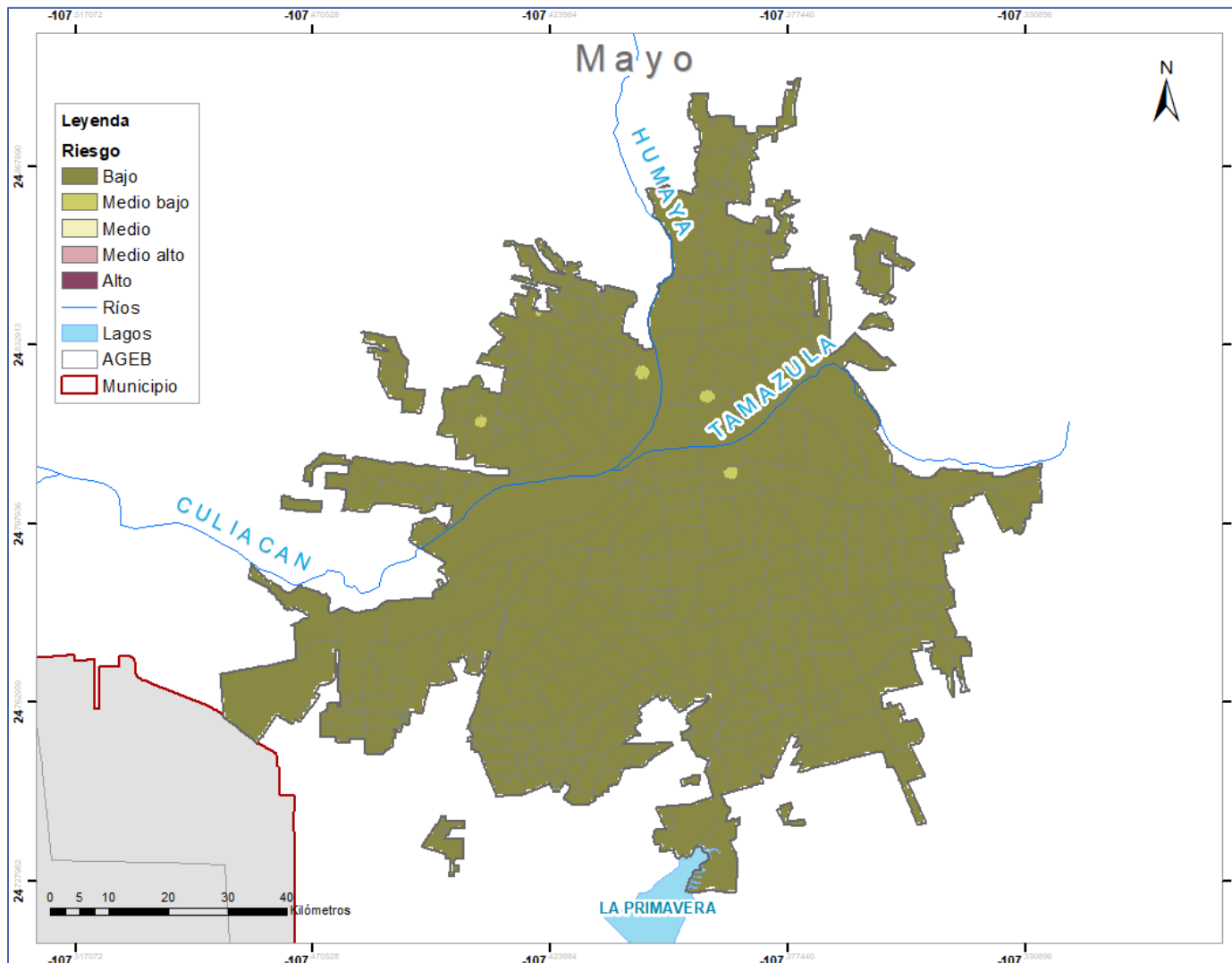


Fig. 176 Área de riesgo del mes de mayo del municipio Culiacán, Sinaloa.

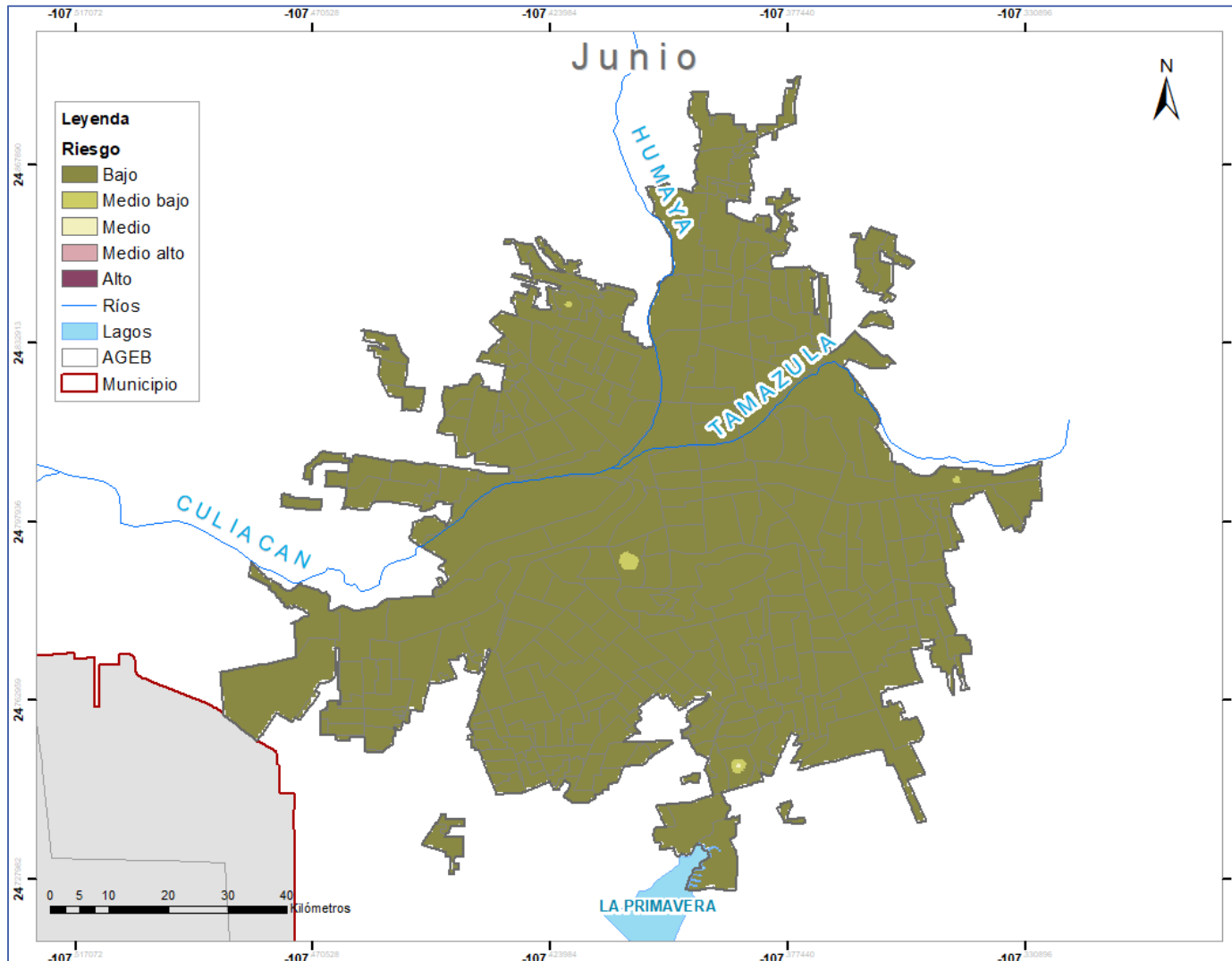


Fig. 177 Área de riesgo del mes de junio del municipio Culiacán, Sinaloa.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de las áreas de riesgo para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 178 a la Figura 183.

Para el mes de julio no se cuenta con áreas de riesgo.

Para el mes de agosto se observa que el área de riesgo es menor al 1%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo agosto tiene el 13%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en agosto se tiene menos del 1%.

Para el mes de septiembre se observa que el área de riesgo es del 4%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo septiembre tiene el 13%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en septiembre se tiene el 4%.

Para el mes de octubre se observa que el área de riesgo es del 53%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo octubre tiene el 27%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en octubre se tiene el 52%.

Para el mes de noviembre se observa que el área de riesgo es del 41%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo noviembre tiene el 31%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en enero se tiene el 37%.

Para el mes de diciembre se observa que el área de riesgo es del 2%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo diciembre tiene el 20%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en diciembre se tiene el 7%.

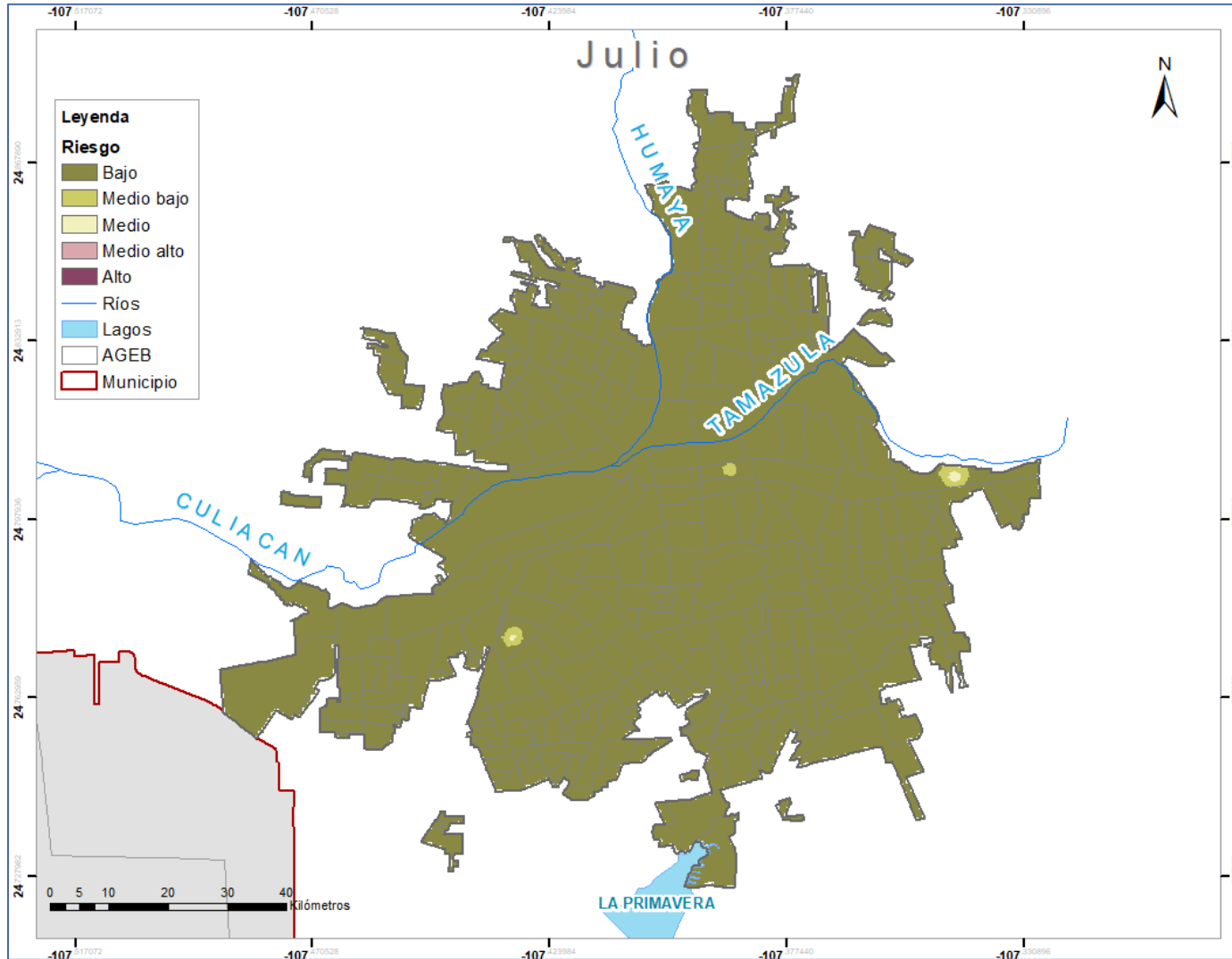


Fig. 178 Área de riesgo del mes de julio del municipio Culiacán, Sinaloa.

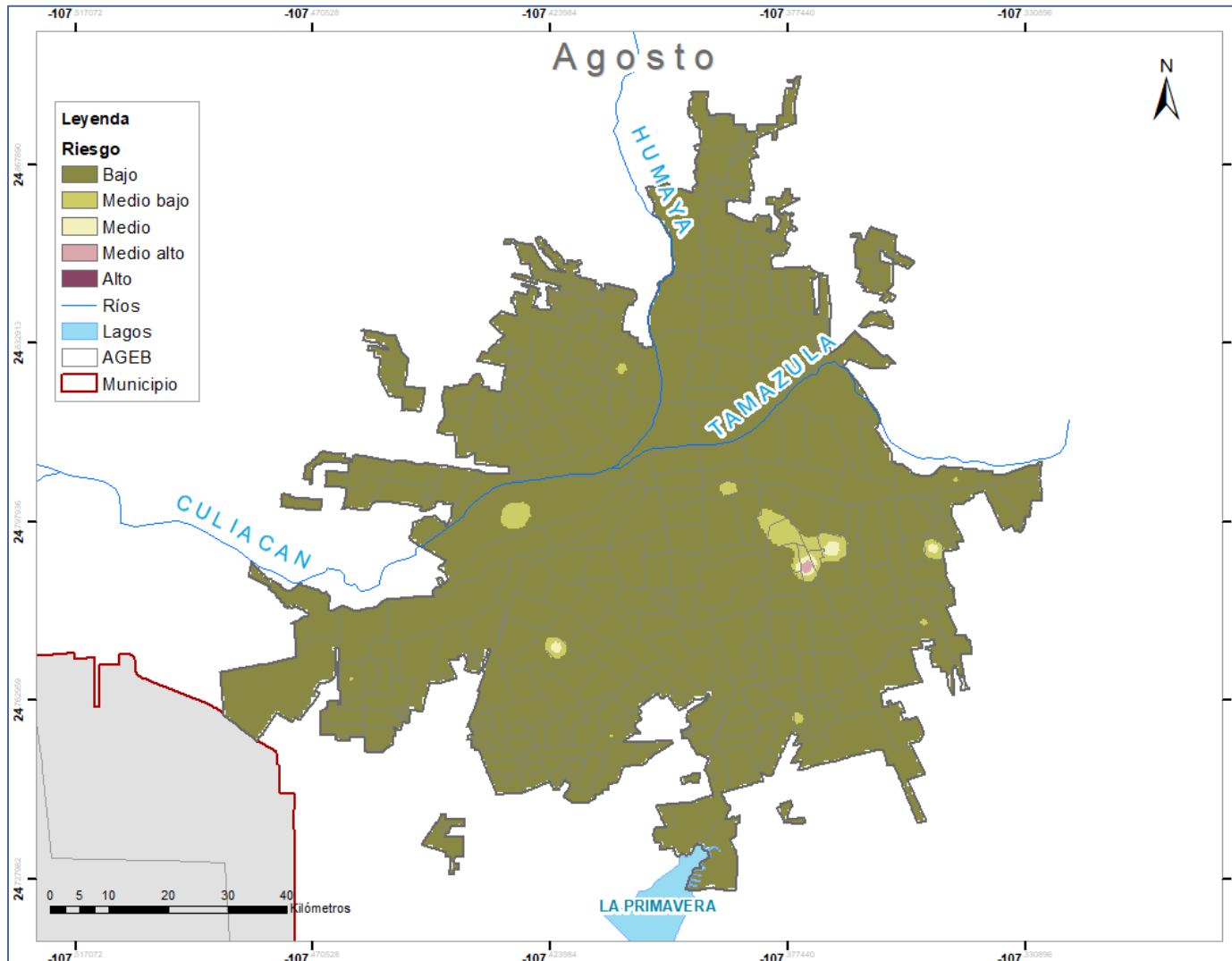


Fig. 179 Área de riesgo del mes de agosto del municipio Culiacán, Sinaloa.

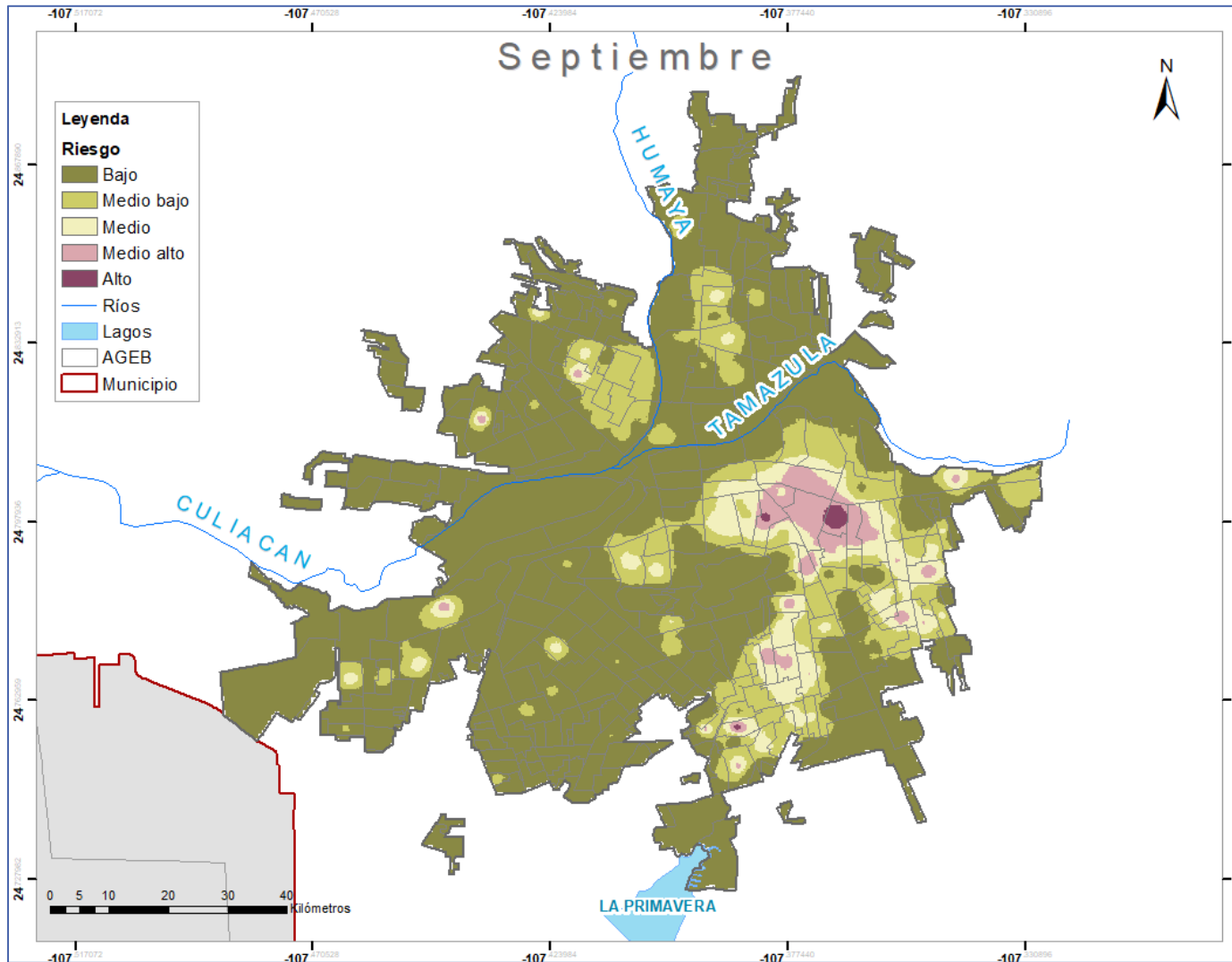


Fig. 180 Área de riesgo del mes de septiembre del municipio Culiacán, Sinaloa.

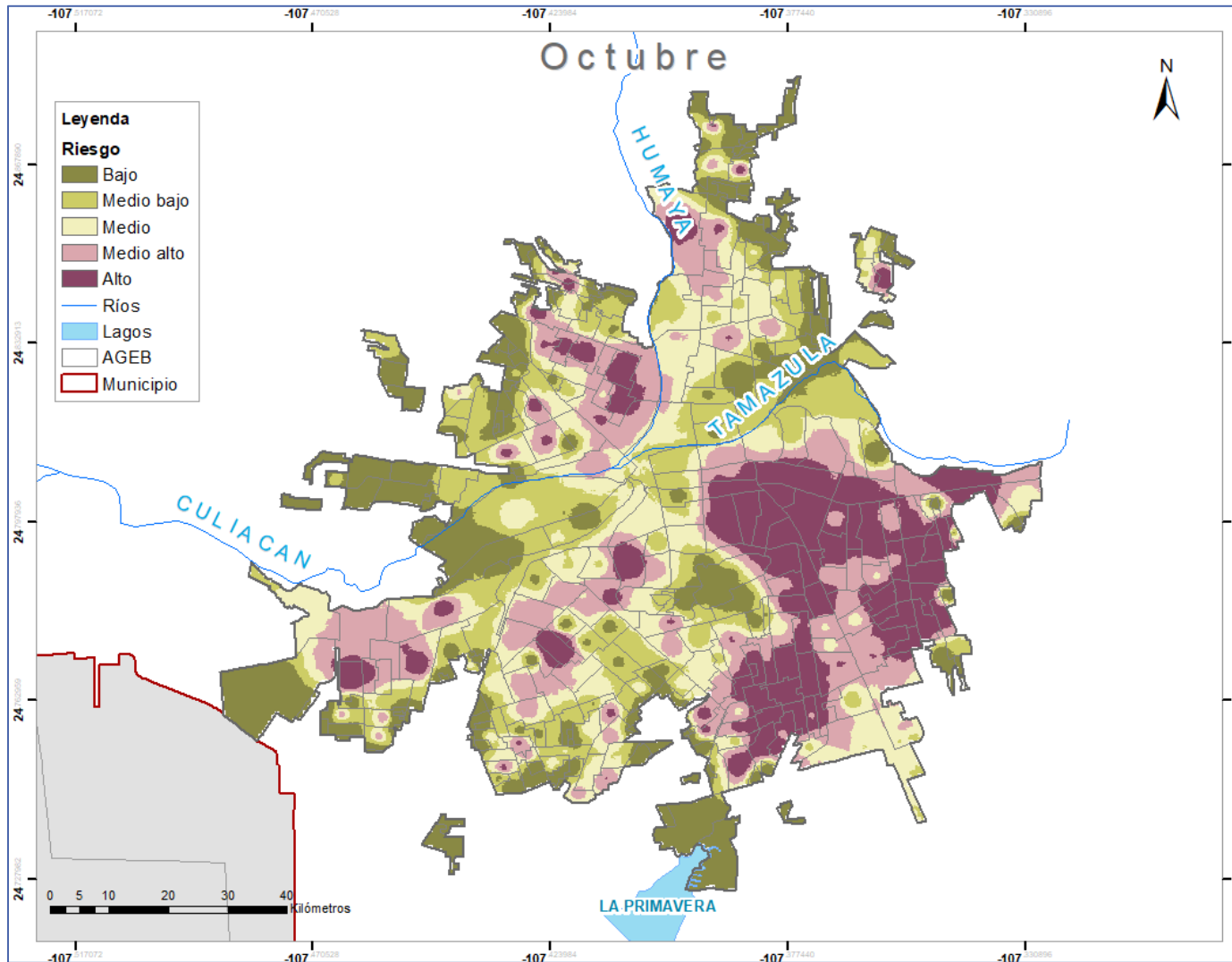


Fig. 181 Área de riesgo del mes de octubre del municipio Culiacán, Sinaloa.

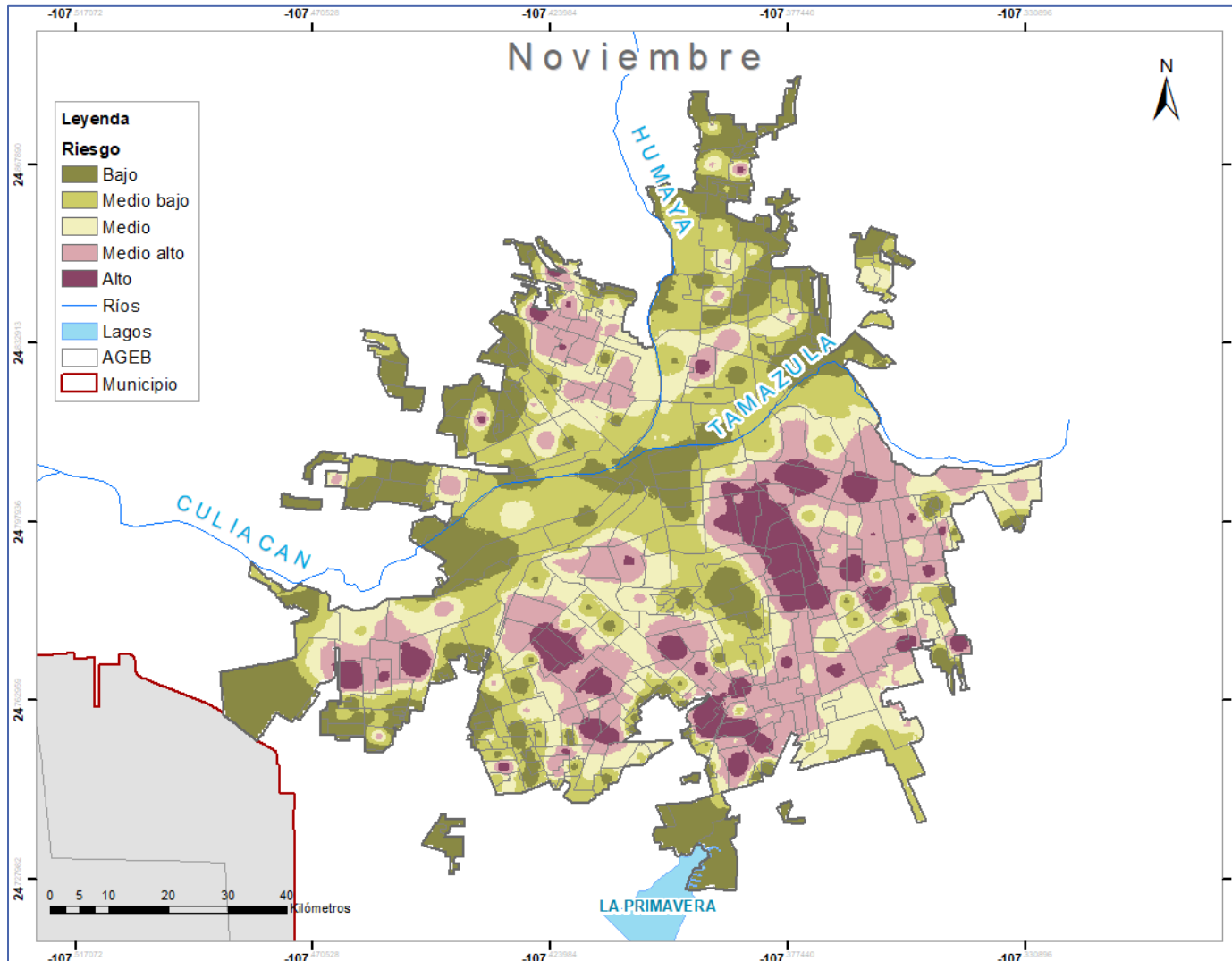


Fig. 182 Área de riesgo del mes de noviembre del municipio Culiacán, Sinaloa.

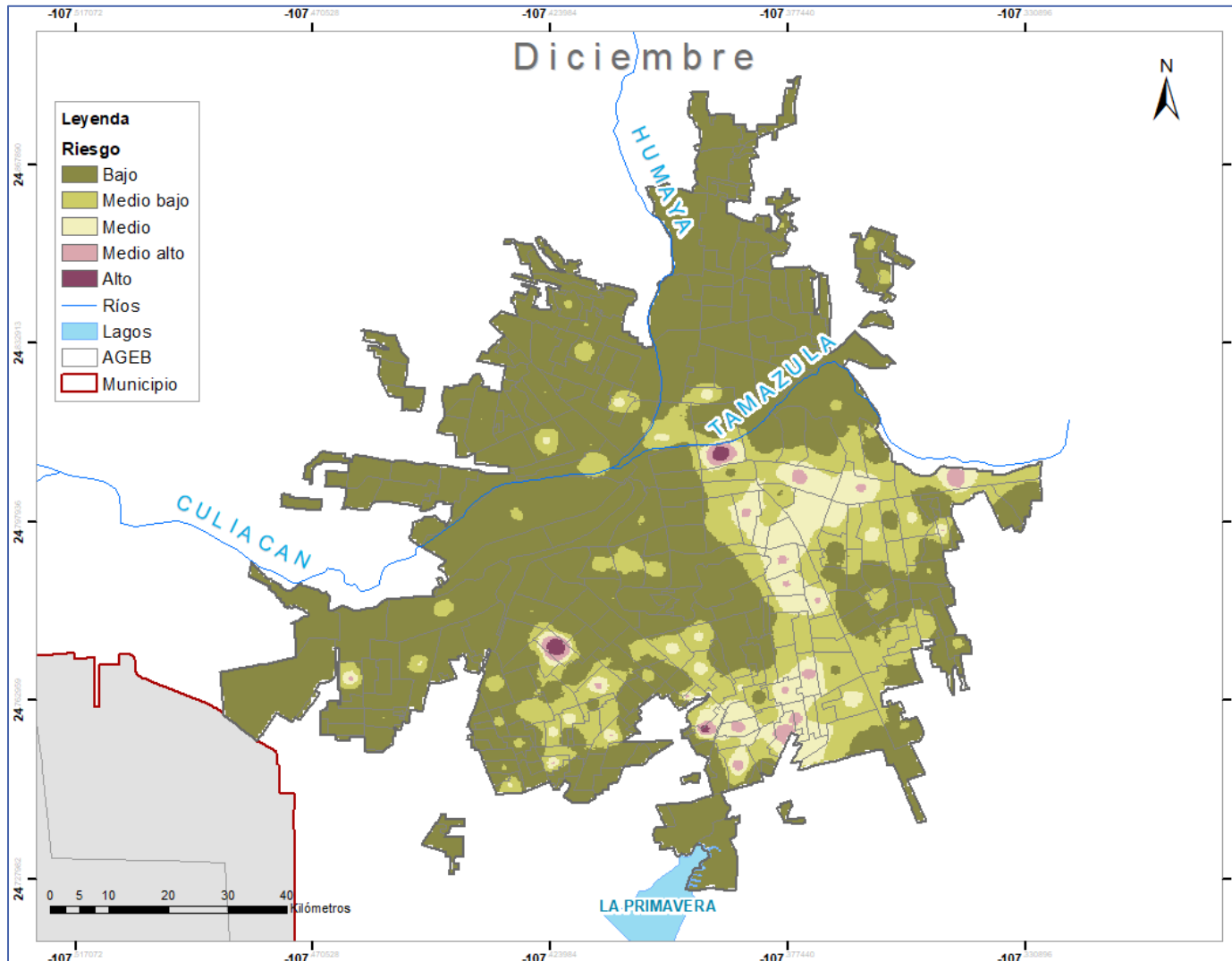


Fig. 183 Área de riesgo del mes de diciembre del municipio Culiacán, Sinaloa.

3.5.2 Municipio Centro, Tabasco

Para el municipio Centro, las AGEB que presentan áreas de riesgo es menor al 10% del total de AGEB del municipio, se cuenta con áreas de riesgo de transmisión de dengue en todos los meses del año.

Se realizaron mapas temáticos mensuales de las áreas de riesgo para este municipio. A continuación, se muestran los primeros 6 meses del año que abarcan de la Figura 184 a la Figura 189.

Para el mes de enero se observa que el área de riesgo es del 3%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo enero tiene el 9%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en enero es menor al 1%.

Para el mes de febrero se observa que el área de riesgo es del 3%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo febrero tiene el 5%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en febrero es menor al 1%.

Para el mes de marzo se observa que el área de riesgo es del 2%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo marzo tiene el 4%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en marzo es menor al 1%.

Para el mes de abril se observa que el área de riesgo para el mes de abril es del 2%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo abril tiene el 4%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en abril es menor al 1%.

Para el mes de mayo se observa que el área de riesgo es del 5%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo mayo tiene el 5%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en mayo es del 3%.

Para el mes de junio se observa que el área de riesgo es del 3%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo junio tiene el 11%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en junio es menor al 1%.

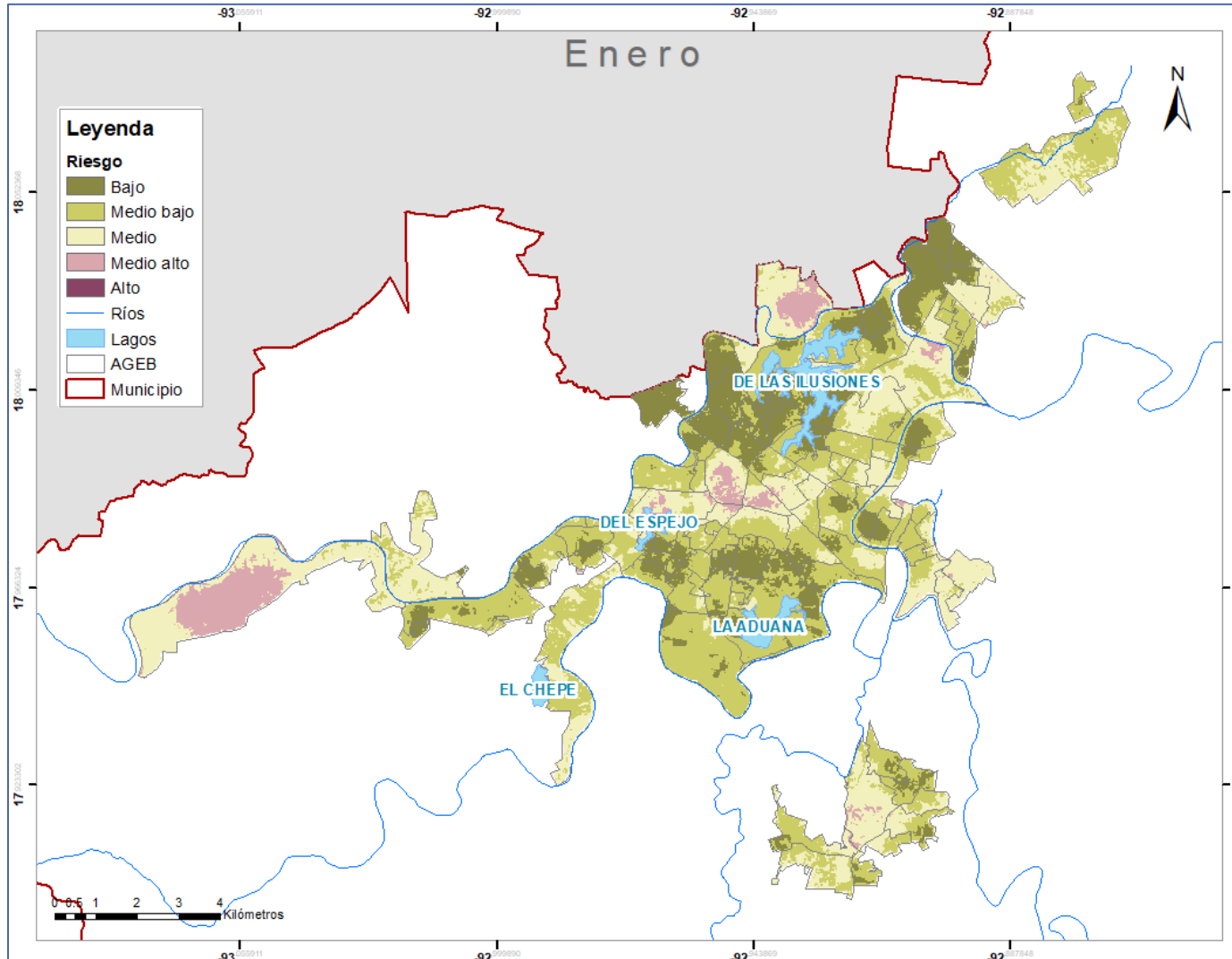


Fig. 184 Área de riesgo del mes de enero del municipio Centro, Tabasco.

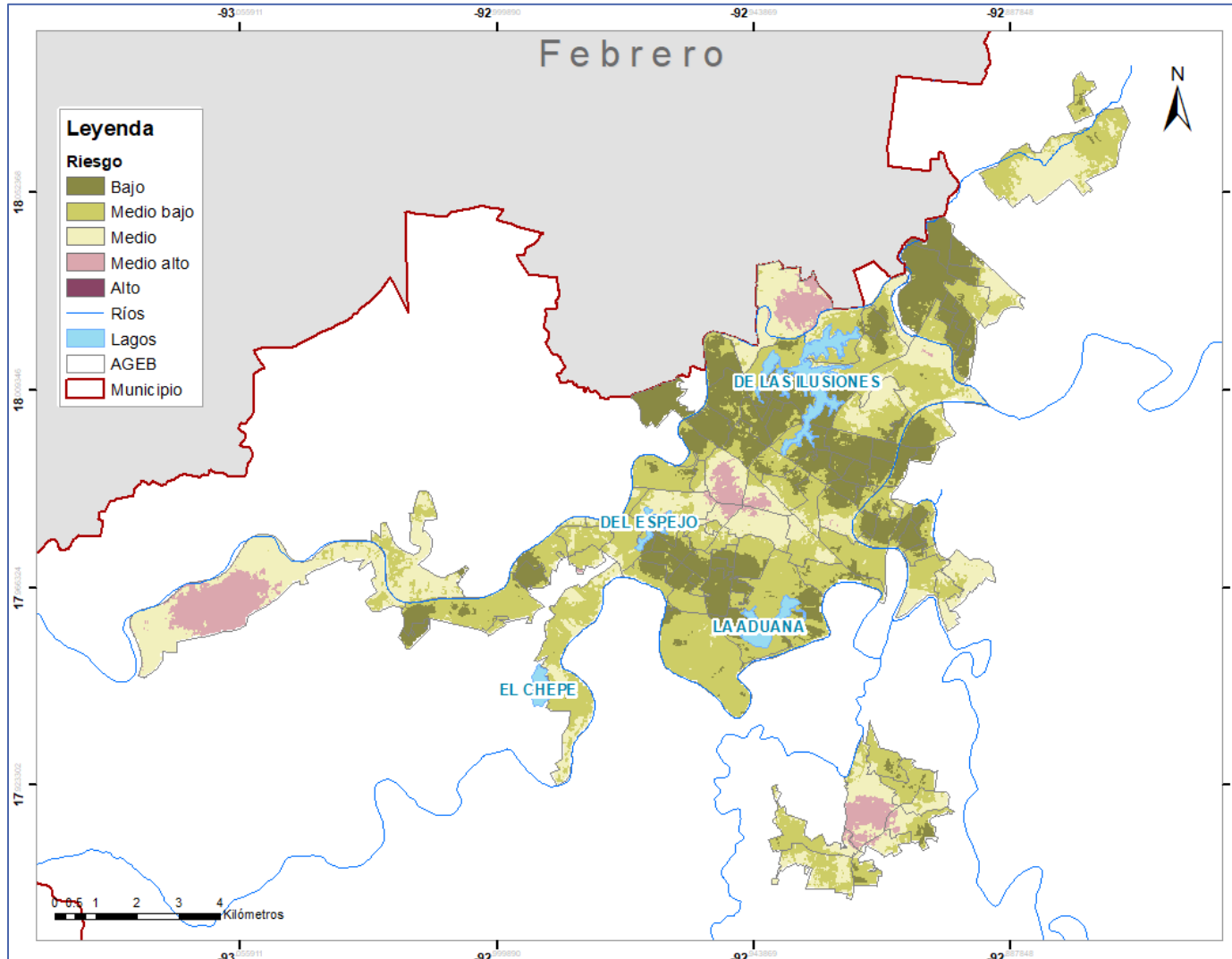


Fig. 185 Área de riesgo del mes de febrero del municipio Centro, Tabasco.

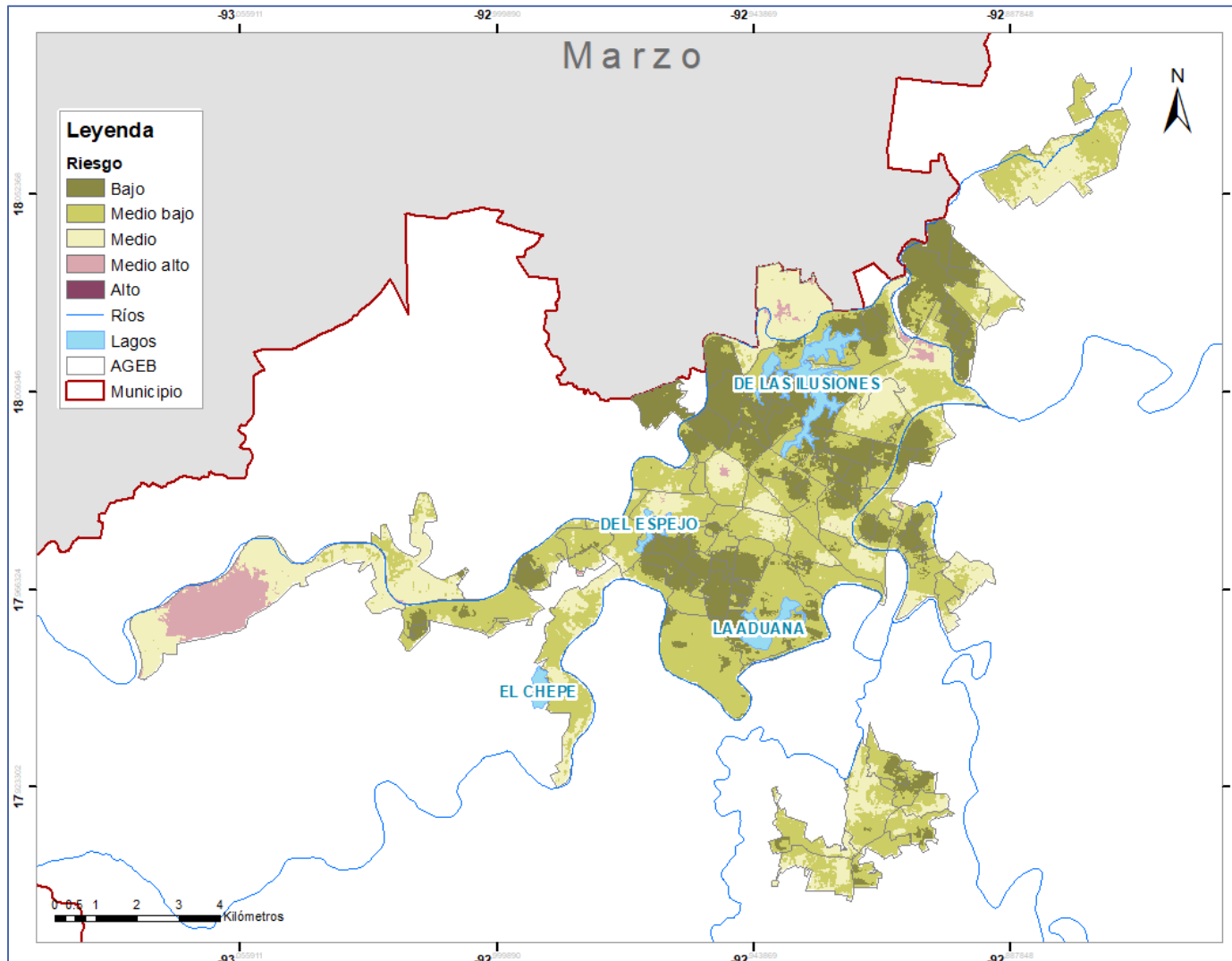


Fig. 186 Área de riesgo del mes de marzo del municipio Centro, Tabasco.

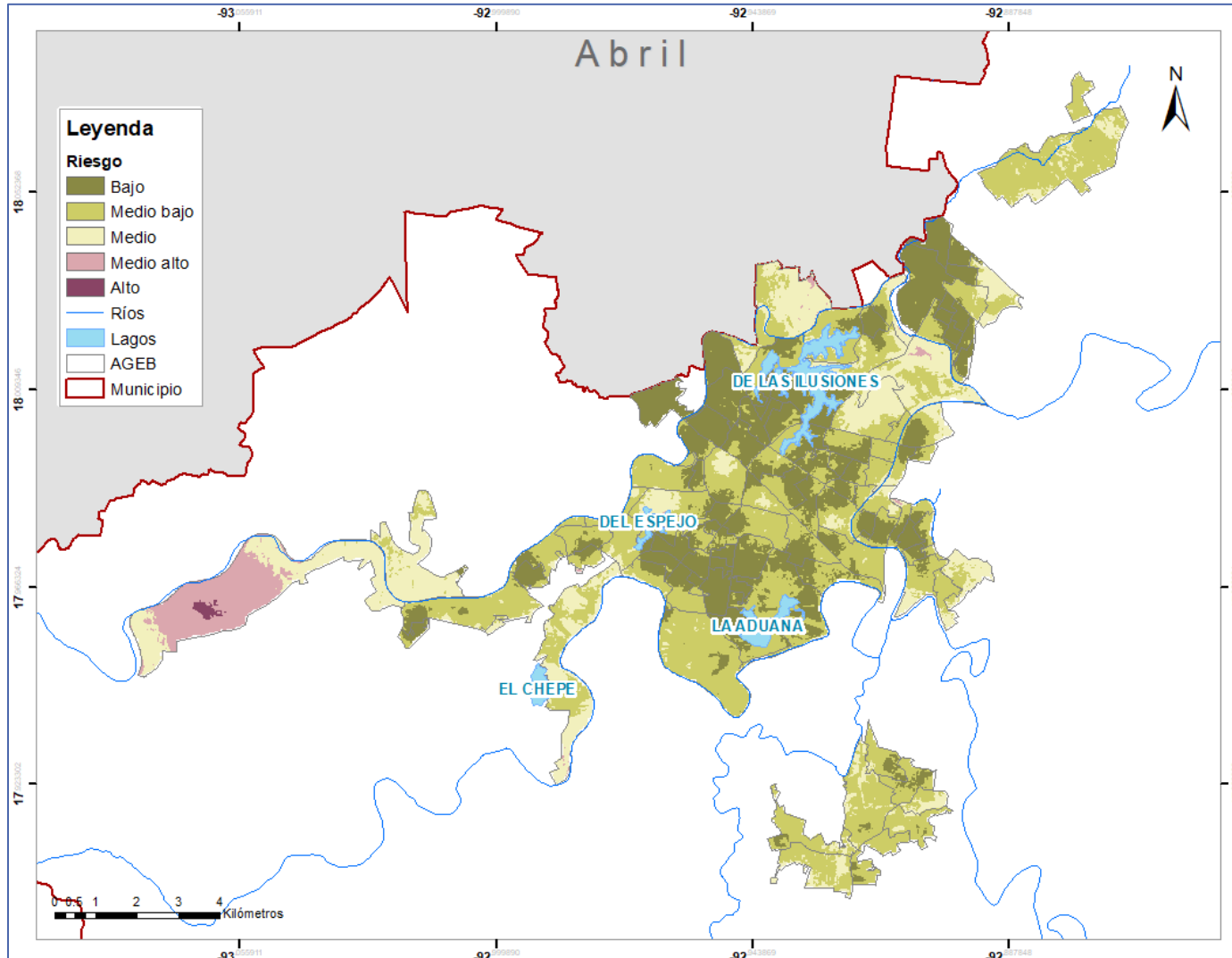


Fig. 187 Área de riesgo del mes de abril del municipio Centro, Tabasco.

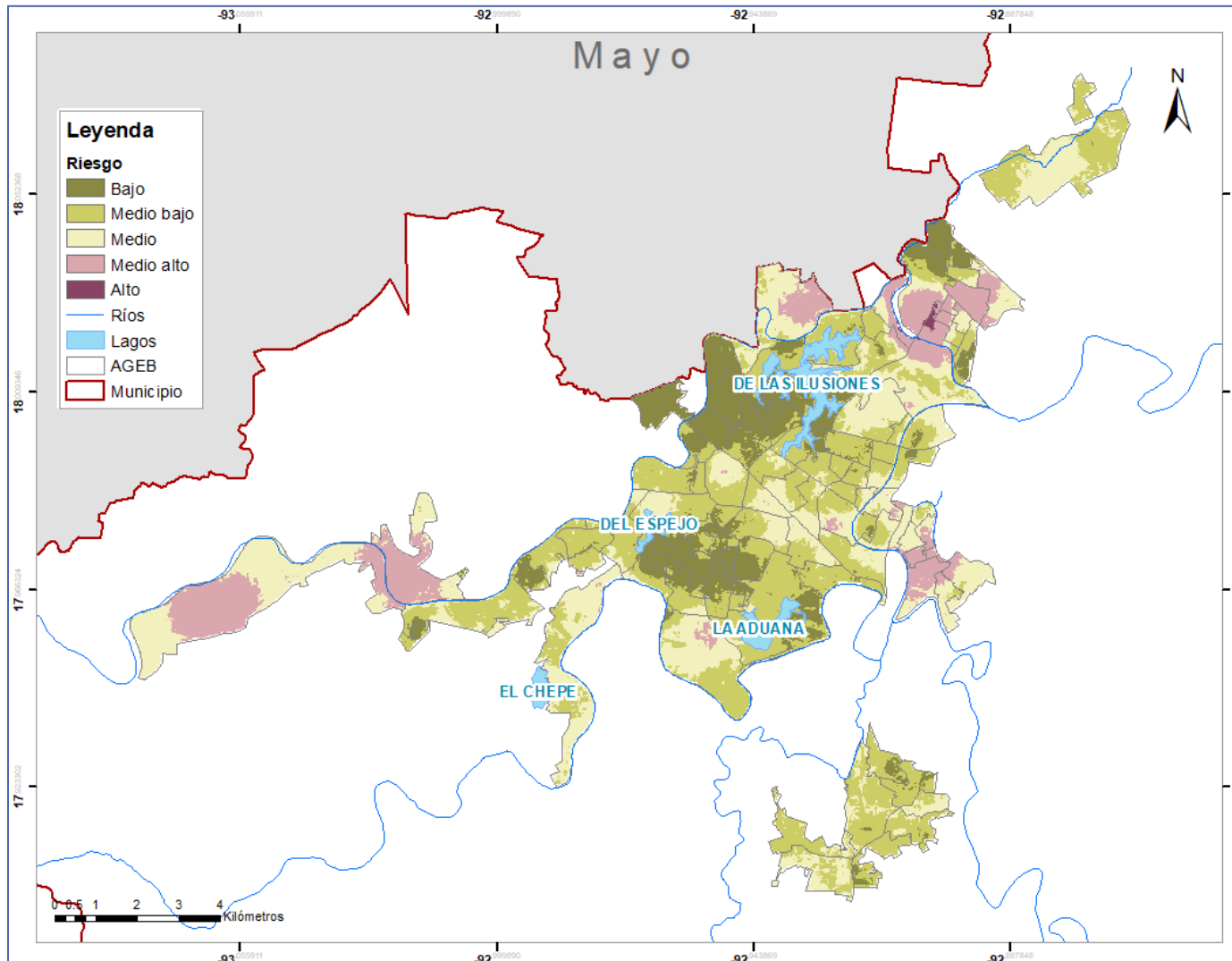


Fig. 188 Área de riesgo del mes de mayo del municipio Centro, Tabasco.

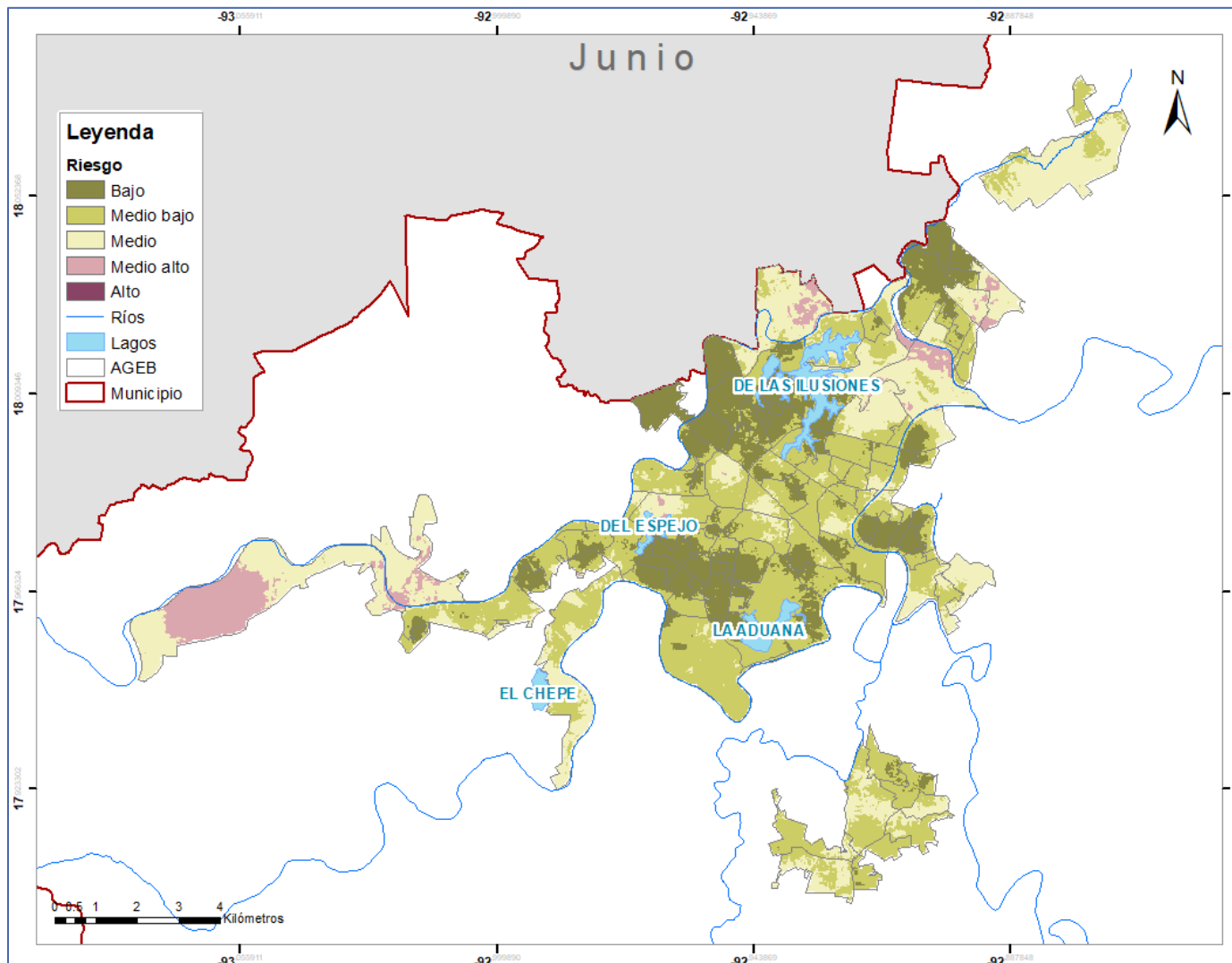


Fig. 189 Área de riesgo del mes de junio del municipio Centro, Tabasco.

A continuación, se muestran los mapas temáticos mensuales de las áreas de riesgo para este municipio de los últimos 6 meses del año que abarcan de la Figura 190 a la Figura 195.

Para el mes de julio se observa que el área de riesgo es del 7%. De la población total que se encuentra en las áreas de riesgo julio tiene el 13%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en julio es de 4%.

Para el mes de agosto se observa que el área de riesgo es del 18%. De la población total que se encuentra en las áreas de agosto julio tiene el 9%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en agosto es de 22%.

Para el mes de septiembre se observa que el área de riesgo es del 20%. De la población total que se encuentra en las áreas de septiembre julio tiene el 14%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en septiembre es de 27%.

Para el mes de octubre se observa que el área de riesgo es del 21%. De la población total que se encuentra en las áreas de octubre julio tiene el 7%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en octubre es de 25%.

Para el mes de noviembre se observa que el área de riesgo es del 12%. De la población total que se encuentra en las áreas de noviembre julio tiene el 11%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en noviembre es de 13%.

Para el mes de diciembre se observa que el área de riesgo es del 5%. De la población total que se encuentra en las áreas de diciembre julio tiene el 9%. Del total de casos que se encuentra registrados en las áreas de riesgo en diciembre es de 3%.

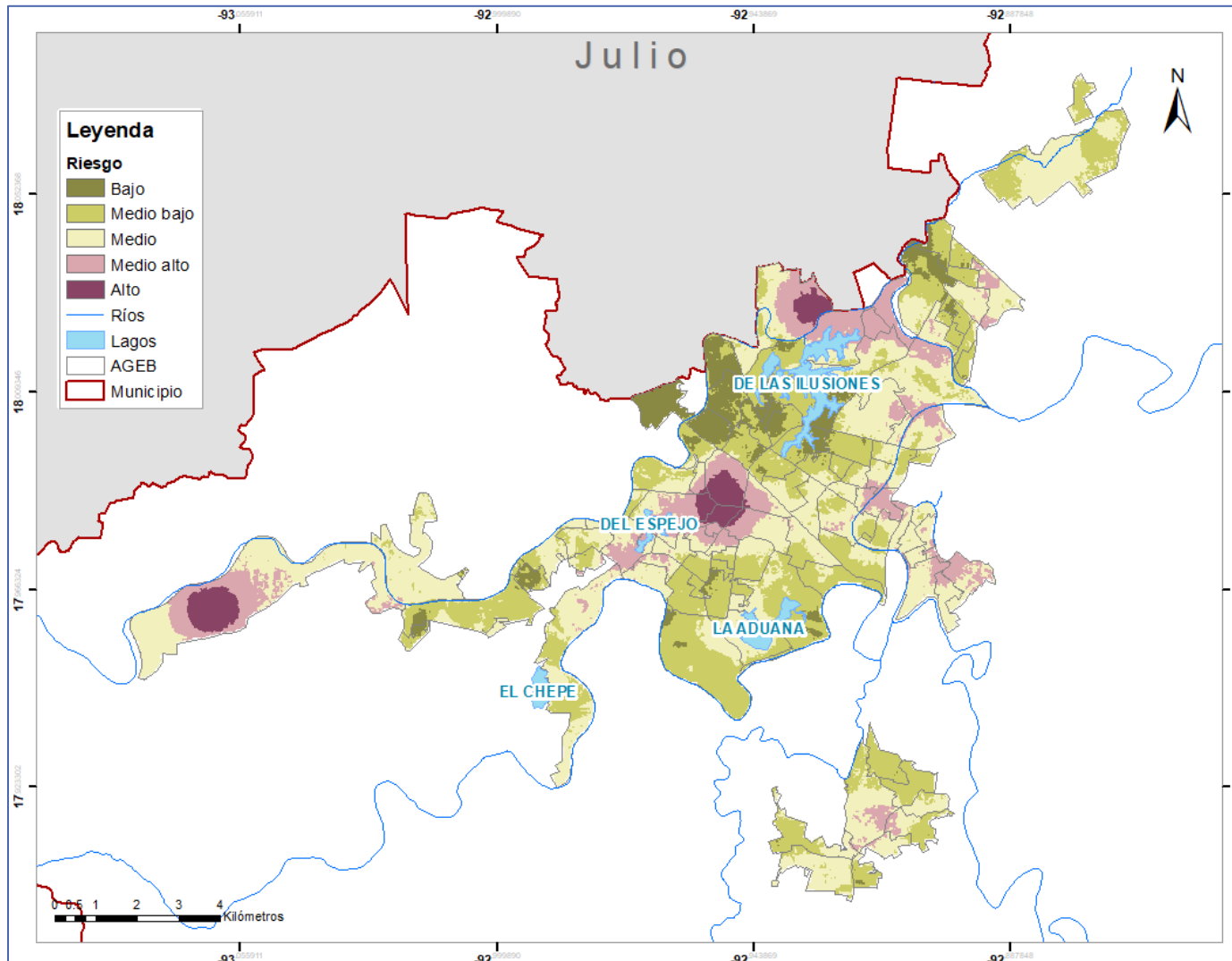


Fig. 190 Área de riesgo del mes de julio del municipio Centro, Tabasco.

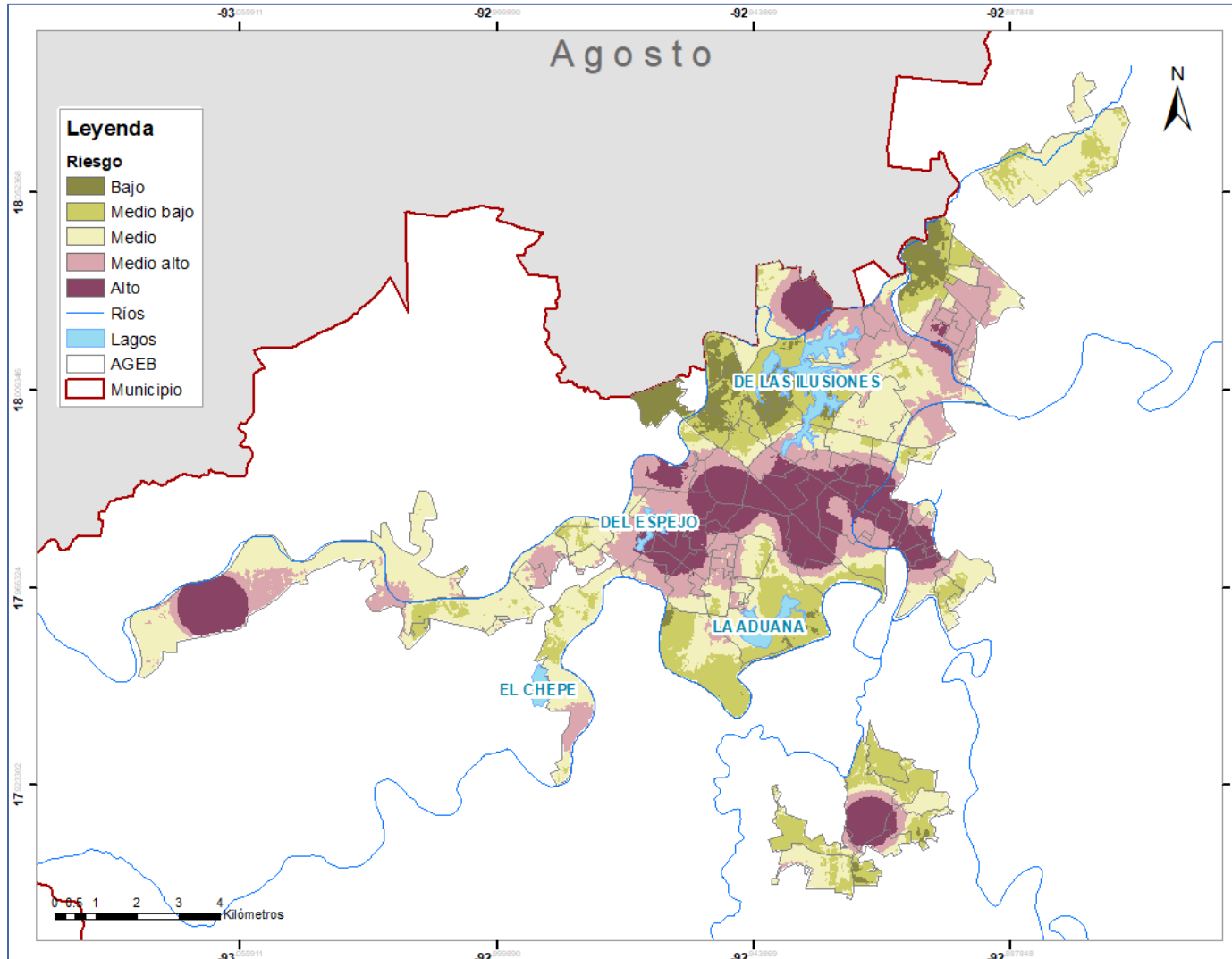


Fig. 191 Área de riesgo del mes de agosto del municipio Centro, Tabasco.

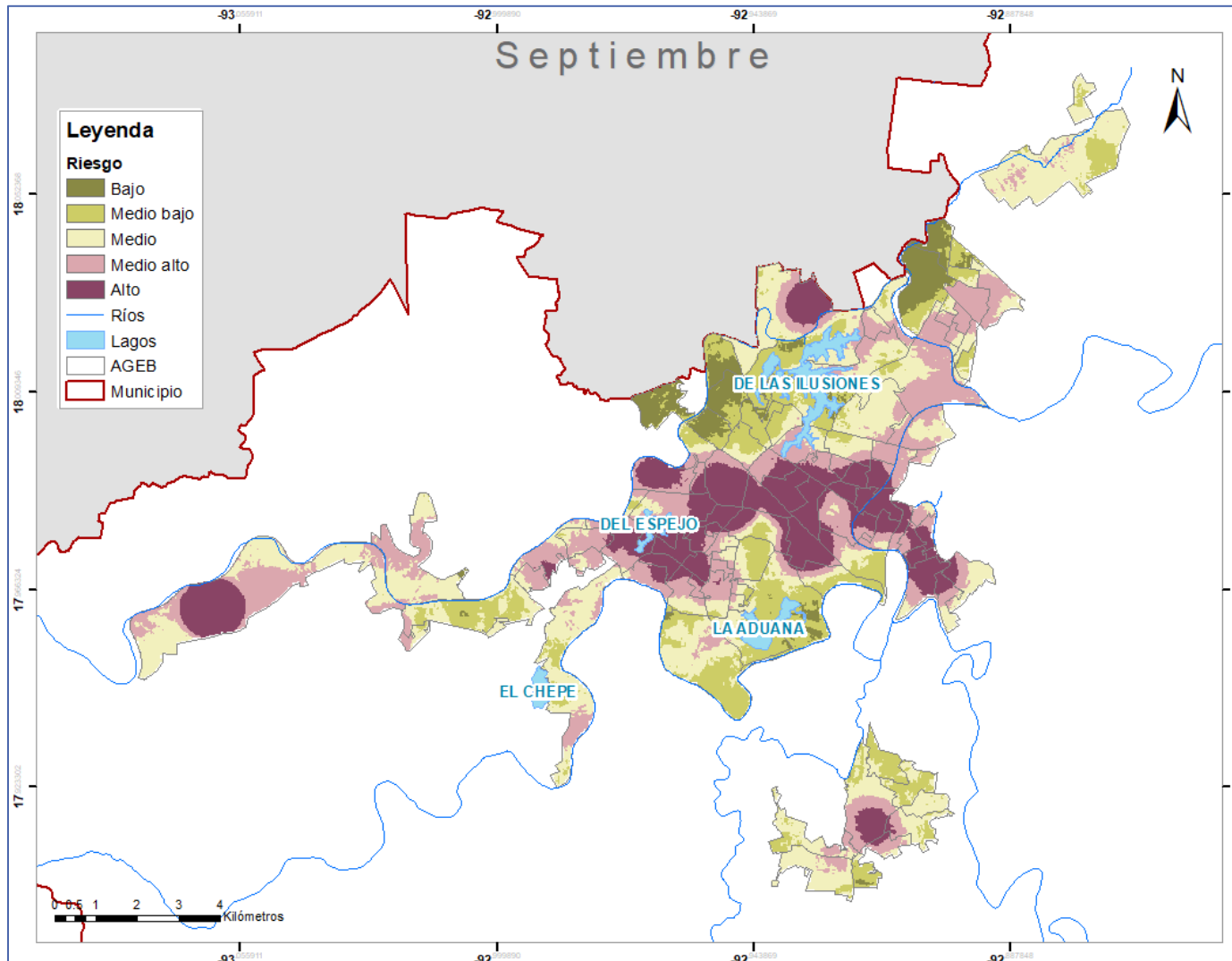


Fig. 192 Área de riesgo del mes de septiembre del municipio Centro, Tabasco.

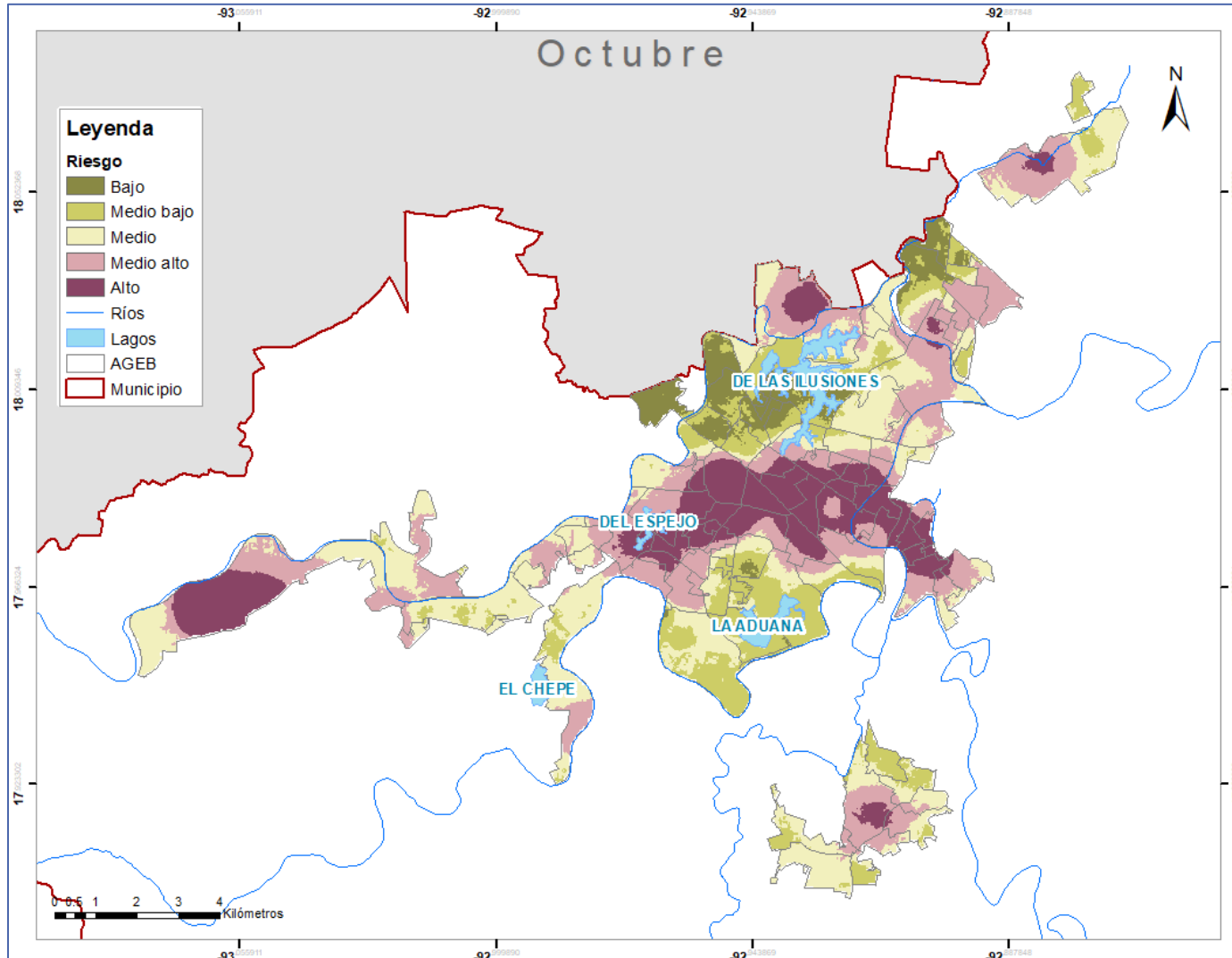


Fig. 193 Área de riesgo del mes de octubre del municipio Centro, Tabasco.

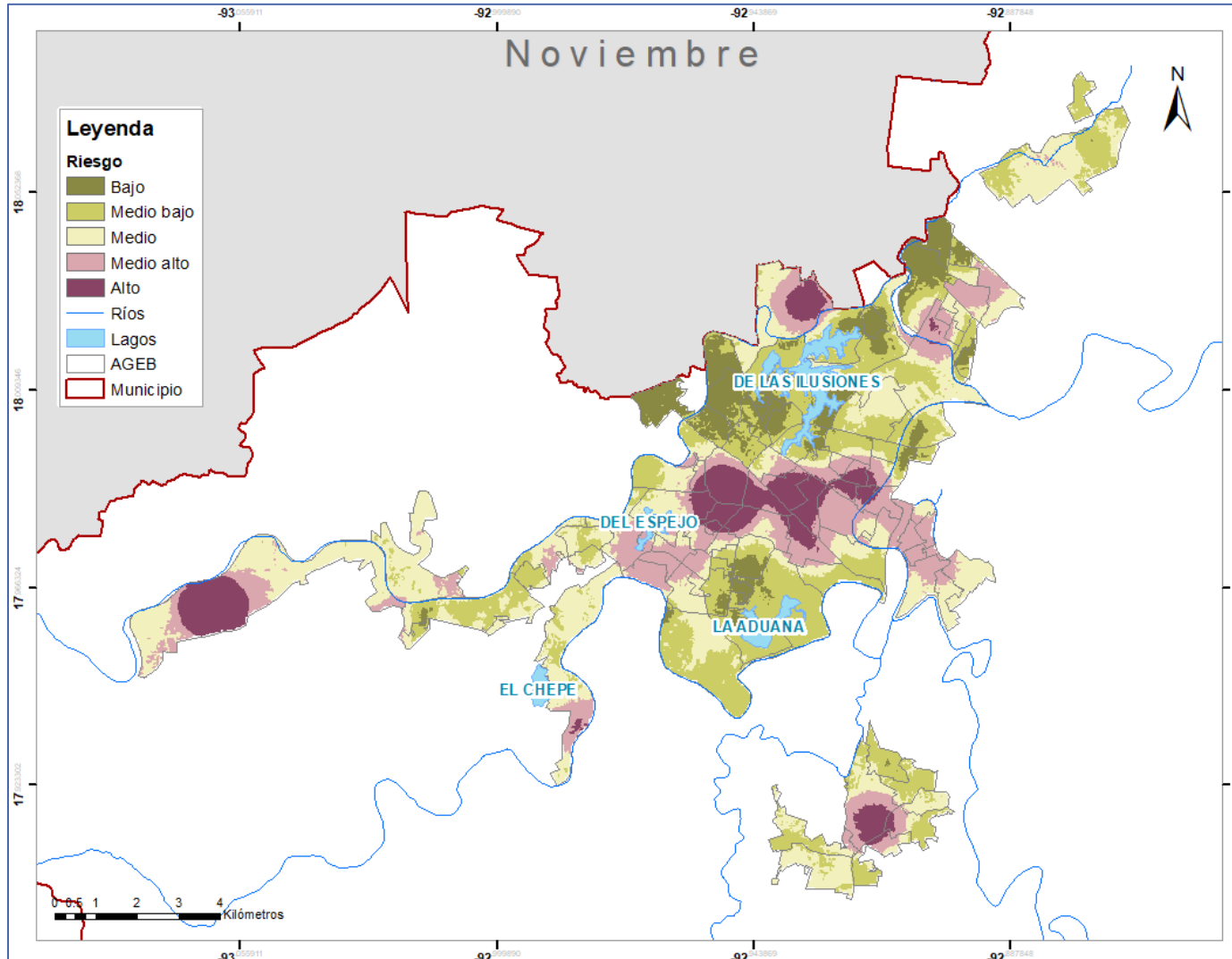


Fig. 194 Área de riesgo del mes de noviembre del municipio Centro, Tabasco.

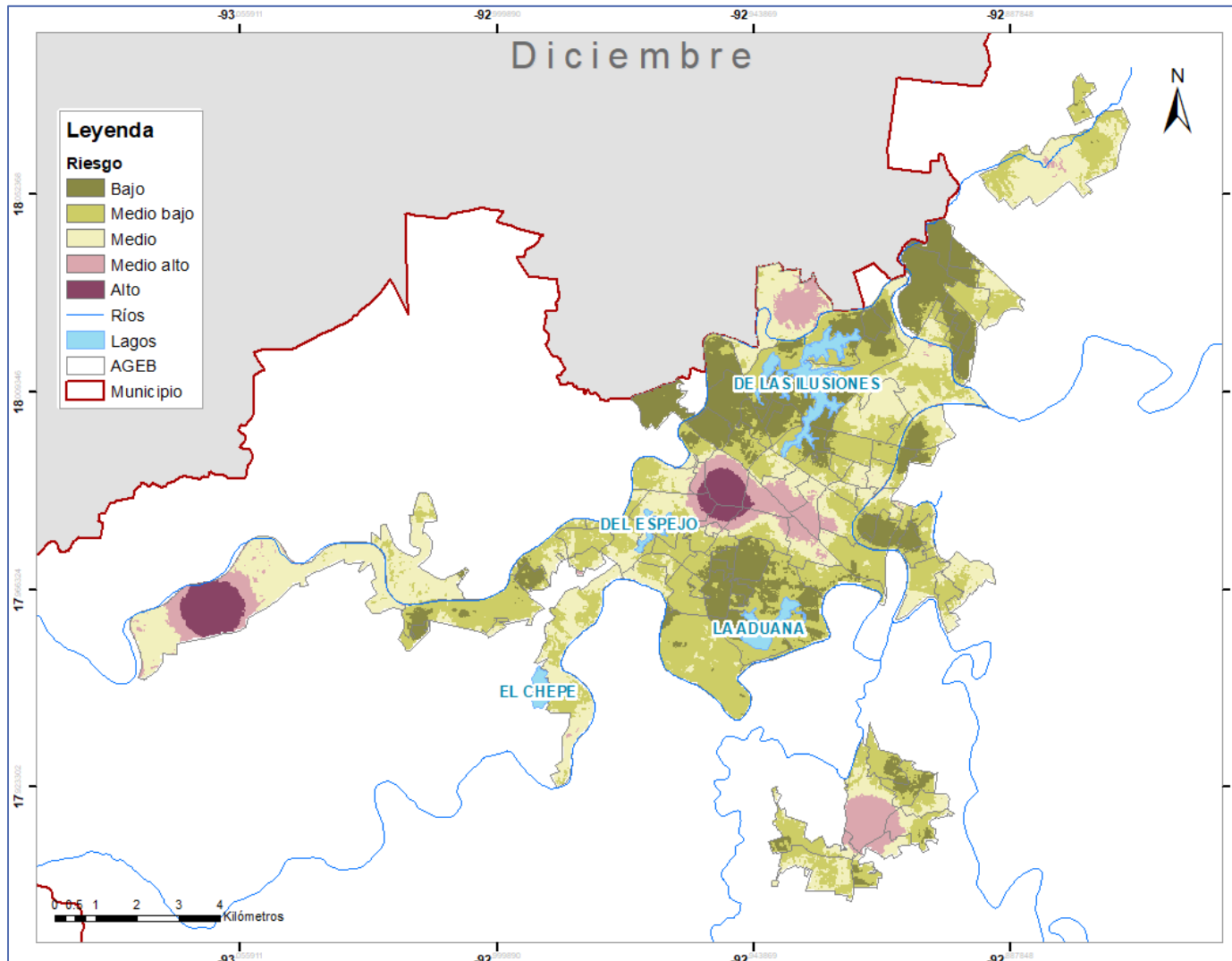


Fig. 195 Área de riesgo del mes de diciembre del municipio Centro, Tabasco.

3.6 Discusión

Se han utilizado muchas técnicas diferentes para estudiar el problema del dengue en México y en el mundo, sin embargo, hoy en día sigue siendo un problema sin resolver. El dengue es un problema de salud pública de carácter multifactorial, la identificación de los factores que influyen en la incidencia del dengue es un problema que depende de las características de cada área o región.

La utilización de técnicas de percepción remota aplicadas para problemas de salud en el área de la salud pública ha sido poco explorada. Esto lo demuestra un estudio realizado en Colombia donde tras una revisión sistemática encontraron que, aunque el uso de estas herramientas en investigación de enfermedades transmitidas por vectores se ha incrementado en los últimos años, su aplicación en los programas oficiales de control ha sido limitada (G., 2010). Aunque la percepción remota no ha sido explotada en México, si ha habido intentos como el de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) que utiliza el NDVI para la vigilancia epidemiológica fitosanitaria (LaNGIF, 2010).

Al hablar de las variables sociales que se consideraron en el estudio como el porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento y la densidad de población estas aportan a las áreas de riesgo un 5% cada una para el municipio Centro, sin embargo, estas mismas variables para el municipio Culiacán no fueron significativas. Por otra parte, la variable de densidad de población, aunque aporta muy poco a las áreas de riesgo si fue significativa con el 3% y 5% para el municipio Culiacán y Centro respectivamente. Esto coincide con el estudio realizado en Anzoátegui, Venezuela donde, como resultado de un análisis de los factores de riesgo asociados en los casos de infección por dengue no se encontró asociación con variables socioeconómicas con excepción del bajo nivel de conocimiento en la población acerca de la enfermedad (Antulio Hoyos Rivera, 2011).

Se estudió la probabilidad de incluir la variable de viviendas con agua entubada debido a que esto puede generar vertederos para los mosquitos, pero no se encontró ninguna correlación con dicha variable. Esto a pesar de que en un estudio realizado por Peña et al. donde se encontró que la protección de fuentes de abastecimiento de agua en las viviendas tendió a ser de regular a mala y existieron áreas con presencia de vertederos y micro-vertederos (Yissel Peña León, 2021).

En este estudio se trabajó con la variable altitud que fue significativa para el municipio Culiacán y que aporta el 6% para la generación de áreas de riesgo, esto a pesar de que en el área de estudio no se encontró variabilidad. Sin embargo, es importante tomar en cuenta esta variable dado que

hay áreas donde esta variable tiene gran impacto en la proliferación del mosquito transmisor del dengue. Además de que con el tiempo el mosquito ha aprendido a adaptarse a nuevas condiciones como en el brote epidémico en el estado de Querétaro donde se confirmó que el *Aedes aegypti* se ha adaptado a mayores alturas (García-Gutiérrez MR, 2013). Esta variable no fue significativa para el municipio Centro.

Estudios previos muestran que existe una fuerte relación entre las lluvias y la transmisión del dengue. Por ejemplo, Pathirana (2009) encontró que los brotes de dengue estaban estrechamente relacionados con los períodos posteriores a la lluvia, alrededor de dos semanas después de una lluvia importante. Para el municipio de Culiacán Sinaloa, los índices de vegetación y humedad de diferencia normalizada no fueron significativos. Sin embargo, al observar el comportamiento del NDMI con respecto del incremento de casos se notan desfasados por tres meses, es decir, que primero se incrementa la humedad resultado de las lluvias que inician en julio y posteriormente se incrementan los casos. Este fenómeno ya ha sido identificado en otros estudios como el realizado en Medellín Colombia, donde encontraron que la precipitación es estadísticamente significativa con la incidencia del dengue con un rezago de 20 semanas (Guillermo L. Rúa-Urbe, 2013). En otro estudio realizado en Anzoátegui, Venezuela se encontró que, en promedio, la mayor casuística de dengue ocurre dos meses después de ocurrido el pico de precipitación (Yasmin Rubio-Palis, 2011).

Para el municipio Centro el NDVI aporta el 26% a la determinación de áreas de riesgo de transmisión de dengue. Así mismo el NDMI es la variable más importante aportando el 58% a las áreas de riesgo para este municipio, esto derivado de la constante humedad a través del año.

Para el municipio Culiacán la variable de huevos por ovitrampa positiva aporta el 18% a nuestras áreas de riesgo, sin embargo, para el municipio Centro esta variable no fue significativa. En Culiacán, el comportamiento de esta variable es estacional y concuerda con la temporada de lluvias, esto es debido a que en el área de estudio la temporada de lluvias es muy marcada, algo que para el municipio Centro no es así. Un estudio identificó que la lluvia constante durante todo el año que produce la humedad constante, no tiene una asociación con el vector, esto debido a que no hay fluctuación, es decir, no se tiene ningún patrón estacional definido (Thomas W. Scott, 2000).

En este estudio se utilizó el LST como variable de temperatura. En nuestro estudio la temperatura es una de las variables más importante para la determinación de áreas de riesgo en el municipio Culiacán con el 29%, sin embargo, para el municipio Centro esta variable no fue significativa. Según

lo reportado en la literatura la temperatura adecuada para la proliferación del mosquito transmisor del dengue va de 15 a 40°C (Icaza, 2010). La temperatura media de Culiacán se encuentra dentro de este rango con excepción de los meses de abril a julio donde la media puede llegar hasta los 48.9°C y que corresponde a la temporada de sequía. Cuando la temperatura se eleva la humedad disminuye y viceversa. Marques (2019) reporta que la temperatura es una variable que influye sobre el mosquito *Aedes*, desde su desarrollo hasta la relación con el virus, lo que hace que sea la variable climática más importante. La temporada de lluvias para Culiacán tiene una estacionalidad muy marcada y es cuando el incremento de casos se da. Esto ya se ha comprobado en otros estudios como el de Barrera (2011) que encontró que la población de *Aedes aegypti* fue impulsada por el clima y las actividades humanas, y los picos en la densidad de mosquitos precedieron a la incidencia máxima del dengue durante la temporada de lluvias.

La variable de densidad de casos aporta a las áreas de riesgo un 33% y 5% para el municipio de Culiacán y Centro respectivamente. Esta es la variable que más aporta a las áreas de riesgo del municipio Culiacán. Los casos probables son determinantes en la transmisión del dengue dado que en conjunto con el vector son potencialmente propicios para la aparición de brotes por dengue. Los casos que aparecen en áreas con el vector son una razón importante para la vigilancia de esta enfermedad, eso lo saben en España, donde el virus no circula actualmente, pero la llegada constante de personas infectadas procedentes de países endémicos es un riesgo constante. Además, múltiples estudios en México y el mundo que estudian el dengue, incluyen los casos probables o confirmados como otra variable de riesgo (C, 2022).

La determinación de áreas de riesgo a nivel de microrregión es de gran utilidad en el combate contra el dengue. Esto debido a que cada lugar cuenta con características particulares en donde las acciones de las autoridades deben de ir de acuerdo a las condiciones de cada región. Esto coincide con otro estudio realizado en la ciudad de Manta, Ecuador donde identificaron que el análisis de variables asociadas a la transmisión de dengue, considerando las relaciones con el espacio y teniendo como unidad de análisis los barrios, permitió la identificación de barrios con mayor riesgo de transmisión, con el fin de diseñar estrategias focalizadas que consideren los datos entomológicos y demográficos propios de cada barrio (Montalvo, 2022).

En Perú, se demostró que los barrios tienen un mayor nivel de estabilidad como unidades de riesgo de transmisión más que los hogares individuales (LaCon G, 2014). Derivado de estos estudios se confirma que es más adecuada una estrategia a este nivel de AGEB que a nivel más general como

los municipios o más particular como las viviendas. Es por ello que se está produciendo un cambio de paradigma y ha surgido una nueva estrategia que utiliza la estratificación del riesgo a nivel de ciudad para concentrar esfuerzos proactivos y sostenidos en áreas con alto riesgo de transmisión (Vanlerberghe V, 2017).

3.7 Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo construir un modelo espacial que permita la identificación de áreas de riesgo alto de transmisión de dengue usando variables ambientales, sociales, entomológicas y epidemiológicas a nivel microrregión en dos municipios con transmisión de dengue utilizando imágenes satelitales Landsat 8. Se definieron las variables a incorporar en este trabajo, esto conforme a lo reportado en la bibliografía. Se utilizó la Geomática para generar capas de datos espaciales para el análisis del estudio. Se generó información del LST, NDVI y NDMI de imágenes satelitales Landsat 8 a través de técnicas de percepción remota. Estas variables junto con la altitud, densidad de población, hacinamiento, densidad de huevos por ovitrampa positiva y casos probables de dengue fueron analizadas estadísticamente para generar áreas de riesgo de transmisión. Las variables del NDVI, NDMI y hacinamiento no fueron significativas para el registro de casos en Culiacán, sin embargo, las variables del LST, huevos por ovitrampa positiva, densidad de casos, altitud y densidad de población si lo fueron. Para el municipio Centro las variables significativas fueron el NDVI, NDMI, huevos por ovitrampa positiva, hacinamiento y densidad de población. Se generaron mapas de riesgo de transmisión para el municipio Culiacán Sinaloa y el municipio Centro Tabasco con las variables significativas para cada área de estudio. Las áreas de riesgo de transmisión de dengue se clasificaron en 5 estratos de acuerdo con el método de quintiles quedando como 1 Alto, 2 Medio alto, 3 Medio, 4 Medio bajo y 5 Bajo.

A partir del modelo espacial definido se encontró que el mes con mayor población que vive en áreas de riesgo medio alto y alto de transmisión fue noviembre con el 46% y septiembre 14% para el municipio Culiacán y Centro respectivamente. Sin embargo, el mes donde el área de riesgo medio alto y alto de transmisión en m² fue mayor es octubre para ambos municipios con el 67% y 21% para el municipio Culiacán y Centro respectivamente.

Además, en este trabajo se ha demostrado que el riesgo de transmisión de dengue depende de la distribución espacial de distintos factores ambientales, sociales, entomológicos y epidemiológicos en cada área de estudio y a un nivel de micro región.

Una de las complejidades del dengue es que varía en cada área, no es posible generalizar las acciones o la vigilancia de la misma forma en todo el territorio, en su lugar es necesario conocer detalladamente las condiciones de cada región.

Las variables que intervienen en la transmisión del dengue se comportan de forma distinta dependiente del área de estudio, por lo tanto, no se debería generalizar las acciones de control.

La inclusión de técnicas de percepción remota en el programa de vigilancia y control del dengue podría dar una nueva visión de las áreas de oportunidad en la prevención y control del dengue y con esto apoyar en resolver un problema de salud pública.

Referencias bibliográficas

- ArcGIS. (03 de 11 de 2022). *Cómo funciona IDW*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-idw-works.htm>
- Antulio Hoyos Rivera, A. P. (2011). Factores de riesgos asociados a la infección por dengue en San Mateo, Anzoátegui, Venezuela. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 27(3). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252011000300009&lng=es&tIng=es
- ArcGIS. (03 de 11 de 2022). *Densidad kernel (Spatial Analyst)*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/kernel-density.htm>
- Ariza, A. (2013). *Descripción y corrección de productos landsat 8 LDCM*.
- Banu, S. B. (2014). Projecting the impact of climate change on dengue transmission in Dhaka, Bangladesh. *Environment International*, 63, 137-142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.002>
- Barcellos C, B. G. (2018). Geografía de la salud: bases y actualidad. (U. N. Lanús, Ed.) *Salud Colectiva*, 1. doi:10.18294/sc.2018.1763
- Barrera R, A. M. (20 de 12 de 2011). Population dynamics of *Aedes aegypti* and dengue as influenced by weather and human behavior in San Juan, Puerto Rico. (U. U. Michael J. Turell, Ed.) *PLoS Negl Trop Dis*, 5(12), 9. doi:10.1371
- C, C.-E. A.-L.-R.-A. (2022). Spatiotemporal patterns of dengue and Zika incidence during the 2015-2018 outbreak of Zika in Mexico. *Salud Pública de México*, 64, 478-487. Obtenido de <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/13584>
- Camilo H. Rotela, M. O. (2010). Desarrollo de mapas predictivos de densidad focal de *aedes aegypti* en la ciudad de Puerto Iguazú (Argentina), basados en información ambiental derivada de imágenes Spot 5 HRG1. *Revista SELPER*, 30(1), 24-33.
- CDC, NCEZID. (02 de 11 de 2022). *DengueMap*. Obtenido de <https://www.healthmap.org/dengue/en/>
- CENAPRECE. (2017). *Guías operativas*. Recuperado el 28 de Octubre de 2017, de <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue.html>
- Center for Disease Control and Prevention, C. (2006). Etymologia: dengue. *Emerging Infectious Diseases*, 12(6), 893. doi:10.3201/eid1206.ET1206
- Chávez, P. S. (1977). *Computer enhancement techniques of Landsat MSS Digital images for Land use/ Land cover assessments*. Bogotá: Remote Sensing of Earth Resources.

- Christen, J. G. (2014). El dengue VIAJERO. *Elementos*(95), 11-16.
- Coord, R. A. (2009). *Concentos de geomática y estudios de caso en México. Capítulo 6. Aplicación de las técnicas de Evaluación MultiCriterio en el ambiente SIG: el caso de la identificación de zonas para la reforestación del parque nacional Nevado de Toluca (1ª Edición ed.)*. (S. L. Geografía para el Siglo XXI, Ed.) México: Limusa Wiley.
- Daniel, W. W. (2005). *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud = Biostatistics: A foundation for analysis in the health sciences (4ª Edición ed.)*. Limusa Wiley.
- DGE. (2020). *Panorama Epidemiológico de Dengue 2010-2020*. México.
- Dr. Michael C. Wimberly, A. N. (2020). *Mapeando y Pronosticando el Riesgo de Enfermedades Transmitidas por Mosquitos*.
- Fajardo-Dolci, G., Meljem-Moctezuma, J., Vicente-González, E., Venegas-Páez, F. V., Mazón-González, B., & Aguirre-Gas, H. G. (2012). El dengue en México. Conocer para mejorar la calidad de la atención. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 6(50), 632. Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2012/im126i.pdf>
- Foley, M. (2019). *Multiple Linear Regression: Variable Transformations*. Recuperado el 2023 de 02 de 25, de <https://rpubs.com/mpfoley73/495822>
- G., P.-H. (2010). Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Medicina*, 24(2), 75-89. Recuperado el 14 de 02 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/2611/261119512006.pdf>
- García-Gutiérrez MR, R.-Z. H.-M. (2013). Factores de riesgo en la epidemia de dengue en Querétaro. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(6). Recuperado el 13 de 02 de 2023, de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=46598>
- Geografía para el Siglo XXI, S. L. (Ed.). (2012). *Temas selectos de Geomática: métodos y aplicaciones*. México: Instituto de Geografía.
- Guillermo L. Rúa-Urbe, C. S.-A. (2013). Modelado del efecto de la variabilidad climática local sobre la transmisión de dengue en Medellín (Colombia) mediante análisis de series temporales. *Biomédica*, 33. doi:<https://doi.org/10.7705/biomedica.v33i0.1444>
- Hassan M. Khormi, L. K. (2011). Modeling dengue fever risk based on socioeconomic parameters, nationality and age groups: GIS and remote sensing based case study. *Science of the Total Environment*(409), 4713-4719.
- Icaza, J. T. (2010). El mosquito Aedes Aegypti y el dengue en México. *Bayer environmental science*.

- IMTA/CONAGUA. (2013). Extractor rápido de información climatológica, versión 3.2, ERIC III. México: IMTA/CONAGUA.
- INEGI. (1999). *Modelos digitales de elevación. Generalidades y especificaciones*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Centro Tabasco*. México.
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Culiacán Sinaloa*. México.
- INEGI. (2017). *Metodología de indicadores de la serie histórica censal*. Obtenido de https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/cpvsh/doc/serie_historica_censal_met_indicadores.pdf
- INEGI. (2017). *Metodología de indicadores de la serie histórica censal*. Recuperado el 12 de 01 de 2023, de https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/cpvsh/doc/serie_historica_censal_met_indicadores.pdf
- INEGI. (2020). *México en cifras*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/default.aspx>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8. . *LDCM. Landsat Data Continuity Mission., Versión 1.0*, 11, 38-42.
- J. Rogers, D., E. Suk, J., & C. Semenza, J. (2013). Using global maps to predict the risk of dengue in Europe. *Acta Tropica*, 129, 1-14.
- José Narro-Robles, H. G.-D. (1995). El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México*, 37(1), 12-20.
- Juan C. Jiménez-Muñoz, J. A. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 11(10), 1840 - 1843.
- Juan Eugenio Hernández-Ávila, M.-H. R.-L.-C.-P.-S. (2013). Nation-Wide, Web-Based, Geographic Information System for the Integrated Surveillance and Control of Dengue Fever in Mexico. *PLOS ONE*, 8, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070231>
- Landero, R., & González, M. T. (2006). *Estadística con SPSS y metodología de la investigación*. Trillas. Recuperado el 2022 de 12 de 28, de https://www.researchgate.net/publication/44495481_Estadistica_con_SPSS_y_metodologia_de_la_investigacion_Rene_Landero_Hernandez_Monica_T_Gonzalez_Ramirez

- LaNGIF, S. S. (2010). Aplicación de la percepción remota a la vigilancia epidemiológica SINAVEF. Recuperado el 14 de 02 de 2023, de <http://langif.uaslp.mx/documentos/privada/PercepcionRemota20100415.pdf>
- M, B. M. (2022). Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 27(1), 120-127. doi:10.32480/rscp.2022.27.1.120
- M, B. M. (2022). Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 27(1), 120-127. doi:10.32480/rscp.2022.27.1.120
- Márquez Benítez Y, M. C. (2019). Influencia de la temperatura ambiental en el mosquito *Aedes spp* y la transmisión del virus del dengue. *CES Medicina*, 42-50.
- Montalvo, J. P. (2022). Determinación de zonas de riesgo de transmisión de dengue en la ciudad de Manta-Ecuador, 2022. Manta, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- Natalia E. Frassone, L. G. (2014). Dengue: revisión 2014. Córdoba, Argentina: Sociedad de Infectología de Córdoba.
- Nazri Che Dom, A. H. (2013). Assesing the Risk of Dengue Fever Based On the Epidemiological, Environmental and Entomological Variables. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 105, 183-194.
- Nelson Mena, A. T.-C.-A. (2011). Factores asociados con la incidencia de dengue en Costa Rica. *Rev Panam Salud Publica*, 29(4), 234–242.
- Nova Vázquez, E. d. (2018). Identificación de la vegetación urbana de la Ciudad de México; evaluación de cuatro métodos para la determinación de umbrales en el índice normalizado de diferencias de vegetación y de la clasificación supervisada. *Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía*, 9(3), 65-83. Recuperado el 2023 de 04 de 22, de <https://biblat.unam.mx/pt/revista/realidad-datos-y-espacio-revista-internacional-de-estadistica-y-geografia/articulo/identificacion-de-la-vegetacion-urbana-de-la-ciudad-de-mexico-evaluacion-de-cuatro-metodos-para-la-determinacion-de-umbrales-en-el-indice->
- OMS. (2017). *¿Qué es el dengue y cómo se trata?* Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de <http://www.who.int/features/qa/54/es/>
- OMS. (2017). *Dengue y dengue grave*. Recuperado el 27 de Octubre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
- OMS. (2017). *El mosquito*. Recuperado el 25 de 11 de 2017, de <http://www.who.int/denguecontrol/mosquito/es/>

- OMS y TDR. (2009). *Dengue. Guías para el diagnóstico, tratamiento, prevención y control*. (Novena ed.). La Paz, Bolivia: OPS/OMS.
- OPS. (2017). *Estrategia de Gestión Integrada para la prevención y control del dengue en la Región de las Américas*. Washington D.C.
- Pathirana, S., Kawabata, M., & Goonatilake, R. (2009). STUDY OF POTENTIAL RISK OF DENGUE DISEASE OUTBREAK IN SRI LANKA USING GIS AND STATISTICAL MODELLING. *Journal of Rural and Tropical Public Health*, 8, 8-17.
- Piqueras, V. Y. (02 de 05 de 2023). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. Obtenido de victoryepes.blogs.upv.es/
- Raúl Aguirre Gómez, S. F. (2009). *Concentos de geomática y estudios de caso en México. Capítulo 6. Aplicación de las técnicas de Evaluación MultiCriterio en el ambiente SIG: el caso de la identificación de zonas para la reforestación del parque nacional Nevado de Toluca* (Primera edición ed.). México, D.F.: Instituto de Geografía.
- Real-Cotto, J. J. (2017). Factores relacionados con la dinámica del dengue en Guayaquil, basado en tendencias climáticas históricas. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(1). doi:<http://dx.doi.org/10.15381/anales.v78i1.13017>
- Rebeca Alvarado-Prado, E. N. (2019). Factores socioeconómicos y ambientales asociados a la incidencia de dengue: estudio ecológico en Costa Rica, 2016. *Rev. Costarricense de Salud Pública*, 28(2), 227-238.
- Rey, J. (2014). El dengue. *EFAS Extension*, 1-5.
- Rey, J. (2014). El Dengue. *Entomology and Nematology, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, (UF/IUFAS)*, 3.
- Rodriguero, M. S. (2013). Wolbachia, una pandemia con posibilidades. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 72(3), 117-137.
- Romero, M. G. (2009). Geosalud, desarrollo y aplicación de sistemas de información geográfica en salud pública. *Espacios - Este país*(220), 44 - 47.
- Rotela, C. H. (2012). *Desarrollo de Modelos e Indicadores Remotos de Riesgo Epidemiológico de Dengue en Argentina*. Córdoba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
- Rouse, J. W. (1973). Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. [Great Plains Corridor].
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning. *Decision Making Series*.

- Salud, S. d. (2008). *Manejo del dengue no grave y el dengue grave*. Recuperado el 28 de Octubre de 2017, de http://www.ssm.gob.mx/portal/page/vig_epid/11/DENGUE/SSA-151-08_EyR%20Dengue%20170310.pdf
- Sara N. Ulón, O. R. (2000). Dengue: Caracterización de los factores de riesgo en la ciudad de Corrientes. Universidad nacional del nordeste. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*.
- Sergio Ibañez-Bernal, H. G.-D. (1995). Los vectores del dengue en México: Una revisión crítica. *Salud Pública de México*, 554.
- Shahera Banu, W. H. (2013). Projecting the impact of climate change on dengue transmission in Dhaka, Bangladesh. *Environment International*(63), 137–142.
- Silveira, E. d. (2012). La transformación de los insectos. Un mosquito transgénico y otro irradiado constituyen las nuevas armas para enfrentar al dengue. *Pesquisa FAPESP*(79).
- SINAVE/DGE/SALUD. (2012). *Perfil epidemiológica del dengue en México*. México: Secretaría de salud.
- SINAVE/DGE/SALUD. (2012). *Perfil epidemiológico del dengue en México*. México: Secretaría de salud.
- SSA. (2014). *Programa de Acción Específico. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. 2013-2018*. México, D.F.: Secretaría de Salud.
- SSA. (2015). *CENAPRECE, ¿Quiénes somos?* Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/cenaprece-quienes-somos>
- SSA. (2015). *Enfermedades transmitidas por vector: Dengue, Chikungunya y Zika*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de <https://www.gob.mx/salud/documentos/enfermedades-transmitidas-por-vector-dengue-chikungunya-y-zika-18649>
- SSA. (2017). *Dirección General de Epidemiología*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia>
- TDR/WHO. (2009). *Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control* (Third edition ed.). Geneva: WHO.
- Thomas W. Scott, A. C. (01 de 01 de 2000). Longitudinal studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand and Puerto Rico: Population dynamics. *Journal of Medical Entomology*, 37(1), 77-88. doi:<https://doi.org/10.1603/0022-2585-37.1.77>
- Thulin, M. (2021). *Modern Statistics with R*. (E. C. Press, Ed.) Recuperado el 20 de 02 de 2023, de <https://www.modernstatisticswithr.com/>
- Torres Muñoz, A. (1995). La fiebre amarilla en México. Erradicación del *Aedes aegypti*. En *Salud Pública de México* (págs. 103-110). México: Instituto Nacional de Salud Pública.

- USGS y NASA. (27 de 11 de 2022). *Landsat 8*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- V, S. O. (2022). Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021). *Journal of Ecological Engineering*, 23(9), 212-218. doi:10.12911/22998993/151884
- Vanlerberghe V, G.-D. H.-P.-S. (2017). Changing paradigms in Aedes control: considering the spatial heterogeneity of dengue transmission. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 41. doi:doi: 10.26633/RPSP.2017.16.
- Vermote, E. J. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56. Recuperado el 05 de 02 de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425716301572>
- WHO. (2014). *Dengue, countries or areas at risk, 2013*. Obtenido de http://gamapserver.who.int/mapLibrary/Files/Maps/Global_DengueTransmission_ITHRiskMap.png
- Yasmin Rubio-Palis, L. M.-Y.-R.-M. (2011). Influencia de las variables climáticas en la casuística de dengue y la abundancia de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Maracay, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 51(2). Recuperado el 13 de 02 de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482011000200004&lng=es&tlng=es
- Yissel Peña León, M. H. (2021). Factores socioambientales que facilitan la propagación del dengue. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 58. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032021000100014&lng=es&tlng=es