



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y
FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

INGENIERO AGRÓNOMO

**ANÁLISIS MEDIANTE SIG DE LA DENSIDAD ÓPTIMA
DE ESTACIONES PARA EL ANÁLISIS DE
PRECIPITACIONES EN MÉXICO**

Alumno:

D. CARLOS FERNÁNDEZ CASTAÑEDA

Directores:

Dr. Ing. D. ANTONIO JESÚS ZAPATA SIERRA

Dr. Ing. D. FRANCISCO MANZANO AGUGLIARO

ALMERÍA, ABRÍL 2013

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo constante y dedicación y por lo que esto supone para ellos.

A Cristina, por su confianza y por todo el apoyo que ha significado para mí a lo largo de estos años.

A D. Francisco Manzano Agugliaro, por su confianza, paciencia y por hacer que todo sea más fácil.

A D. Antonio Jesús Zapata Sierra, por toda su colaboración y ayuda prestada en este proyecto, facilitándome el trabajo enormemente.

Y a mis compañeros y sobre todo amigos porque han sido un gran apoyo en todos estos años, por todos los grandes momentos compartidos, porque han sido la mejor compañía posible a lo largo de estos años, a ellos también se lo agradezco, a Elías, Carlos, Manolo, José Ramón, Yon, Tere, Ángela, Ana, Carola....

...A todos ellos, gracias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. LA PRECIPITACIÓN.....	2
1.2. LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO.....	2
1.3. PRECIPITACIONES EXTREMAS.....	4
1.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS.....	4
1.5. RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE LLUVIAS.....	5
1.6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	7
2. OBJETIVO	9
3. MATERIALES	11
3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.....	11
3.2. EMAs ANALIZADAS EN ESTE TRABAJO.....	14
3.3. TIPOS DE PLUVIÓMETROS.....	17
3.3.1. PLUVIÓMETROS DE LAS EMAs.....	17
3.4. DATOS EMPLEADOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.....	19
3.5. EMAs INCORPORADAS A ESTE TRABAJO.....	20
4. MÉTODOS	26
4.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LAS RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN- FRECUENCIA DE LLUVIA PARA DISTINTAS ZONAS GEOGRÁFICAS.....	26
4.1.1. LEY DE DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL.....	26
4.1.2. ECUACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA....	27
4.1.3. COMPARACIÓN DE ESTIMACIONES.....	30
4.2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN.....	31
4.2.1. PARÁMETRO K	31
4.3. PREPARACIÓN DE LOS DATOS INICIALES.....	32
4.4. SOFTWARE EMPLEADO.....	34
4.5. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS.....	34
4.6. METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA DISTANCIA ENTRE LAS EMAs.....	34
4.6.1. OBJETIVO DEL PROGRAMA.....	34
4.6.2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA.....	35
5. RESULTADOS	38
5.1. PARÁMETROS a , b , c y f	38
5.2. CURVAS IDF.....	39
5.3. PARÁMETRO K	41
5.4. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs.....	42
5.5. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN MÉXICO.....	47
5.6. MAPAS DE LAS ZONAS ANALIZADAS DETALLADAMENTE.....	48
5.6.1. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 1 (YUCATÁN).....	48
5.6.2. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN LA ZONA 1 (YUCATÁN).....	53

5.6.3. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 2 (CHIAPAS).....	54
5.6.4. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN LA ZONA 1 (CHIAPAS).....	59
5.6.5. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 1 (CIUDAD DE MÉXICO).....	60
5.6.6. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN LA ZONA 1 (CIUDAD DE MÉXICO).....	65
5.6.7. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 1 (JALISCO).....	66
5.6.8. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN LA ZONA 1 (JALISCO).....	71
5.6.9. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 1 (SINALOA).....	72
5.6.10. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO K EN LA ZONA 1 (SINALOA).....	77
5.7. ANÁLISIS DE LAS ZONAS ESPECÍFICAS.....	78
5.7.1. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (YUCATÁN).....	78
5.7.2. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (CHIAPAS).....	81
5.7.3. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (CIUDAD DE MÉXICO).....	84
5.7.4. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (JALISCO).....	93
5.7.5. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (SINALOA).....	97
6. CONCLUSIONES	106
7. BIBLIOGRAFÍA	109

ANEXOS

ANEXO I (MACRO)	117
ANEXO II (CURVAS IDF)	126
ANEXO III (PRECIPITACIONES MÁXIMAS)	148

ÍNDICE DE FIGURAS

1. INTRODUCCIÓN	
Figura 1: Mapa de México.....	3
Figura 2: El clima en México.....	3
Figura 3: Ejemplo de curvas IDF.....	6
3. MATERIALES	
Figura 4: EMA en estructura de tipo torre triangular.....	13
Figura 5: EMA en estructura de tipo andamio.....	14
Figura 6: Distribución de las EMAs tratadas analíticamente en este trabajo...	15
Figura 7: Pluviómetro SEBA RG50.....	18
Figura 8: Pluviómetro Vaisala VRG101.....	18
Figura 9: Pluviómetro Campbell ARG100.....	18
Figura 10: Distribución de las EMAs incorporadas en este trabajo.....	21
Figura 11: Distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo.....	24
4. MÉTODOS	
Figura 12: Ejemplo de hoja de Excel separada por años.....	33
5. RESULTADOS	
Figura 13: Curvas IDF de la EMA Aguamilpa.....	39
Figura 14: Curvas IDF de la EMA El Caracol.....	39
Figura 15: Curvas IDF de la EMA El Fraile.....	40
Figura 16: Curvas IDF de la EMA Infiernillo.....	40
Figura 17: EMAs con un buffer de 25 km.....	42
Figura 18: EMAs con un buffer de 50 km.....	43
Figura 19: EMAs con un buffer de 75 km.....	44
Figura 20: EMAs con un buffer de 100 km.....	45
Figura 21: EMAs con un todos los buffer.....	46
Figura 22: Mapa cromático de los valores del parámetro k en México.....	47
Figura 23: EMAs de la zona 1 con un buffer de 25 km.....	48
Figura 24: EMAs de la zona 1 con un buffer de 50 km.....	49
Figura 25: EMAs de la zona 1 con un buffer de 75 km.....	50
Figura 26: EMAs de la zona 1 con un buffer de 100 km.....	51
Figura 27: EMAs de la zona 1 con todos los buffer.....	52
Figura 28: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 1.....	53
Figura 29: EMAs de la zona 2 con un buffer de 25 km.....	54
Figura 30: EMAs de la zona 2 con un buffer de 50 km.....	55
Figura 31: EMAs de la zona 2 con un buffer de 75 km.....	56
Figura 32: EMAs de la zona 2 con un buffer de 100 km.....	57
Figura 33: EMAs de la zona 2 con todos los buffer.....	58
Figura 34: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 2.....	59
Figura 35: EMAs de la zona 3 con un buffer de 25 km.....	60
Figura 36: EMAs de la zona 3 con un buffer de 50 km.....	61
Figura 37: EMAs de la zona 3 con un buffer de 75 km.....	62
Figura 38: EMAs de la zona 3 con un buffer de 100 km.....	63
Figura 39: EMAs de la zona 3 con todos los buffer.....	64
Figura 40: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 3.....	65
Figura 41: EMAs de la zona 4 con un buffer de 25 km.....	66
Figura 42: EMAs de la zona 4 con un buffer de 50 km.....	67
Figura 43: EMAs de la zona 4 con un buffer de 75 km.....	68
Figura 44: EMAs de la zona 4 con un buffer de 100 km.....	69

Figura 45: EMAs de la zona 4 con todos los buffer.....	70
Figura 46: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 4.....	71
Figura 47: EMAs de la zona 5 con un buffer de 25 km.....	72
Figura 48: EMAs de la zona 5 con un buffer de 50 km.....	73
Figura 49: EMAs de la zona 5 con un buffer de 75 km.....	74
Figura 50: EMAs de la zona 5 con un buffer de 100 km.....	75
Figura 51: EMAs de la zona 5 con todos los buffer.....	76
Figura 52: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 5.....	77
Figura 53: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 1.....	78
Figura 54: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 1.....	80
Figura 55: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 1.....	80
Figura 56: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 2.....	81
Figura 57: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 2.....	83
Figura 58: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 2.....	84
Figura 59: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 3.....	85
Figura 60: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 3.....	92
Figura 61: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 3.....	92
Figura 62: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 4.....	93
Figura 63: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 4.....	96
Figura 64: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 4.....	97
Figura 65: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 5.....	98
Figura 66: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 5.....	103
Figura 67: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 5.....	103
6. CONCLUSIONES	
Figura 68: Mapa cromático de los valores del parámetro k en México.....	107
ANEXO II (CURVAS IDF)	
Figura 69: Curvas IDF de la EMA Aguamilpa.....	126
Figura 70: Curvas IDF de la EMA Angostura.....	126
Figura 71: Curvas IDF de la EMA Arteaga.....	127
Figura 72: Curvas IDF de la EMA Atenango del río.....	127
Figura 73: Curvas IDF de la EMA Bacurato.....	128
Figura 74: Curvas IDF de la EMA Caimanera.....	128
Figura 75: Curvas IDF de la EMA Colorines.....	129
Figura 76: Curvas IDF de la EMA Comedero.....	129
Figura 77: Curvas IDF de la EMA Chicoasén.....	130
Figura 78: Curvas IDF de la EMA El Cubil.....	130
Figura 79: Curvas IDF de la EMA El caracol.....	131
Figura 80: Curvas IDF de la EMA El Devanador.....	131
Figura 81: Curvas IDF de la EMA El Fraile.....	132
Figura 82: Curvas IDF de la EMA Huites.....	132

Figura 83: Curvas IDF de la EMA Humaya.....	133
Figura 84: Curvas IDF de la EMA Infiernillo.....	133
Figura 85: Curvas IDF de la EMA Ixcamilpa.....	134
Figura 86: Curvas IDF de la EMA La Villita.....	134
Figura 87: Curvas IDF de la EMA Los Palillos.....	135
Figura 88: Curvas IDF de la EMA Malpaso.....	135
Figura 89: Curvas IDF de la EMA Mazatepec.....	136
Figura 90: Curvas IDF de la EMA Mocúzari.....	136
Figura 91: Curvas IDF de la EMA Moctezuma.....	137
Figura 92: Curvas IDF de la EMA Novillo.....	137
Figura 93: Curvas IDF de la EMA Cristóbal Obregón.....	138
Figura 94: Curvas IDF de la EMA Ocotepc.....	138
Figura 95: Curvas IDF de la EMA Oviachic.....	139
Figura 96: Curvas IDF de la EMA Panches.....	139
Figura 97: Curvas IDF de la EMA Papalutla.....	140
Figura 98: Curvas IDF de la EMA Peñitas.....	140
Figura 99: Curvas IDF de la EMA Paso Nácori.....	141
Figura 100: Curvas IDF de la EMA Rómulo Calzada.....	141
Figura 101: Curvas IDF de la EMA 27 de Septiembre.....	142
Figura 102: Curvas IDF de la EMA San Antonio.....	142
Figura 103: Curvas IDF de la EMA San Cristóbal de las Casas.....	143
Figura 104: Curvas IDF de la EMA San Cristóbal.....	143
Figura 105: Curvas IDF de la EMA San Juan.....	144
Figura 106: Curvas IDF de la EMA Sayula.....	144
Figura 107: Curvas IDF de la EMA Santo Domingo.....	145
Figura 108: Curvas IDF de la EMA Sierra Morena.....	145
Figura 109: Curvas IDF de la EMA Sanalona.....	146
Figura 110: Curvas IDF de la EMA Santa Rosa.....	146

ÍNDICE DE TABLAS

3. MATERIALES

Tabla 1: Ejemplo de registros de la EMA de Angostura el 01/01/2008.....	11
Tabla 2: EMAs tratadas analíticamente en este trabajo.....	16
Tabla 3: Longitud de la serie de registros para cada EMA.....	19
Tabla 4: Valores del parámetro k incorporados en este trabajo.....	22

4. MÉTODOS

Tabla 5: Ejemplo de tabla con errores.....	32
Tabla 6: Ejemplo de tabla, con espacio en blanco introducido.....	33
Tabla 7: Ejemplo de tabla, con valores máximos de cada variable.....	33

5. RESULTADOS

Tabla 8: Valores de los parámetros a , b , c y f , para las EMAs analizadas en este trabajo.....	38
Tabla 9: Valores del parámetro k para las EMAs analizadas en este trabajo... 41	41
Tabla 10: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 1.....	78
Tabla 11: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 1.....	79
Tabla 12: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 2.....	81
Tabla 13: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 2.....	82
Tabla 14: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 3.....	84
Tabla 15: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 3.....	86
Tabla 16: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 4.....	93
Tabla 17: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 4.....	94
Tabla 18: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 5.....	97
Tabla 19: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 5.....	99

ANEXO III (PRECIPITACIONES MÁXIMAS)

Tabla 20: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Aguamilpa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K	148
Tabla 21: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Angostura, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K	148
Tabla 22: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Arteaga, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K	148
Tabla 23: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Atenango del río, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K	149

Tabla 24: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Bacurato, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	149
Tabla 25: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Caimanera, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	149
Tabla 26: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Colorines, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	150
Tabla 27: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Comedero, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	150
Tabla 28: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Chicoasen, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	150
Tabla 29: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Cubil, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	151
Tabla 30: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Caracol, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	151
Tabla 31: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Devanador, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	151
Tabla 32: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Fraile, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	152
Tabla 33: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Huites, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	152
Tabla 34: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Humaya, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	152
Tabla 35: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Infiernillo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	153
Tabla 36: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Ixcamilpa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	153
Tabla 37: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA La Villita, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	153

Tabla 38: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Los Palillos, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	154
Tabla 39: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Malpaso, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	154
Tabla 40: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Mazatepec, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	154
Tabla 41: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Mocúzari, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	155
Tabla 42: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Moctezuma, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	155
Tabla 43: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Novillo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	155
Tabla 44: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Cristóbal Obregón, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	156
Tabla 45: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Ocotepc, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	156
Tabla 46: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Oviachic, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	156
Tabla 47: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Panches, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	157
Tabla 48: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Papalutla, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	157
Tabla 49: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Peñitas, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	157
Tabla 50: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Paso Nácori, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	158
Tabla 51: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Rómulo Calzada, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	158

Tabla 52: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA 27 de Septiembre, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	158
Tabla 53: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Antonio, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	159
Tabla 54: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Cristóbal de las Casas, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	159
Tabla 55: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Cristóbal, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	159
Tabla 56: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Juan, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	160
Tabla 57: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sayula, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	160
Tabla 58: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Santo Domingo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	160
Tabla 59: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sierra Morena, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	161
Tabla 60: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sanalona, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	161
Tabla 61: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Santa Rosa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.....	161

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es el agua procedente de la atmósfera, y que en forma líquida o sólida se deposita sobre la superficie terrestre. Las formas significativas de precipitación en hidrología de superficie son: llovizna, lluvia, nieve, aguanieve y granizo (Wiesner, 1970).

La precipitación constituye el elemento más importante del ciclo hidrológico. Para Fernández-García (1995), la precipitación, junto con la temperatura, son los elementos climáticos más influyentes en el medio natural, ya que afectan directamente en la distribución de las especies vegetales y animales, y a la vez en las actividades del hombre, como son las agrícolas, las forestales y las económicas entre otras. Así, la precipitación tiene lugar de muy diversas formas, todas ellas resultado de interacciones entre la atmósfera y el agua presente en la superficie terrestre. La forma y la cantidad de precipitación dependen de múltiples factores climáticos, como el viento, la temperatura y la presión atmosférica, entre otros. Por todo ello, la precipitación exhibe una alta variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio.

Uno de los rasgos climáticos más importantes que caracteriza una zona geográfica es su régimen pluviométrico, destacando de éste en el ámbito meteorológico y de Ingeniería las intensidades extremas de precipitación, su duración y la frecuencia con que se producen, donde su conocimiento es imprescindible para la planificación de obras hidráulicas, carreteras, redes de alcantarillado, el diseño de los sistemas de drenaje de las aguas pluviales en grandes instalaciones y edificios en general, la optimización de recursos hidráulicos en cuencas hidrográficas y la prevención de avenidas.

1.2. LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO

El país de México (Figura 1) se caracteriza por su vasta extensión, próxima a los 5.000.000 km², y su particular orografía., jugando ésta un papel muy importante en la cantidad y distribución de la lluvia (García-Amaro, 2003).



Figura 1: Mapa de México.

El clima en este país varía de tropical a desértico en función del área geográfica. Generalmente es caliente y húmedo a lo largo de las costas del Pacífico y el Atlántico, y cálido pero seco en el resto del territorio. Las precipitaciones varían ampliamente tanto por la ubicación como por la temporada.

Principales tipos de clima de México



Figura 2: El clima en México.

1.3. PRECIPITACIONES EXTREMAS

Por definición, cualquier suceso con valor alejado de la media ocurre menos veces que aquellos próximos al valor central. Entre ellos, los menos probables son denominados estadísticamente eventos o sucesos extremos. Para la planificación y diseño de diversas estructuras es necesario el conocimiento de las precipitaciones extremas para un período de retorno dado. En particular, las precipitaciones extremas con alta resolución temporal, una hora o menos, son necesarias para el diseño de los sistemas de drenaje urbano, ya que las zonas urbanas se caracterizan generalmente por su rápida respuesta (Nguyen *et al.*, 1988). Por lo general, las cuencas de estas zonas tienen tiempos de respuesta muy cortos y por lo tanto la duración de la precipitación crítica es inferior a 6 horas y generalmente menor de una hora (Watt y Nozdryn-Plotnicki, 1983). Sin embargo, en la mayoría de las estaciones sólo se registra la precipitación diaria (Svenson *et al.* 2007). Ello pone de manifiesto la necesidad de disponer una metodología que permita predecir las precipitaciones extremas de corta duración a partir de los registros diarios.

1.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

El estudio de los eventos extremos, tanto la identificación de su frecuencia como de su magnitud, es un aspecto tratado ampliamente desde diferentes disciplinas y con diferentes objetivos en las ciencias ambientales (Chow, 1951, 1956; Benjamin, 1970; Reich, 1970, 1973; Al-Mashidani *et al.*, 1978; Ahnert, 1987; De Ploey *et al.*, 1991; Lewis, 1992). Particularmente en la climatología el análisis se ha centrado en el estudio de los sucesos de precipitación extrema diaria (Hershfield, 1961, 1965, 1979, Goyal y Kathuria, 1984).

El estudio del volumen de las precipitaciones de una zona y el conocimiento de su distribución temporal es de gran interés para diversos fines relacionados con el diseño en ingeniería hidráulica (Gerold y Watkins, 2005) y aplicaciones diversas en hidrología (Vázquez *et al.*, 1987; García-Bartual y Schneider, 2001; Gaume *et al.*, 2007), como cuantificar y mitigar los riesgos de inundación (Faiers y Keim, 2008; García Marín *et al.*, 2008; Leonard *et al.*, 2008; Endreny e Imbeah, 2009) y diseñar redes de drenaje (Svenson *et al.*, 2007; Ben-Zvi, 2009) para determinar la capacidad de descarga en la construcción de sistemas de alcantarillado necesarios y la capacidad de las estaciones de

bombeo, con el fin de evitar las inundaciones (Mohymont *et al.*, 2004), reduciendo así la pérdida de vidas y bienes, y la contaminación de las aguas superficiales (Overeem *et al.*, 2008). Asimismo, en la planificación y diseño de recursos hídricos (Yu y Chen, 1997; Yu *et al.*, 2004), la planificación de obras hidráulicas y carreteras y en la detección de cambios climáticos (Casas *et al.* 2004; Rosenberg *et al.*, 2010),

Es de especial interés el estudio de las precipitaciones extremas (Casas *et al.*, 2004; Leonard *et al.*, 2008), que son las que frecuentemente ocasionan sobrecargas en las obras. Se asume que una obra será capaz de resistir las solicitaciones normales si está diseñada (Casas *et al.*, 2004) para funcionar correctamente en un caso extremo. El uso de modelos hidrológicos para el diseño de obras hidráulicas exige frecuentemente la implementación de una precipitación ficticia de probabilidad de ocurrencia conocida, lo que se conoce como *hietograma de diseño* (Chow *et al.*, 1988; Lin *et al.*, 2010). Para la construcción de este tipo de hietograma es necesario conocer con cierta precisión el comportamiento de las precipitaciones extremas para diferentes duraciones de la lluvia y frecuencia de ocurrencia.

Por otra parte, en los últimos años varios estudios que analizan la tendencia de las características de las precipitaciones extremas (Walsh y Pittock, 1998; Frich *et al.*, 2002; Tank *et al.*, 2002; Arnbjerg-Nielsen, 2006; De Toffol *et al.*, 2009; Madsen *et al.*, 2009) ponen de manifiesto el cambio climático, pues se espera que el calentamiento global conduzca a un aumento en los eventos de precipitaciones intensas (intensidad y/o frecuencia) (Mailhot *et al.*, 2007), ya que un ambiente más cálido puede contener más humedad (y por tanto más energía) y por lo tanto producir un ciclo hidrológico más activo (Trenberth, 1999; Trenberth *et al.*, 2003).

1.5. RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE LLUVIAS

Las relaciones IDF de la lluvia de un observatorio dado, expresadas matemáticamente, permiten el cálculo de la intensidad media de la precipitación de diseño para una extensa gama de duraciones de lluvia y para un periodo de retorno dado (número promedio de años entre los eventos de lluvia, de la duración elegida, que igualan o superan la intensidad en particular, Eagleson, 1970; Chow *et al.*, 1988; Sivapalan *et al.*, 1998). Estas relaciones suelen representarse gráficamente mediante curvas IDF.

Estas curvas IDF (figura 3) resultan de unir puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1987). Seguidamente se pueden clasificar los máximos anuales de la intensidad media de las precipitaciones en cada uno de los intervalos seleccionados. Con base en estas clasificaciones se puede calcular el tiempo de retorno correspondiente a cada valor de intensidad (Sivapalan *et al.*, 1998).

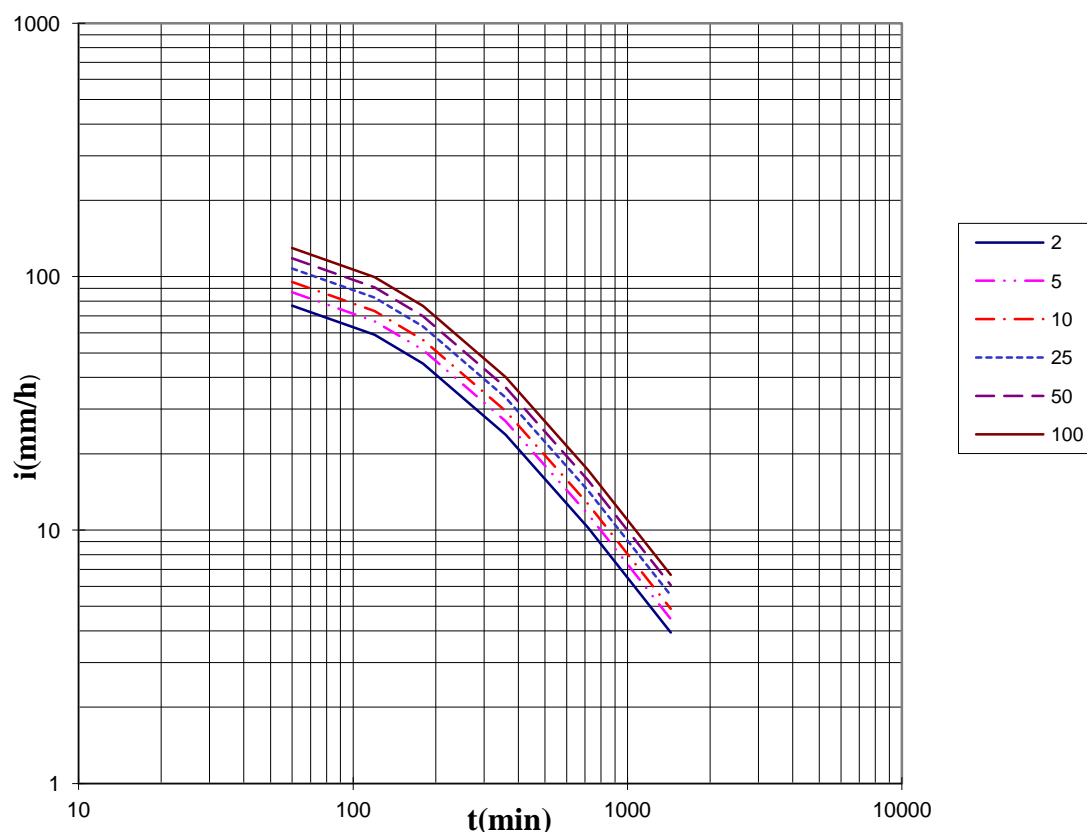


Figura 3: Ejemplo de curvas IDF

El establecimiento de estas relaciones se remonta a 1932 (Bernard, 1932). Desde entonces, muchos estudios de estas relaciones se han llevado a cabo en diversas partes del mundo. Más concretamente, desde 1960, la distribución geográfica de las relaciones IDF se ha estudiado en varios países desarrollados y se han desarrollado mapas IDF de isolíneas con la intensidad de la lluvia o su volumen para diversos periodos de retorno y duraciones.

1.6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos y para estudios climáticos.

Instrumentos y variables medidas:

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:

- Termómetro, medida de temperaturas, en diversas horas del día.
- Termógrafo, registra automáticamente las fluctuaciones de la temperatura.
- Barómetro, medida de presión atmosférica en superficie.
- Pluviómetro, medida de la cantidad de precipitación.
- Psicrómetro o higrómetro, medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- Piranómetro, medida de la radiación solar global (directa + difusa).
- Heliógrafo, medida de las horas de luz solar.
- Anemómetro, medida de la velocidad del viento.
- Veleta, indica la dirección del viento.

La mayor parte de las estaciones meteorológicas están automatizadas (E.M.A.) requiriendo un mantenimiento ocasional. Para la medida de variables en mares y océanos se utilizan sistemas especiales dispuestos en boyas meteorológicas.

Otras instalaciones meteorológicas menos comunes disponen de instrumental de sondeo remoto como radar meteorológico para medir la turbulencia atmosférica y la actividad de tormentas, perfiladores de viento y sistemas acústicos de sondeo de la estructura vertical de temperaturas. Alternativamente, estas y otras variables pueden obtenerse mediante el uso de globos sonda.

En todo caso la distribución irregular de estaciones meteorológicas y la falta de ellas en grandes regiones, como mares y desiertos, dificulta la introducción de los datos en modelos meteorológicos y complica las predicciones de mayor alcance temporal.

El área representativa de las estaciones meteorológicas automáticas, es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno llano, en terreno montañoso puede variar (SMN, 2010).

2. OBJETIVO

Determinar la densidad óptima de estaciones meteorológicas necesarias, para un conocimiento más exacto del régimen pluviométrico de una determinada zona geográfica, con especial atención a las precipitaciones extremas. El presente trabajo se aplicará al país de México.

3. MATERIALES

3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

La red de estaciones meteorológicas automáticas del país de México son administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Según el SMN (2010), una Estación Meteorológica Automática (EMA) de México, es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática, pero sobre todo en forma numérica.

Una EMA, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada hora de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 hora. El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno llano (SMN, 2010). Las variables atmosféricas que se miden en una EMA son:

- Velocidad del viento (VELS, $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$).
- Dirección del viento (DIRS, ° dextrorsum).
- Presión atmosférica (PB, hpa).
- Temperatura (TEMP, °C).
- Humedad relativa (HR, %).
- Radiación solar (RAD-SOL, $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}$).
- Precipitación (PREC, mm).

A modo de ejemplo se muestra la tabla 1 con los datos registrados por la EMA de Angostura (Chiapas) durante los días 1-3 de Enero de 2008.

FECHA	VELS	DIRS	TEMP	HR	PREC	RAD-SOL	PB
01/01/2008 1:00	1,25	193,5	19,9	86,7	0	0	953
01/01/2008 2:00	1,57	189,6	19,2	88,9	0	0	953
01/01/2008 3:00	2,18	196	18,9	89,7	0	0	953
01/01/2008 4:00	1,91	189,3	18,7	90,3	0	0	953
01/01/2008 5:00	1,85	196,7	18,5	90,8	0	0	954
01/01/2008 6:00	1,39	160,2	18	91,3	0	0	955
01/01/2008 7:00	1,14	185,1	17,2	93,7	0	3	955
01/01/2008 8:00	0,15	118,3	17,8	92,4	0	19	956
01/01/2008 9:00	0,11	22,9	19,3	87,2	0	27	957
01/01/2008 10:00	0,94	50,2	21,6	77,3	0	38	956
01/01/2008 11:00	0,85	130,7	23,6	68	0	482	955

FECHA	VELS	DIRS	TEMP	HR	PREC	RAD-SOL	PB
01/01/2008 12:00	0,42	207	25,4	58,7	0	698	954
01/01/2008 13:00	0,98	191	27,1	49,8	0	698	953
01/01/2008 14:00	1,24	134,4	28,5	43,3	0	660	952
01/01/2008 15:00	0,95	216,2	29,2	40,9	0	366	951
01/01/2008 16:00	1,68	208,4	29,4	38	0	248	951
01/01/2008 17:00	2,74	269,6	28,3	48,6	0	113	952
01/01/2008 18:00	2,61	250,8	26	60,2	0	6	953
01/01/2008 19:00	2,04	183,9	24,8	63,9	0	0	954
01/01/2008 20:00	1,46	180,7	24,6	61,9	0	0	955
01/01/2008 21:00	1,42	188,3	24	62,8	0	0	955
01/01/2008 22:00	1,32	183,3	22,9	66	0	0	956
01/01/2008 23:00	2,62	198,7	22	70	0	0	956
02/01/2008 0:00	1,12	146,2	21,7	70,2	0	0	956
02/01/2008 1:00	1,2	186,3	21,1	72,9	0	0	956
02/01/2008 2:00	0,84	178,8	21,1	71,3	0	0	956
02/01/2008 3:00	0,39	170,8	20,9	73,4	0	0	956
02/01/2008 4:00	0,42	133	20,9	74,7	0	0	956
02/01/2008 5:00	0,47	138,5	20,1	80	0	0	956
02/01/2008 6:00	1,76	206,4	20,9	73,7	0	0	957
02/01/2008 7:00	1,55	179,8	21	71	0	8	958
02/01/2008 8:00	0,87	142,6	20,9	71	0	69	959
02/01/2008 9:00	1,05	165,3	21,1	67,8	0	88	960
02/01/2008 10:00	1,17	269,4	21,9	62,8	0	186	960
02/01/2008 11:00	2,42	275,4	23,1	54	0	278	960
02/01/2008 12:00	3,34	230,5	23,9	46,6	0	285	960
02/01/2008 13:00	3,36	265,6	24,7	40	0	364	958
02/01/2008 14:00	3,62	268,1	25	36,8	0	515	958
02/01/2008 15:00	4,02	238,5	25,3	34,3	0	512	957
02/01/2008 16:00	4,12	243	24	38,3	0	137	958
02/01/2008 17:00	3,84	257,8	22,6	42,6	0	24	959
02/01/2008 18:00	2,34	225,9	21,7	46,2	0	6	960
02/01/2008 19:00	2,11	206,2	20,7	50,1	0	0	961
02/01/2008 20:00	2,69	195,8	19,6	57,4	0	0	962
02/01/2008 21:00	2,47	200,9	18,7	60,9	0	0	963
02/01/2008 22:00	2,35	204,6	18	63,7	0	0	963
02/01/2008 23:00	2,38	222,5	17,8	63,6	0	0	963
03/01/2008 0:00	1,81	184,8	17,6	63,3	0	0	963
03/01/2008 1:00	0,84	156,8	17,1	64,6	0	0	963
03/01/2008 2:00	1,38	190,6	16,5	67,3	0	0	962
03/01/2008 3:00	1,3	158,1	16,1	70,7	0	0	962
03/01/2008 4:00	1,57	178,3	16,1	71,7	0	0	962
03/01/2008 5:00	1,21	194,1	16,1	72	0	0	962
03/01/2008 6:00	0,81	203,4	15,8	73,5	0	0	962

Tabla 1: Ejemplo de registros de la EMA de Angostura el 01/01/2008.

En las figuras 4 y 5 se muestra un esquema de los diferentes tipos de EMA, una con una estructura de tipo andamio para alturas inferiores a 4 metros y la otra con una estructura de tipo torre triangular para alturas superiores a 4 metros.

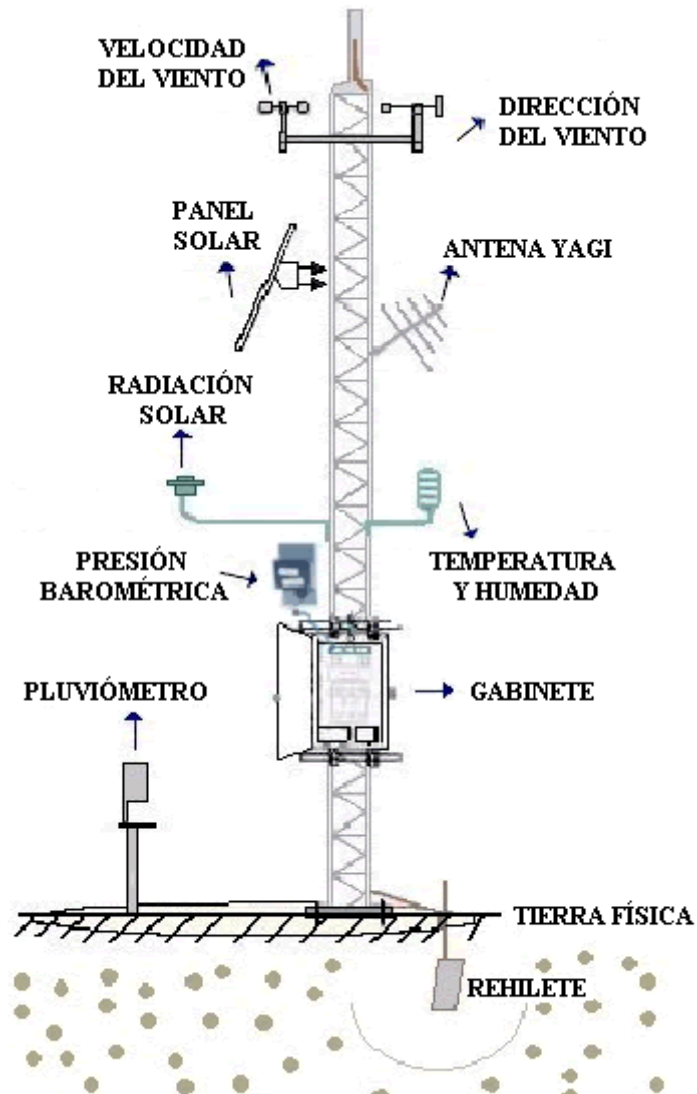


Figura 4: EMA en estructura de tipo torre triangular (SMN, 2010)

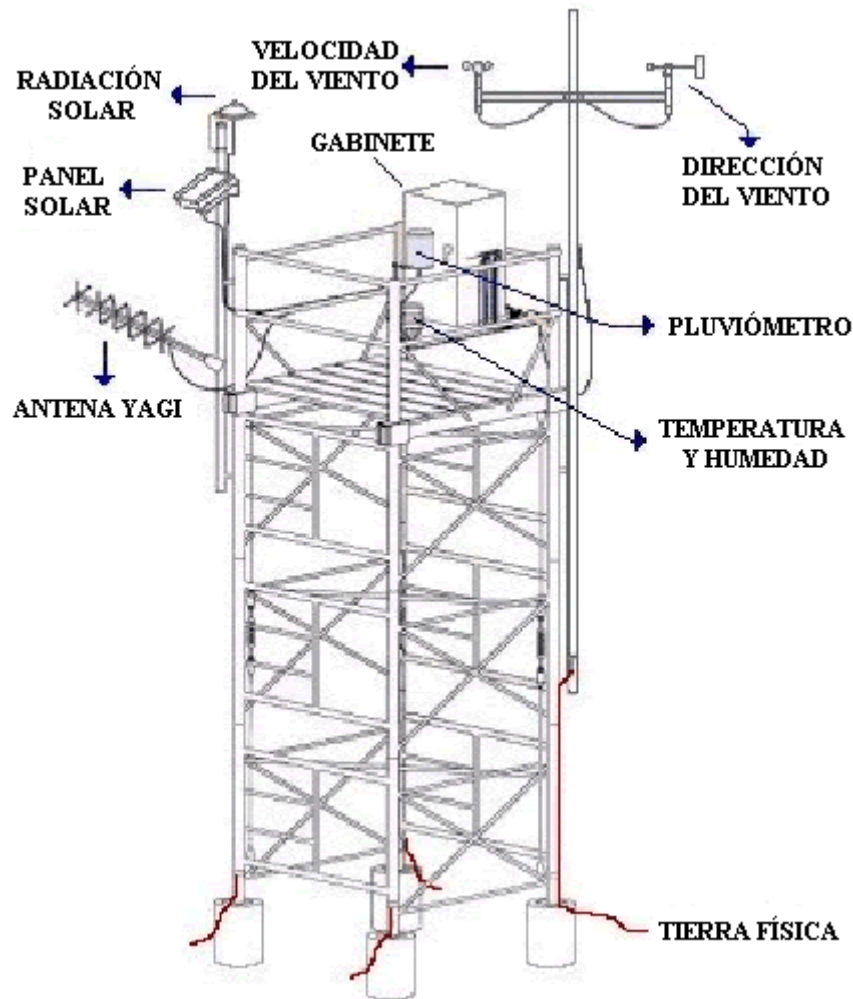


Figura 5: EMA en estructura de tipo andamio (SMN, 2010)

3.2. EMAs ANALIZADAS EN ESTE TRABAJO

La red de estaciones tratadas analíticamente en este trabajo, está formada por 42 EMAs distribuidas por todo el país de México, véase figura 6, disponiéndose de registros cada hora (hora GMT) de los años 2008 y 2009, lo que representa aproximadamente 8783 datos analizados por EMA y año.

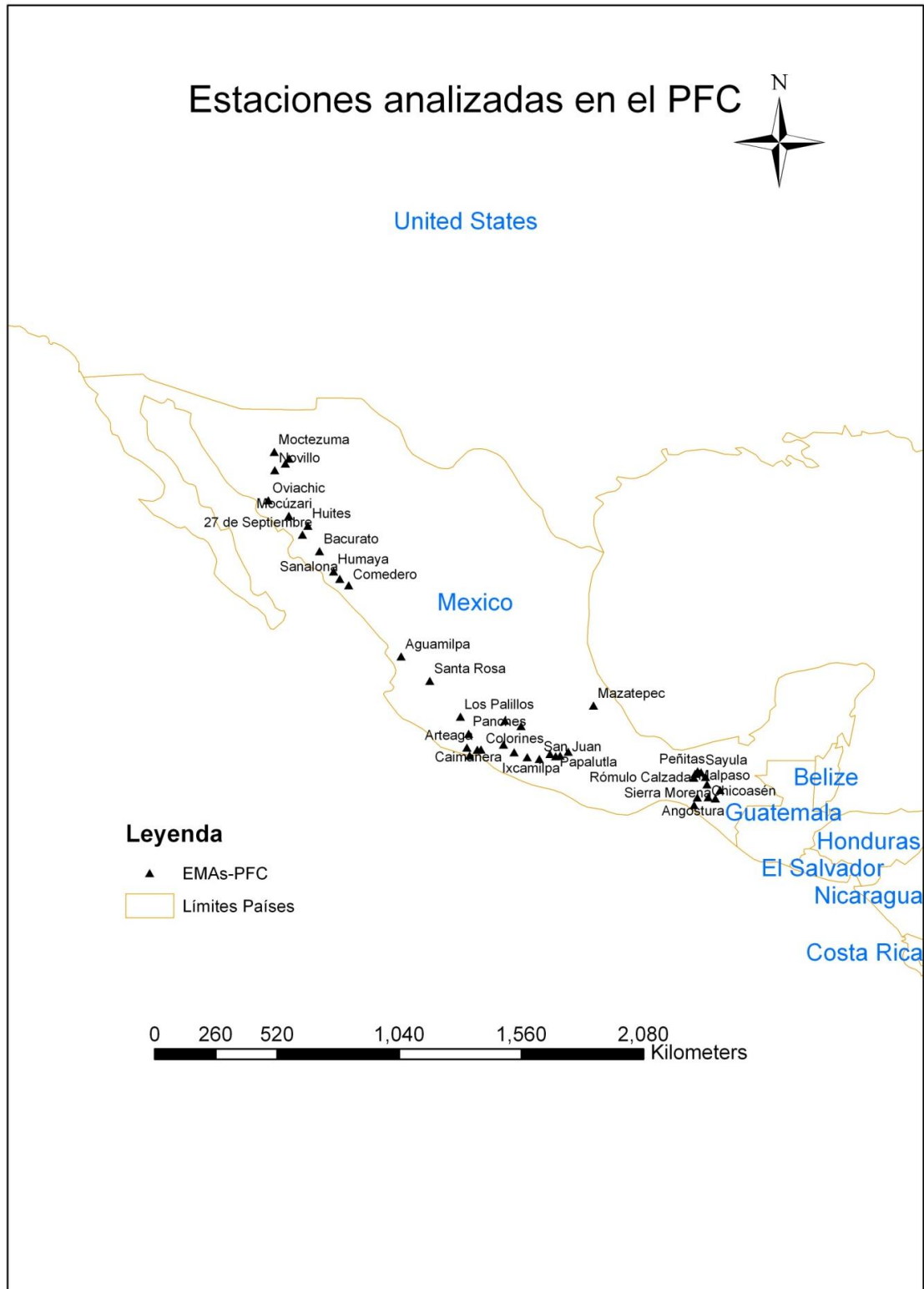


Figura 6: Distribución de las EMAs tratadas analíticamente en este trabajo.

En la tabla 2 se presentan los nombres, Identificador (ID) que es el empleado en los mapas y la posición geográfica referida al elipsoide de las 42 EMAs tratadas analíticamente en este trabajo.

EMAs	ID	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m)
Aguamilpa	Agu	21° 50' 33.8"	104° 48' 10.3"	0
Angostura	Angostura	16° 24' 03.7"	92° 46' 40.7"	545
Arteaga	Arteaga	18° 21' 18"	102° 17' 23"	940
Atenango del Río	Atenango	18° 06' 25"	99° 06' 17"	616.5
Bacurato	Bac	25° 52' 15.1"	107° 55' 31.6"	0
Caimanera	Caimanera	18° 27' 48"	100° 53' 28"	287
Chicoasén	Chicoasen	16° 56' 29"	93° 06' 03"	405
Chínipas	Chp	27° 25' 49.2"	108° 32' 41.2"	0
Colorines	Colorines	19° 10' 32"	100° 13' 06"	1627
Comedero	Com	24° 34' 12.9"	106° 48' 24.5"	0
El Cubil	EIC	29° 13' 56.7"	109° 14' 10.7"	0
El Caracol	Elcaracol	17° 59' 00"	99° 59' 00"	526.0
El Devanador	Eldevanador	19° 23' 02"	100° 49' 35"	1190
El Fraile	Elfraile	18° 11' 14"	98° 24' 17"	899.01
Huites	Hui	26° 50' 44.1"	108° 22' 07.7"	0
Humaya	Hum	25° 06' 06.4"	107° 23' 29.7"	0
Infiernillo	Infiernillo	18° 16' 16"	101° 53' 38"	169
Ixcamilpa	Ixcamilpa	18° 02' 23"	98° 43' 12"	793.69
La Villita	Lavillita	18° 02' 49"	102° 10' 53"	61
Los Palillos	Lospalillos	19° 32' 22"	102° 32' 06"	1190
Malpaso	Malpaso	17° 11' 58"	93° 36' 17"	192
Mazatepec	Maz	19° 57' 39.2"	97° 26' 48.3"	0
Mocúzari	Mcu	27° 13' 28.8"	109° 06' 14.6"	0
Moctezuma	Moc	29° 40' 44.0"	109° 39' 12.2"	0
Novillo	Nov	28° 58' 38.4"	109° 38' 34.2"	0
Cristóbal Obregón	Obregon	16° 26' 29"	93° 28' 01"	900
Ocoatepec	Ocoatepec	17° 13' 30"	93° 09' 35"	1450
Oviachic	Ovi	27° 49' 19.3"	109° 53' 16.4"	0
Panches	Panches	18° 53' 00"	102° 13' 19"	197
Papalutla	Papalutla	18° 01' 15"	98° 53' 18"	642.89
Peñitas	Penitas	17° 26' 42"	93° 27' 28"	95
Paso Nácori	PNa	29° 25' 10.6"	109° 05' 09.8"	0
Rómulo Calzada	RCa	17° 21' 14"	93° 33' 06"	97
27 de Septiembre	S27	26° 30' 34.1"	108° 34' 33.1"	0
San Antonio	Sanantonio	18° 16' 25"	101° 45' 01"	200
San Cristóbal de las Casas	Sancristobal	16° 43' 38"	92° 36' 11"	2135
San Cristóbal	Sancristobalguerrero	18° 10' 19"	100° 28' 43"	275
San Juan	Sanjuan	17° 55' 12"	99° 31' 00"	471.37
Sayula	Sayula	17° 24' 08"	93° 19' 55"	229
Santo Domingo	SDo	16° 27' 09"	93° 03' 23"	500
Sierra Morena	Sierramorena	16° 09' 08"	93° 35' 28"	1120
Sanalona	Snl	24° 48' 51.9"	107° 08' 59.4"	0
Santa Rosa	SRo	20° 54' 33.8"	103° 42' 20.2"	0

Tabla 2: EMAs tratadas analíticamente en este trabajo.

3.3. TIPOS DE PLUVIÓMETROS

Un pluviómetro es un instrumento que mide la cantidad de agua atmosférica precipitada en un determinado lugar. La unidad de medida es en milímetros (mm). Los milímetros (mm) son equivalentes a los litros por metro cuadrado.

Existen dos modelos básicos de pluviómetros: de lectura directa y registradores.

Los pluviómetros lectura directa tienen un recipiente y un embudo. El agua recogida en el recipiente se introduce en una probeta graduada, y se determina entonces la cantidad de lluvia caída, es decir, la altura en mm de la capa de agua que se habría podido formar sobre la superficie horizontal e impermeable, de no evaporarse nada.

Los pluviómetros registradores pueden ser de tres tipos: de pesada, de cuba basculante o de flotador, según el procedimiento que empleen para registrar la medición una vez alcanzado cierto nivel.

a) De flotador

La lluvia cae sobre el colector y penetra en el cilindro, en el que flota una boya y su movimiento ascendente queda registrado por medio de un sistema electrónico.

b) De pesada

La precipitación se recoge en una vasija que va montada sobre una balanza de pesas o resorte con un mecanismo que acciona un sistema electrónico de registro.

c) De cuba basculante

La lluvia que cae sobre el colector pasa a unos pequeños cangilones o recipientes montados simétricamente con respecto a un eje central sobre una balanza. Cuando ha sido recogida una cierta cantidad de agua, generalmente 0,2 mm de altura de lluvia, la balanza se inclina, el cangilón se vacía y automáticamente el otro cangilón se sitúa bajo el embudo. Cada cambio se registra por medio de sistemas electrónicos.

3.3.1. PLUVIÓMETROS DE LAS EMAs

Los pluviómetros utilizados en las EMAs son marca SEBA modelo RG50, figura 7, marca Vaisala modelo VRG101, figura 8 y marca Campbell modelo ARG100, figura 9.

El pluviómetro SEBA RG50 (figura 7) es un pluviómetro de pesada con una superficie de recogida de 200 cm², altura de 346 mm y resolución de 0,10 mm por impulso.



Figura 7: Pluviómetro SEBA RG50

El pluviómetro Vaisala VRG101 (figura 8) es un pluviómetro de cuba basculante con una superficie de recogida de 400 cm², resolución de 0,10 mm y precisión de 0,20 mm (para eventos de precipitación superiores a 0,5 mm).



Figura 8: Pluviómetro Vaisala VRG101

El pluviómetro Campbell ARG100 (figura 9) es un pluviómetro de pesada con un diámetro de captación de 254 mm, altura total de 340 mm, sensibilidad de 0,20mm de lluvia por vuelco y salida mediante cierre de contacto en el momento de la basculación.



Figura 9: Pluviómetro Campbell ARG100

Estos pluviómetros son calibrados individualmente por cada una de las empresas fabricantes durante su proceso de producción.

3.4. DATOS EMPLEADOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Para esta parte del trabajo se han elegido las mismas 42 EMAs citadas anteriormente, con el mismo objeto de utilizar series de datos de una antigüedad mínima adecuada (tabla 3).

Estado	EMAs	ID	Periodo
Nayarit	Aguamilpa	Agu	2008-2009
Chiapas	Angostura	Angostura	2008-2009
Michoacán	Arteaga	Arteaga	2008-2009
Guerrero	Atenango del Río	Atenango	2008-2009
Sinaloa	Bacurato	Bac	2008-2009
Guerrero	Caimanera	Caimanera	2008-2009
Chiapas	Chicoasén	Chicoasen	2008-2009
Chihuahua	Chínipas	Chp	2008-2009
Edo. de Mexico	Colorines	Colorines	2008-2009
Sinaloa	Comedero	Com	2008-2009
Sonora	El Cubil	ElC	2008-2009
Guerrero	El Caracol	Elcaracol	2008-2009
Michoacán	El Devanador	Eldevanador	2008-2009
Puebla	El Fraile	Elfraile	2008-2009
Chihuahua	Huites	Hui	2008-2009
Sinaloa	Humaya	Hum	2008-2009
Michoacán	Infiernillo	Infiernillo	2008-2009
Puebla	Ixcamilpa	Ixcamilpa	2008-2009
Michoacán	La Villita	Lavillita	2007-2009
Michoacán	Los Palillos	Lospalillos	2008-2009
Chiapas	Malpaso	Malpaso	2008-2009
Puebla	Mazatepec	Maz	2008-2009
Sonora	Mocúzari	Mcu	2008-2009
Sonora	Moctezuma	Moc	2008-2009
Sonora	Novillo	Nov	2008-2009
Chiapas	Cristóbal Obregón	Obregon	2008-2009
Chiapas	Ocoatepec	Ocoatepec	2008-2009
Sonora	Oviachic	Ovi	2008-2009
Michoacán	Panches	Panches	2008-2009
Guerrero	Papalutla	Papalutla	2008-2009
Chiapas	Peñitas	Penitas	2008-2009

Estado	EMAs	ID	Periodo
Sonora	Paso Nácori	PNa	2008-2009
Chiapas	Rómulo Calzada	RCa	2008-2009
Sinaloa	27 de Septiembre	S27	2008-2009
Guerrero	San Antonio	Sanantonio	2008-2009
Chiapas	San Cristóbal de las Casas	Sancristobal	2008-2009
Guerrero	San Cristóbal	Sancristobalguerrero	2008-2009
Guerrero	San Juan	Sanjuan	2008-2009
Chiapas	Sayula	Sayula	2008-2009
Chiapas	Santo Domingo	SDo	2008-2009
Chiapas	Sierra Morena	Sierramorena	2008-2009
Sinaloa	Sanalona	Snl	2008-2009
Jalisco	Santa Rosa	SRO	2008-2009

Tabla 3: Longitud de la serie de registros para cada EMA.

3.5. EMAs INCORPORADAS A ESTE TRABAJO

Con el propósito de disponer de más datos para el análisis de la densidad óptima de estaciones meteorológicas, se han incorporado a este trabajo, los datos pertenecientes a las 63 EMAs utilizadas en la tesis doctoral titulada *Análisis de las precipitaciones extremas en México*, y realizada por *D. Juan Francisco Rubí Maldonado*. La distribución de estas EMAs la podemos observar en la figura 10.

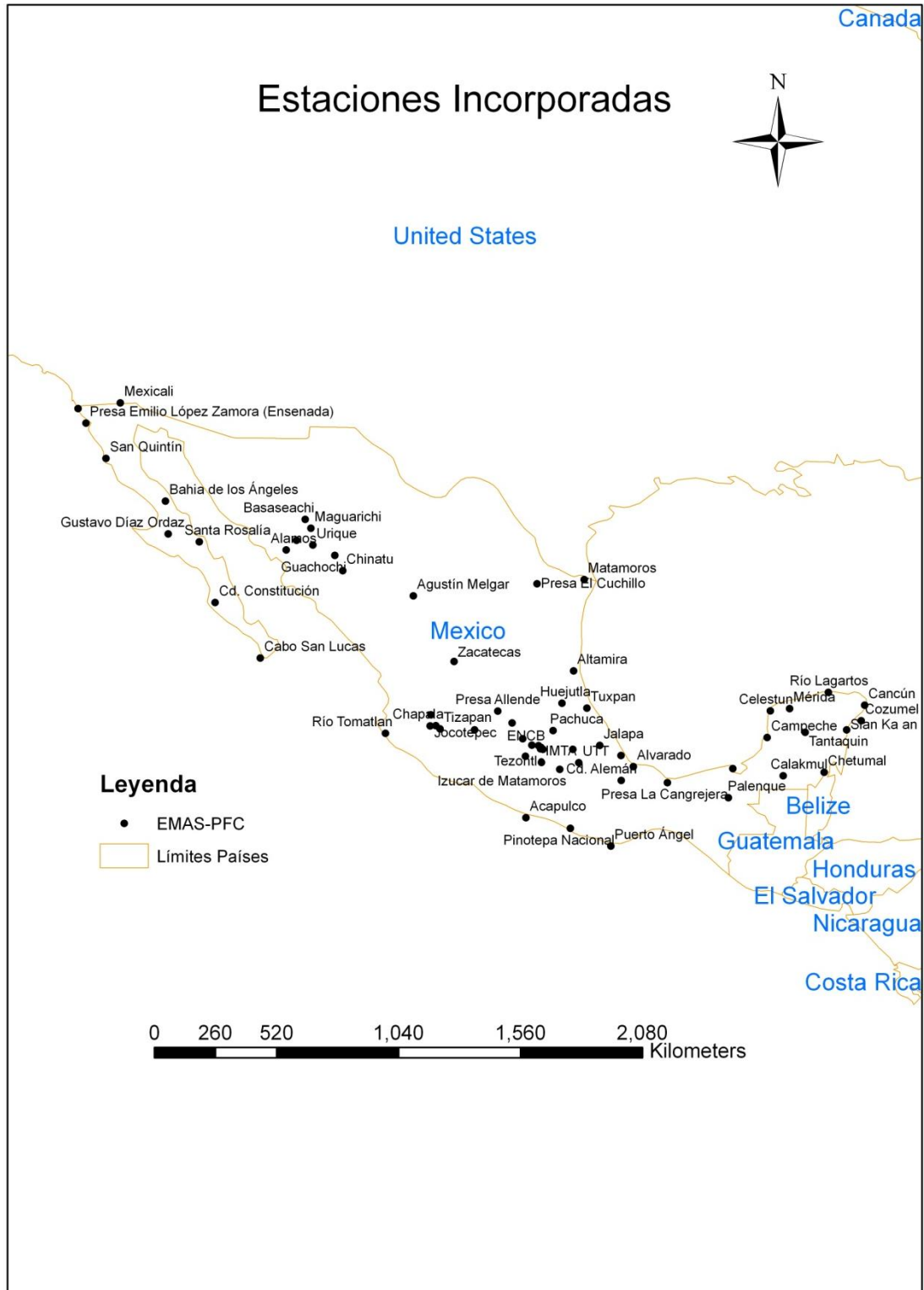


Figura 10: Distribución de las EMAs incorporadas en este trabajo.

Los valores obtenidos de estas EMAs incorporadas y que han sido utilizados en este trabajo, son los valores pertenecientes al parámetro k. Estos valores se muestran a continuación en la tabla 4.

Nombre	X	Y	K
Acapulco	-99,75	16,76	7,81
Agustín Melgar	-104,07	25,26	14,60
Alamos	-108,94	27,02	15,05
Altamira	-97,93	22,39	11,11
Alvarado	-95,63	18,72	9,20
Angamacutiro	-101,72	20,13	18,21
Atacomulco	-99,87	19,79	13,58
Bahia de los Ángeles	-113,56	28,90	11,94
Basaseachi	-108,21	28,20	11,64
Cabo San Lucas	-109,93	22,88	11,02
Calakmul	-89,89	18,37	14,98
Campeche	-90,51	19,84	15,69
Cancún	-86,78	21,08	8,92
Cd. Alemán	-96,10	18,19	12,54
Cd. Constitución	-111,66	25,01	14,44
Cd. del Carmen	-91,82	18,65	11,01
Celestun	-90,38	20,86	14,67
Centro de Previsión del Golfo	-96,11	19,14	11,63
Cerro Catedral	-99,52	19,54	10,00
Chapala	-103,20	20,29	14,91
Chetumal	-88,33	18,50	10,78
Chinatu	-106,77	26,23	16,70
Chinipas	-108,54	27,39	15,52
Cozumel	-86,91	20,48	8,51
ENCB	-99,17	19,45	15,29
Guachochi	-107,07	26,81	13,85
Gustavo Díaz Ordaz	-113,46	27,64	12,67
Huamantla	-97,95	19,38	18,06
Huejutla	-98,37	21,15	10,89
Huimilpan	-100,28	20,39	16,83
IMTA	-99,16	18,88	13,81
Izucar de Matamoros	-98,45	18,62	13,56
Jalapa	-96,92	19,53	12,33
Jocotepec	-103,42	20,28	12,63
Los Colomos	-103,39	20,71	15,77
Maguarichi	-107,99	27,86	15,02
Matamoros	-97,52	25,89	13,15

Nombre	X	Y	K
Mérida	-89,65	20,95	15,78
Mexicali	-115,29	32,67	13,22
Nevado de Toluca	-99,77	19,12	7,31
Pachuca	-98,71	20,10	15,86
Palenque	-91,99	17,53	10,72
Pinotepa Nacional	-98,05	16,35	12,14
Presa Abelardo L. Rodríguez (Tijuana)	-116,91	32,45	10,51
Presa Allende	-100,82	20,85	13,07
Presa El Cuchillo	-99,32	25,73	13,50
Presa Emilio López Zamora (Ensenada)	-116,60	31,89	8,33
Presa La Cangrejera	-94,33	18,11	7,82
Presa Madin	-99,27	19,52	16,03
Puerto Ángel	-96,50	15,67	11,62
Río Lagartos	-88,16	21,57	15,37
Río Tomatlan	-105,13	20,00	14,77
San Quintín	-115,84	30,53	10,07
Santa Rosalía	-112,27	27,34	12,22
Servicio Meteorológico Nacional	-99,20	19,40	16,56
Sian Ka an	-87,47	20,13	7,88
Tantaquin	-89,05	20,03	14,00
Tezontle	-99,10	19,39	15,20
Tizapan	-103,04	20,17	12,39
Tuxpan	-97,42	20,96	14,09
UTT	-97,72	18,87	16,55
Urique	-107,92	27,22	12,62
Zacatecas	-102,51	22,75	13,94

Tabla 4: Valores del parámetro k incorporados en este trabajo.

De esta manera, en este trabajo, se han utilizado un total de 105 EMAs para determinar la densidad óptima de estaciones meteorológicas. La distribución de las EMAs es más homogénea y la superficie representada es mayor. En la figura 11, podemos observar la distribución de todas la EMAs utilizadas en este trabajo.

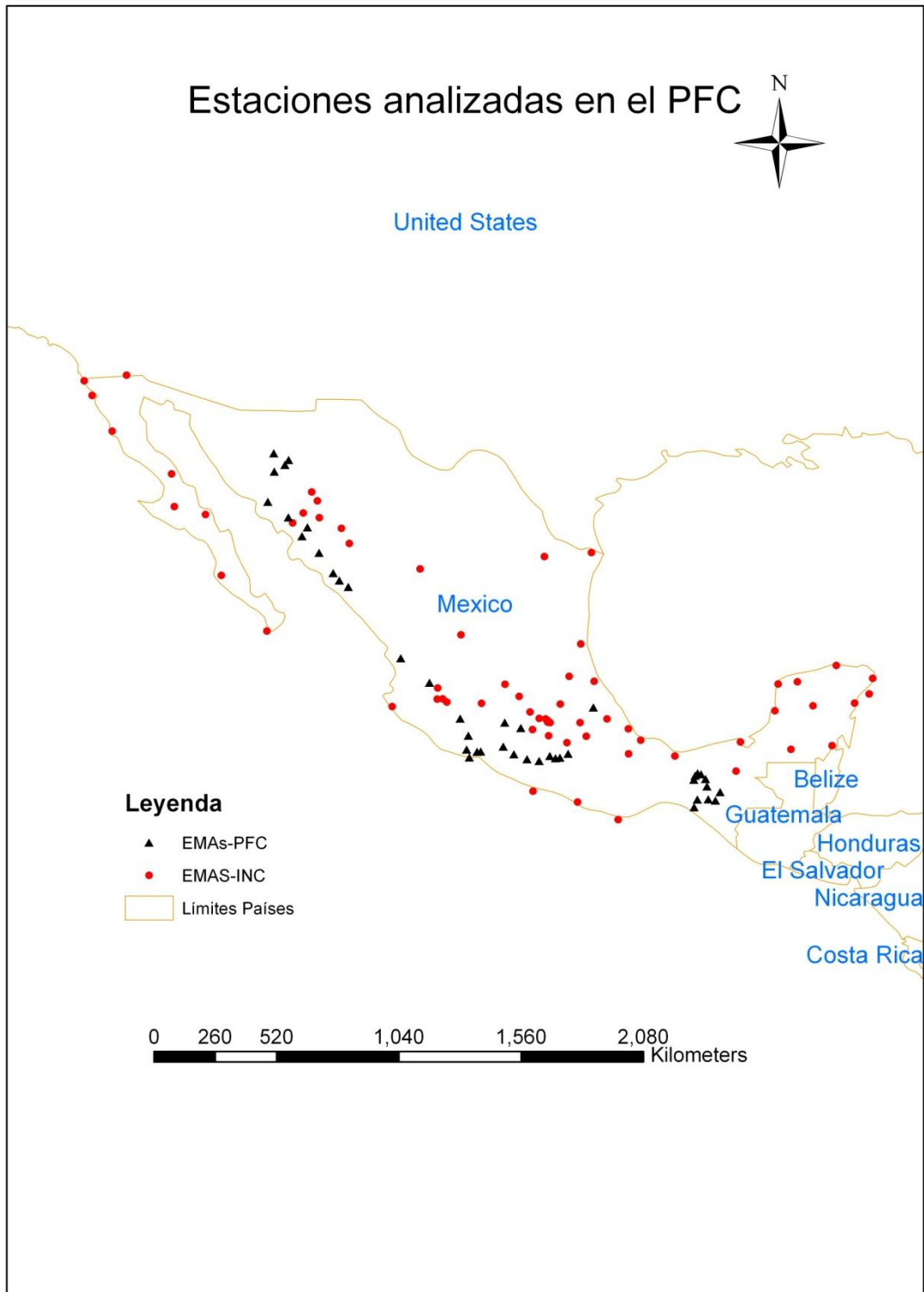


Figura 11: Distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo.

4. MÉTODOS

4.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LAS RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE LLUVIA PARA DISTINTAS ZONAS GEOGRÁFICAS

Las relaciones IDF pueden describirse matemáticamente mediante diversas expresiones (Wenzel 1982), pudiéndose obtener éstas en una localidad donde se disponga de datos de registro de precipitaciones de corta duración mediante las siguientes operaciones (Wenzel, 1982):

1. Fijar una serie de duraciones de referencia, t (60 minutos, 120, 180...) que servirán de paso de tiempo para discretizar los episodios considerados y hacer el análisis estadístico.
2. Obtener, para cada intervalo t , el máximo valor anual registrado, consiguiéndose así la serie de máximos anuales para cada duración.
3. Ajustar para cada serie de duración t una ley de distribución de probabilidad, para el caso de lluvias extremas generalmente una ley de tipo Gumbel (Kite, 1977), y calcular los cuantiles de lluvia correspondientes a cada duración analizada y a diversos períodos de retorno T .
4. Finalmente, han de ajustarse los cuantiles obtenidos a una ecuación (modelo paramétrico) caracterizada por un número variable de parámetros que normalmente oscila entre 2 y 4.

4.1.1. LEY DE DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL

En cada EMA se llevará a cabo el análisis de frecuencias de las series de precipitaciones máximas anuales para cada una de las duraciones seleccionadas mediante el ajuste de cada serie a una ley de distribución Gumbel (Kite, 1977) según la ecuación (1), empleando el método de máxima verosimilitud.

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x - \beta)]\} \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad [\text{ec. 1}]$$

siendo P la probabilidad de que un valor extremo anual X , sea inferior a un determinado valor x .

La relación entre probabilidad (P) y el periodo de retorno (T) es:

$$T = \frac{1}{1-P(X \leq x)} \quad [\text{ec. 2}]$$

Para cada una de las series de precipitaciones máximas, se asigna la probabilidad de excedencia mediante la fórmula de Gringorten (3), recomendada por Cunnane (1978) y por Chow *et al.* (1988):

$$P(X \leq x) = p = \frac{m-0,44}{n+0,12} \quad [\text{ec. 3}]$$

donde P denota la probabilidad de excedencia del elemento enésimo x_m de la serie de n datos ordenada en orden creciente, y siendo m la posición ordinal de ese elemento.

Los parámetros (α y β) de la distribución Gumbel se determinan mediante las expresiones:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}S} \quad [\text{ec. 4}]$$

(S , desviación típica de las precipitaciones máximas anuales para cada duración)

$$\beta = \bar{x} - \frac{0,5772}{\alpha} \quad [\text{ec. 5}]$$

(\bar{x} , promedio de las precipitaciones máximas anuales para cada duración)

Para cada una de las duraciones seleccionadas, los cuantiles para un periodo de retorno dado vendrán dados por la ecuación (6):

$$X = R_t^T = \beta - \frac{1}{\alpha} \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - \frac{1}{T})) \quad [\text{ec. 6}]$$

De esta forma se obtienen para distintos periodos de retorno los valores de las alturas de precipitación, R_t^T , para cada duración considerada t , así como las intensidades correspondientes r_t^T .

4.1.2. ECUACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

La relación IDF más usual, por agrupar en una sola fórmula las diferentes curvas intensidad-duración para los distintos periodos de retorno, es la ecuación (7) propuesta por Wenzel (1982), aplicable a localidades en las que existan observatorios con registros pluviométricos para duraciones de lluvia de 10 minutos a 24 h.

$$r_t^T = \frac{aT^b}{t^{c+f}} \quad [\text{ec. 7}]$$

donde r_t^T es la intensidad (mm·h-1) para la duración t (minutos) y periodo de retorno T (años), y a , b , c y f son parámetros a determinar por ajuste.

En los casos donde sólo existen datos de pluviometría de 24 h se realizan estudios de caracterización de la precipitación a escala regional, donde se analizan las razones entre las lluvias de corta duración y las precipitaciones de 1 h y/o de 24 h (Bell 1969; Chen 1983, Froehlich 1993 y 1995). A partir de mapas isopluviales de extensas regiones de los Estados Unidos de América, Chen (1983) obtuvo que la razón entre la altura de lluvia de 1 h y la de 24 h, cualquiera que fuese el periodo de retorno, (R_1^T/R_{24}^T) varía muy poco con la localización geográfica, estando acotado entre los valores de 0,1 y 0,6, con un valor medio de 0,4.

Chen (1983) utilizando tres alturas de lluvia: la de 1 h y 10 años (R_1^{10}), la de 24 h y 10 años (R_{24}^{10}), y la de 1 h y 100 años (R_1^{100}), obtuvo expresiones generalizadas para las relaciones *IDF*. Partiendo de la relación intensidad-duración expresada en la ecuación (8),

$$r = \frac{a}{(t+b)^c} \quad [\text{ec. 8}]$$

y tras multiplicar el segundo miembro por $t/60$, puede expresarse alternativamente en función de la altura de lluvia R como la ecuación (9):

$$R = \frac{a}{(t+b)^c} \frac{t}{60} \quad [\text{ec. 9}]$$

Chen (1983) estableció como relación intensidad-duración, independiente del periodo de retorno, la ecuación (10):

$$\frac{r_t^T}{r_1^T} = \frac{a_l}{(t+b)^{c_l}} \quad [\text{ec. 10}]$$

donde r_t^T es la intensidad (mm·h-1) de la lluvia de duración t (minutos u horas) y T (años) de periodo de retorno, así r_1^T es la intensidad de la lluvia de 1 h y T años. La expresión (10) puede escribirse de la forma de la ecuación (11):

$$r_t^T = \frac{a_l}{(t+b)^{c_l}} \quad [\text{ec. 11}]$$

idéntica a la ecuación (8) con $a = a_l r_1^T$; $b = b_l$ y $c = c_l$. Los parámetros de ajuste a_l , b_l y c_l pueden obtenerse a partir de los datos conocidos de precipitación de una estación dada mediante el método de los mínimos cuadrados (Chow *et al.*, 1988).

Chen (1983) propuso la siguiente relación, expresada en la ecuación (12):

$$\frac{r_t^T}{r_t^{10}} = \frac{R_t^T}{R_t^{10}} = \log(10^{2-x} T_p^{x-1}) \quad [\text{ec. 12}]$$

siendo T_p el periodo de retorno para las series de duración parcial, y x el cociente R_t^{100}/R_t^{10} .

El valor de T_p está relacionado al periodo de retorno de las series de máximos anuales T , por la siguiente expresión (Kite 1977):

$$T_p = \left[\ln\left(\frac{t}{T-1}\right) \right]^{-1} \quad [\text{ec. 13}]$$

Al incorporar la ecuación (12) en la ecuación (11) se necesita especificar la ecuación (12) para 1 h, de manera que se tendrá:

$$\frac{r_l^t}{r_l^{10}} = \frac{R_l^T}{R_l^{10}} = \log(10^{2-x} T_p^{x-1}) \quad [\text{ec. 14}]$$

en la que x vale ahora R_l^{100}/R_l^{10} . Sustituyendo la ecuación (14) en la ecuación (11) y teniendo en cuenta (13) se obtiene:

$$r_t^T = \frac{a_l r_l^{10} \log \left\{ 10^{2-x} \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^{(1-x)} \right\}}{(t+b_l)^{c_l}} \quad [\text{ec. 15}]$$

o bien

$$R_t^T = \frac{a_l R_l^{10} \log \left\{ 10^{2-x} \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^{(1-x)} \right\}}{(t+b_l)^{c_l}} \left(\frac{t}{60} \right) \quad [\text{ec. 16}]$$

que constituyen las relaciones propuestas por Chen.

Si en la ecuación (11) se toma como referencia la intensidad de lluvia de 24 h en lugar de la intensidad de la lluvia de 1 h, la ecuación (11) se transforma en:

$$r_l^T = \frac{a_{24} r_{24}^T}{(t+b_{24})^{c_{24}}} \quad [\text{ec. 17}]$$

Comparando las ecuaciones (11) y (17) se obtienen las relaciones entre parámetros $a_{24}=a_l r_l^T/r_{24}^T$; $b_{24}=b_l$ y $c_{24}=c_l$. Las expresiones (15) y (16) se transforman entonces en

$$r_t^T = \frac{a_{24} r_{24}^{10} \log \left\{ 10^{2-x} \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^{(1-x)} \right\}}{(t+b_{24})^{c_{24}}} \quad [\text{ec. 18}]$$

$$R_t^T = \frac{a_{24} R_{24}^{10} \log \left\{ 10^{2-x} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^{(1-x)} \right\}}{(t+b_{24})^{c_{24}}} \left(\frac{t}{60 \cdot 24} \right) \quad [\text{ec. 19}]$$

donde $x=R_{24}^{100}/R_{24}^{10}$. Estas ecuaciones permiten obtener las relaciones IDF de los datos de precipitación de 24 h.

Dado que las curvas IDF presentan una sensible afinidad entre ellas, y pueden representarse mediante una única ley adimensional, expresando las intensidades como porcentajes respecto a una intensidad media asociada a una duración dada de referencia, tomando como duración de referencia la de 24 h, por ser la disponible en todos los observatorios, la ley adimensional para una familia de curvas es de la forma:

$$\frac{r_t^T}{r_{24}^T} = \phi(t) \quad [\text{ec. 20}]$$

Témez (1987) caracteriza esta ley mediante el cociente r_t^T/r_{24}^T , de manera que la ecuación (20) llega a ser:

$$r_t^T = r_{24}^T \left(\frac{r_t^T}{r_{24}^T} \right)^{\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{0,4}} \quad [\text{ec. 21}]$$

El cociente r_t^T/r_{24}^T es independiente del periodo de retorno y depende de la localización geográfica de la zona.

La ecuación (21) es modificada por Zapata *et al.* (2009) para una pequeña región del sueste de España, expresándola como:

$$r_t^T = r_{24}^T \left(\frac{r_t^T}{r_{24}^T} \right)^{\alpha + \beta \ln t} \quad [\text{ec. 22}]$$

en la que los coeficientes α y β pueden determinarse mediante técnicas de optimización a partir de los datos de intensidades observados.

4.1.3. COMPARACIÓN DE ESTIMACIONES

Para poder comparar las estimaciones realizadas por cada una de las expresiones propuestas se ha definido el coeficiente de variación como el cociente entre la raíz cuadrada del error cuadrático medio y la media de los valores de precipitación observados:

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{i0} - X_{ic})^2}{n}}}{\frac{\sum X_{i0}}{n}} \quad [\text{ec. 23}]$$

donde x_{i0} son los valores obtenidos de las alturas de lluvia para las diferentes duraciones y periodos de retorno, x_{ic} las alturas de lluvia calculadas para las diferentes duraciones y periodos de retorno y n el número de datos de precipitación (producto del número de duraciones de los episodios por el número de periodos de retorno elegidos). Estos análisis también se han realizado con un índice de ajuste (i_a) (Willmott, 1982):

$$i_a = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^n (X_{i0} - X_{ic})^2]}{\sum_{i=1}^n (|X_{i0}^*| + |X_{ic}^*|)^2} \quad [\text{ec. 24}]$$

siendo:

$$|X_{i0}^*| = |X_{i0} - \overline{X_{i0}}| \quad [\text{ec. 25}]$$

$$|X_{ic}^*| = |X_{ic} - \overline{X_{ic}}| \quad [\text{ec. 26}]$$

y $\overline{X_{i0}}$ es la media de los datos obtenidos.

4.2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN

4.2.1. PARÁMETRO K

En el presente trabajo, a partir de los registros disponibles para cada EMA y año, se obtendrán en cada una de ellas las series de alturas de precipitación máximas (en mm) para los intervalos de 1 y de 24 horas y con estos datos se conseguirán las intensidades de lluvia correspondientes.

En este sentido, se debe destacar que la intensidad (r), según Chow *et al.* (1988), se define como la tasa temporal de precipitación, esto es, la altura por unidad de tiempo ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), expresándose como:

$$r = \frac{R}{t} \quad [\text{ec. 27}]$$

donde R es la altura de lluvia en mm y t es la duración dada comúnmente en horas.

Así, el parámetro k queda relacionado con las precipitaciones y las intensidades, como:

$$k = \frac{r_1}{r_{24}} = \frac{R_1}{\frac{R_{24}}{24}} = 24 \cdot \frac{R_1}{R_{24}} \quad [\text{ec. 28}]$$

Los valores obtenidos de k en cada EMA para cada año se promediarán para obtener un valor del parámetro adimensional k para cada estación.

Tal y como indica Témez (1987), esta relación (k) es independiente del periodo de retorno, dependiente de cada zona y es función de la distribución temporal de sus aguaceros tipo. Así, mediante la ecuación (21) de Témez (1987) o la de Témez modificada (22) (Zapata *et al.*, 2009) y los valores calculados de k , pueden estimarse las precipitaciones de corta duración de una zona a partir de los datos de precipitación diaria.

4.3. PREPARACIÓN DE LOS DATOS INICIALES

Para poder utilizar los datos obtenidos por las EMAs, e introducirlos en el programa realizado en Visual Basic, es necesario que los datos contemplen un orden correlativo, sin que exista salto entre las horas, ya que la estación registra datos horarios. Como podemos observar en la tabla 5, esto no sucede así, las horas no son correlativas.

Fecha	Vel. Viento	Dir. Viento	Tª Ambiente	Hª Relativa	Precipitación	Radiación Solar	Presión Atm.
02/01/2008 4:00	2,718	75,96	24,58	32,39	0	0,404	989
02/01/2008 5:00	3,935	14,67	25,71	31,07	0	0,404	989
02/01/2008 6:00	5,233	357,1	25,78	31,41	0	0,404	990
02/01/2008 8:00	3,194	103,3	26,01	28,57	0	123,9	991
02/01/2008 9:00	4,804	126,2	26,67	26,92	0	346,3	992
02/01/2008 10:00	5,829	106,6	27,2	28,33	0	531,3	991

Tabla 5: Ejemplo de tabla con errores.

Debido a esto, hay que localizar en cada EMA, que horas son las que faltan e introducir un espacio en blanco en su lugar, para que la posterior ejecución del programa no sea errónea. En la tabla 6 se muestra la creación de los espacios en blanco.

Fecha	Vel. Viento	Dir. Viento	Tª Ambiente	Hª Relativa	Precipitación	Radiación Solar	Presión Atm.
02/01/2008 4:00	2,718	75,96	24,58	32,39	0	0,404	989
02/01/2008 5:00	3,935	14,67	25,71	31,07	0	0,404	989
02/01/2008 6:00	5,233	357,1	25,78	31,41	0	0,404	990
02/01/2008 7:00							
02/01/2008 8:00	3,194	103,3	26,01	28,57	0	123,9	991
02/01/2008 9:00	4,804	126,2	26,67	26,92	0	346,3	992
02/01/2008 10:00	5,829	106,6	27,2	28,33	0	531,3	991

Tabla 6: Ejemplo de tabla, con espacio en blanco introducido.

Una vez reparados todos estos errores, procedemos a separar en hojas de Excel diferentes, cada año del que se disponen datos climáticos, en este caso 2008-2009. Esto lo podemos observar en la figura 12.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Fecha	Velocidad Viento	Direccion Viento	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Precipitacion Pluvial	Radiacion Solar	Presion Atmosferica
2	01/01/2009 0:00							
3	01/01/2009 1:00	0,361	120	21,04	76	0	0,148	984
4	01/01/2009 2:00	1,575	143,9	20,69	91,5	0	0,074	984
5	01/01/2009 3:00	1,004	267,7	18,74	85	0	0,202	984
6	01/01/2009 4:00	2,264	110,3	20,45	78,5	0	0,02	984
7	01/01/2009 5:00	3,269	117,7	20,54	75,81	0	0,175	985
8	01/01/2009 6:00	3,743	117,5	20,2	80,2	0	0,108	985
9	01/01/2009 7:00	4,823	115,7	20,21	71,5	0	5,4	986
10	01/01/2009 8:00	5,43	115,5	20,52	69,27	0	94,8	986

Figura 12: Ejemplo de hoja de Excel separada por años.

De esta manera tenemos, para cada EMA, dos hojas de Excel, una para el año 2008 y otra para el año 2009. A cada una de ellas se le va a rodar el programa elaborado mediante programación en Visual Basic Microsoft Excel (Anexo I), con el cual vamos a obtener los valores máximos de cada variable medida durante ese año. Tabla 7.

Velocidad Viento	Dirección Viento	Tª Ambiente	Hª Relativa	Precipitación	Radiación Solar	Presión Atmosférica
29,45	307,6	38,9	96,4	105,8	1061	964
7,93	303,1	37,6	96,2	26,5	1045	964
7,75	300,7	37,5	96,2	22,8	1029	963
7,51	297,1	37,5	96,2	21,5	1021	963
7,43	296,9	37,2	96,2	19,8	1012	961

Tabla 7: Ejemplo de tabla, con valores máximos de cada variable.

4.4. SOFTWARE EMPLEADO

Todos los cálculos, ajustes de parámetros de fórmulas y estadísticas se realizarán con la aplicación de software Excel (Microsoft Corporation).

Los mapas con las ubicaciones de las EMAs y los cromáticos se generarán con el software de SIG (Sistema de Información Geográfica) Arc Gis 10.0.

4.5. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

Para los mapas de ubicación se van a utilizar las coordenadas de cada una de las EMAs. Una vez ubicadas las EMAs, se podrán observar en que zonas la densidad de EMAs es mayor. Para ello, se van a incorporar buffer con diferentes radios de influencia a cada EMA (a 25 Km, a 50 Km, a 75 Km y a 100 Km) y así se observara con más facilidad las zonas de solape entre las EMAs.

También se va a realizar un estudio más detallado en esas zonas donde la densidad de EMAs es mayor. En estas zonas se va a calcular la distancia que hay entre las EMAs, los incrementos que sufre el parámetro k entre las EMAs y los incrementos de altitud entre EMAs, para observar si existe alguna relación entre la distancia y la altitud con respecto al parámetro k.

4.6. METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA DISTANCIA ENTRE LAS EMAs

Para calcular la distancia que existe entre las diferentes EMAs, se va a utilizar el programa informático DistAz, obtenido en http://airy.ual.es/www/DistAz_spanish.htm.

4.6.1. OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Este programa de ordenador ha sido desarrollado para calcular la *distancia* y el *acimut* para dos puntos sobre la superficie terrestre. Si la Tierra es considerada como una esfera, la distancia entre dos puntos sobre ella es medida a lo largo del círculo máximo, definido por esos dos puntos. El acimut también puede ser calculado para esos dos puntos como el ángulo, medido desde el norte y hacia el este, entre el meridiano que pasa por el primer punto y el círculo máximo, que conecta los puntos primero y segundo. Para ello, se pueden usar las siguientes fórmulas:

$$\cos \Delta = \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos(90^\circ - \varphi_2) - \cos \Delta \cos(90^\circ - \varphi_1)}{\sin \Delta \sin(90^\circ - \varphi_1)}$$

donde las variables son:

$$\varphi_1 = \text{LAT1} \quad \lambda_1 = \text{LONG1}$$

$$\varphi_2 = \text{LAT2} \quad \lambda_2 = \text{LONG2}$$

$$\Delta = \text{Distancia} \quad \alpha = \text{Acimut}$$

Hay que notar que la distancia entre los puntos primero y segundo se obtiene en forma de un ángulo en radianes. Para pasarla a km, tenemos que multiplicar por un valor adecuado del radio. Este valor es obtenido mediante el teorema de Euler, dado por:

$$K_n = K_1 \cos^2 A + K_2 \sin^2 A \rightarrow (1/R) = (1/\rho_1) \cos^2 A + (1/\rho_2) \sin^2 A$$

donde A es el acimut (calculado anteriormente) y los radios de curvatura son:

$$R = \rho_1 = (1/K_1) = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} = \rho_M \rightarrow A = 0 \text{ (meridianos } d\lambda = 0)$$

$$R = \rho_2 = (1/K_2) = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}} = \rho_N \rightarrow A = 90^\circ \text{ (paralelos } d\phi = 0)$$

La latitud usada en estas fórmulas por el programa de ordenador, es la latitud del primer punto, siendo a el valor del semieje mayor del elipsoide de referencia (sistema GRS80) y e la excentricidad dada por:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

donde b es el valor del semieje menor del elipsoide de referencia (sistema GRS80).

4.6.2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El programa *DistAz* está contenido en el fichero ZIP llamado "DistAz.zip". Cuando se captura el fichero ZIP y se descomprime, se obtienen los ficheros *DistAz.exe* e *input.dat*. El fichero *DistAz.exe* contiene un programa (en FORTRAN para PC) para calcular la distancia y el acimut, de dos puntos sobre la superficie terrestre. El fichero llamado *input.dat* es un fichero ASCII con la latitud y longitud de los puntos de

computación. Al final de la computación, se obtiene un nuevo fichero llamado output.dat, que contiene los resultados: la distancia o el acimut, de los puntos listados en el fichero input.dat. El fichero input.dat tiene el formato:

NOPTION

LAT1,	LONG1,	LAT2,	LONG2
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

NOPTION = Con valor 1 selecciona el cálculo de la distancia. Con valor 2 selecciona el cálculo del acimut. La distancia o el acimut, son computados para cada par de puntos listados en el fichero input.dat.

LAT1, LONG1 = Coordenadas geográficas del primer punto del par, latitud en grados (positivo hacia el norte) y longitud en grados (positivos hacia el este).

LAT2, LONG2 = Coordenadas geográficas del segundo punto del par, latitud en grados (positivos hacia el norte) y longitud en grados (positivos hacia el este).

5. RESULTADOS

5.1. PARÁMETROS a, b, c y f

Al igual que en el apartado anterior, también hemos obtenido los parámetros a, b, c y f, para cada una de las 42 EMAs (Tabla 8).

Id Estación	Latitud °	Longitud °	a	b	c	f
Agu	21,84	104,80	176360,58	0,13	1,48	2090,56
Angostura	16,40	92,78	418133,73	0,16	1,59	4706,86
Arteaga	18,36	102,29	819,41	0,12	0,73	0,00
Atenango	18,11	99,10	1239,77	0,11	0,86	0,00
Bac	25,87	107,93	6245,68	0,14	1,12	122,56
Caimanera	18,46	100,89	18802,60	0,13	1,17	199,92
Chicoasen	16,94	93,10	12033,71	0,12	1,07	97,10
Colorines	19,18	100,22	3803,91	0,07	1,03	86,35
Com	24,57	106,81	5377,39	0,15	1,00	0,00
EIC	29,23	109,24	1436,50	0,15	0,85	0,00
Elcaracol	17,98	99,98	1765,48	0,16	0,89	0,00
Eldevanador	19,38	100,83	832,84	0,09	0,76	0,00
Elfraile	18,19	98,40	4773,56	0,11	1,10	30,84
Hui	26,85	108,37	2105,04	0,13	0,80	0,00
Hum	25,10	107,39	123929,65	0,16	1,45	1327,00
Infiernillo	18,27	101,89	424,09	0,11	0,64	0,00
Ixcamilpa	18,04	98,72	3564,86	0,10	0,98	11,43
Lavillita	18,05	102,18	883,33	0,11	0,61	0,00
Lospalillos	19,54	102,54	7032,20	0,12	1,05	109,15
Malpaso	17,20	93,60	154890,99	0,08	1,49	3788,26
Maz	19,96	97,45	1026,34	0,12	0,61	0,00
Mcu	27,22	109,10	4647,29	0,13	0,93	0,00
Moc	29,68	109,65	4135,26	0,15	0,99	0,00
Nov	28,98	109,64	17758,05	0,16	1,18	105,75
Obregon	16,44	93,47	4270,50	0,12	1,07	36,60
Ocotepec	17,23	93,16	357,73	0,08	0,49	0,00
Ovi	27,82	109,89	548,53	0,15	0,48	0,00
Panches	18,88	102,22	13131,20	0,14	1,17	140,54
Papalutla	18,02	98,89	393,79	0,10	0,68	0,00
Penitas	17,45	93,46	96,70	0,12	0,16	0,00
PNa	29,42	109,09	4313,92	0,14	1,08	67,60
RCa	17,35	93,55	89,00	0,12	0,17	0,00
S27	26,51	108,58	326185,23	0,18	1,41	1935,80
Sanantonio	18,27	101,75	4856,16	0,13	1,03	43,43
Sancristobal	16,73	92,60	38118,88	0,12	1,35	913,83
Sancristobalguerrero	18,17	100,48	2951,11	0,10	0,96	0,00
Sanjuan	17,92	99,52	3698,73	0,13	1,07	0,00
Sayula	17,40	93,33	1212,48	0,09	0,65	7,03
SDo	16,45	93,06	2931,61	0,17	0,95	0,00
Sierramorena	16,15	93,59	12776,27	0,13	0,97	258,46
Snl	24,81	107,15	1406,61	0,14	0,69	0,00
SRo	20,91	103,71	5951,77	0,11	1,03	42,51

Tabla 8: Valores de los parámetros a, b, c y f, para las EMAs analizadas en este trabajo.

5.2. CURVAS IDF

Con los parámetros a, b, c y f, y mediante una serie de cálculos, obtenemos las curvas IDF de cada una de las EMAs. A continuación en las figuras 13, 14, 15 y 16, se muestran algunos ejemplos de estas curvas IDF. En el Anexo II, podemos ver todas las curvas IDF de las EMAs.

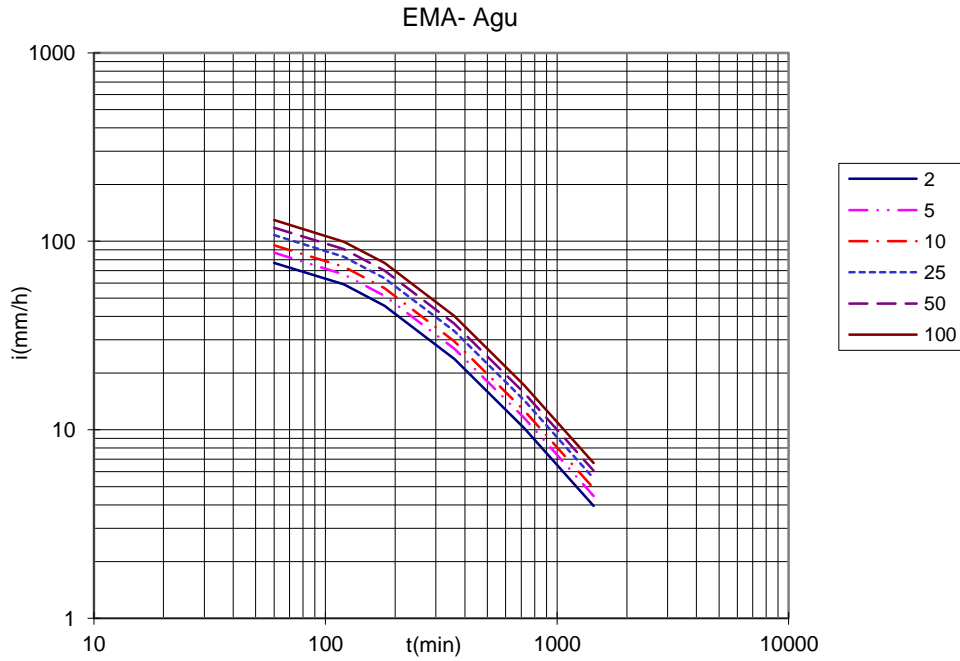


Figura 13: Curvas IDF de la EMA Aguamilpa.

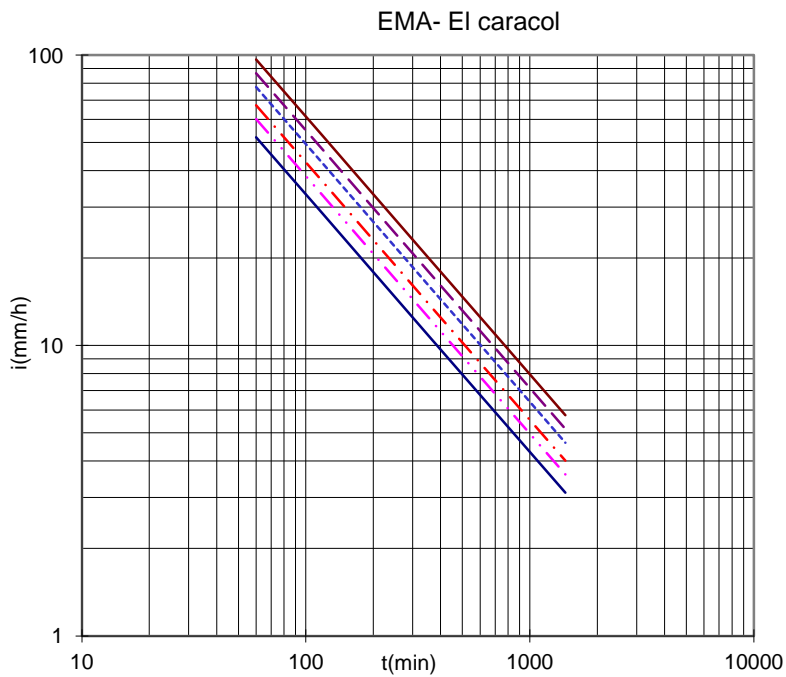


Figura 14: Curvas IDF de la EMA El Caracol.

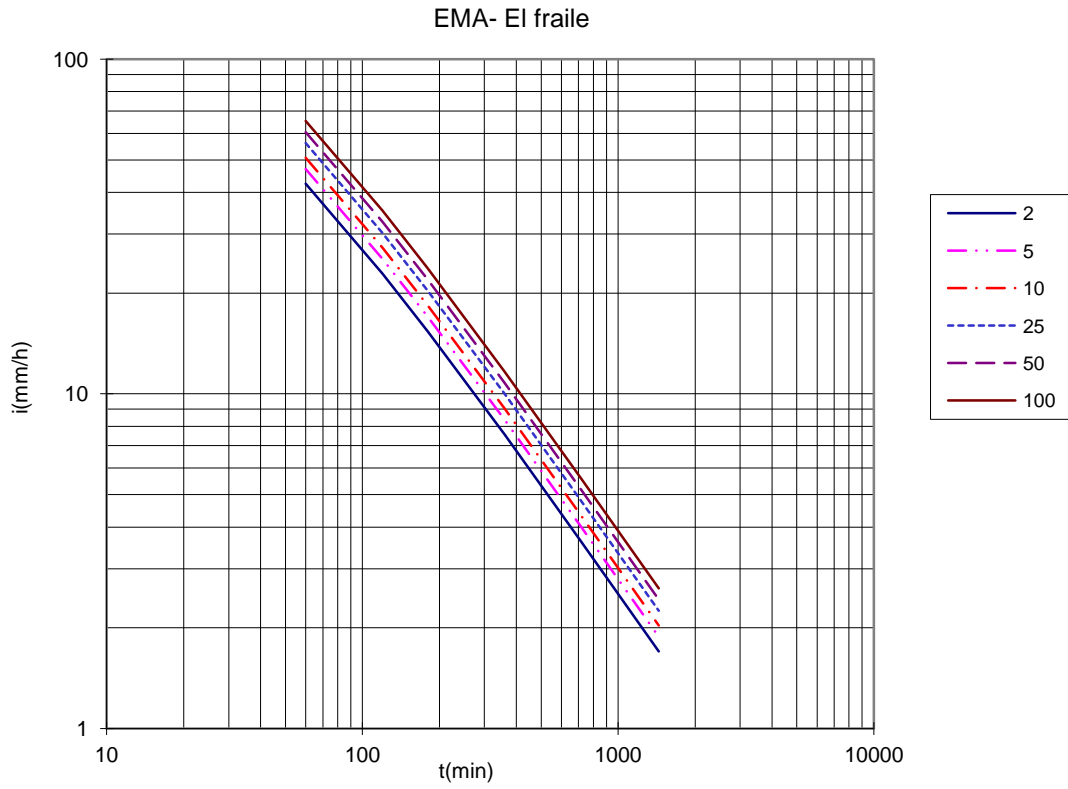


Figura 15: Curvas IDF de la EMA El Fraile.

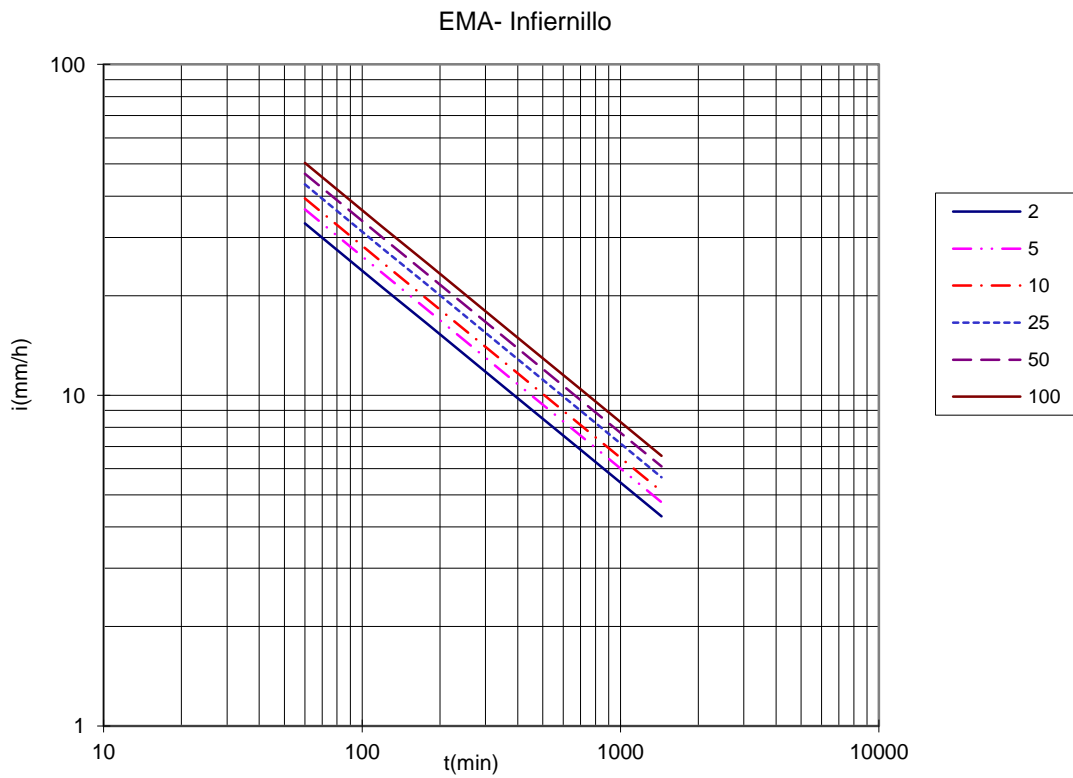


Figura 16: Curvas IDF de la EMA Infiernillo.

5.3. PARÁMETRO K

Con los valores de precipitación máximos calculados (Anexo III), se han obtenido los valores medios del parámetro k para cada una de las 42 EMAs utilizadas en el trabajo (Tabla 9).

Id Estación	Latitud °	Longitud °	K
Agu	21,84	104,80	11,02
Angostura	16,40	92,78	10,00
Arteaga	18,36	102,29	10,19
Atenango	18,11	99,10	11,44
Bac	25,87	107,93	9,37
Caimanera	18,46	100,89	11,44
Chicoasen	16,94	93,10	12,52
Colorines	19,18	100,22	10,61
Com	24,57	106,81	12,24
EIC	29,23	109,24	11,46
Elcaracol	17,98	99,98	9,05
Eldevanador	19,38	100,83	12,16
Elfraile	18,19	98,40	13,48
Hui	26,85	108,37	9,58
Hum	25,10	107,39	10,99
Infiernillo	18,27	101,89	10,89
Ixcamilpa	18,04	98,72	13,58
Lavillita	18,05	102,18	7,82
Lospalillos	19,54	102,54	8,80
Malpaso	17,20	93,60	9,28
Maz	19,96	97,45	7,20
Mcu	27,22	109,10	11,50
Moc	29,68	109,65	3,00
Nov	28,98	109,64	11,29
Obregon	16,44	93,47	11,12
Ocotepec	17,23	93,16	4,12
Ovi	27,82	109,89	8,64
Panches	18,88	102,22	11,28
Papalutla	18,02	98,89	9,58
Penitas	17,45	93,46	2,60
PNa	29,42	109,09	9,58
RCa	17,35	93,55	6,11
S27	26,51	108,58	8,95
Sanantonio	18,27	101,75	12,16
Sancristobal	16,73	92,60	9,25
Sancristobalguerrero	18,17	100,48	12,68
Sanjuan	17,92	99,52	14,11
Sayula	17,40	93,33	6,64
SDo	16,45	93,06	5,65
Sierramorena	16,15	93,59	8,12
Snl	24,81	107,15	4,80
SRo	20,91	103,71	15,84

Tabla 9: Valores del parámetro k para las EMAs analizadas en este trabajo.

5.4. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs

En la figura 17, podemos ver la distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

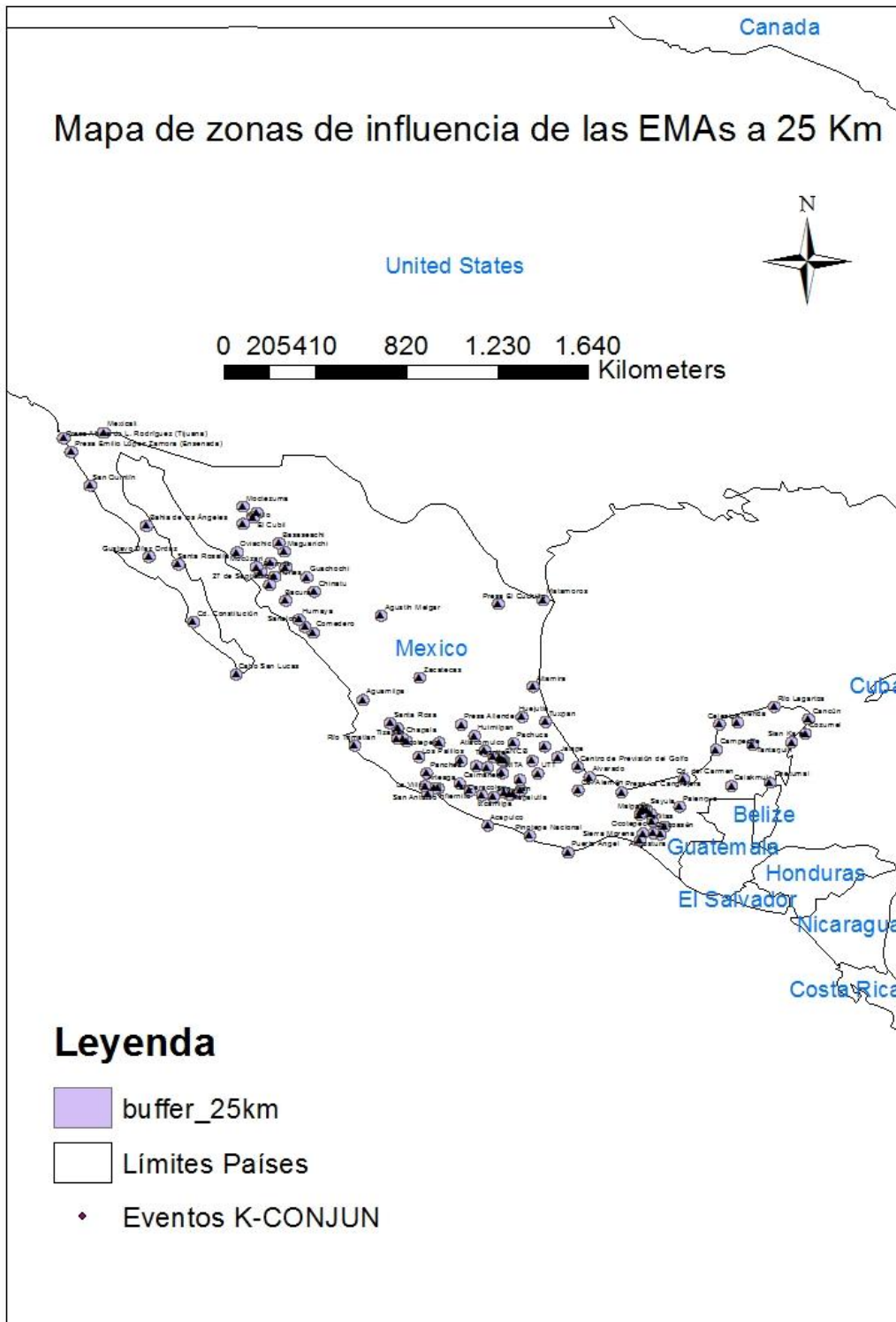


Figura 17: EMAs con un buffer de 25 km.

En la figura 18, podemos ver la distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

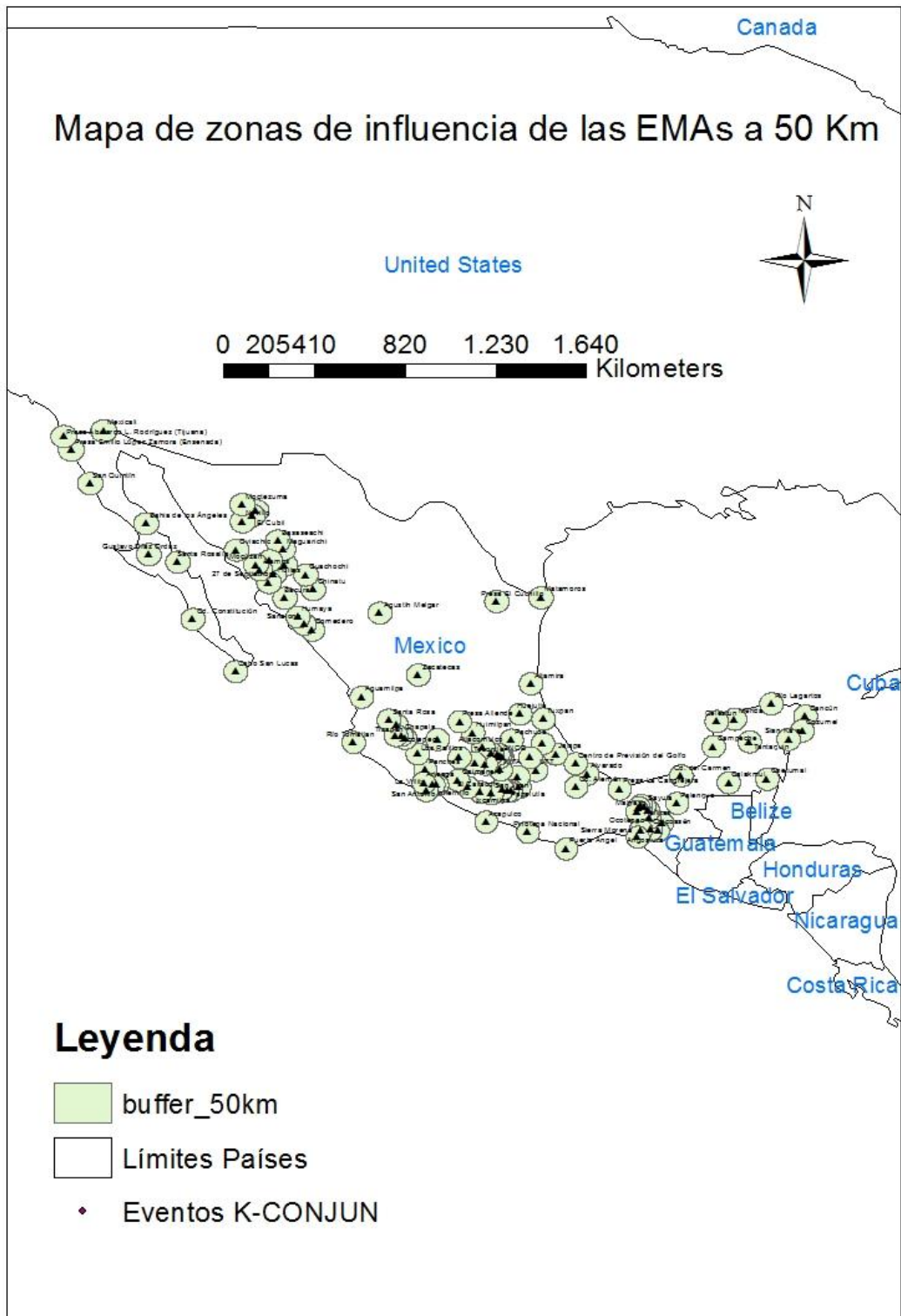


Figura 18: EMAs con un buffer de 50 km.

En la figura 19, podemos ver la distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

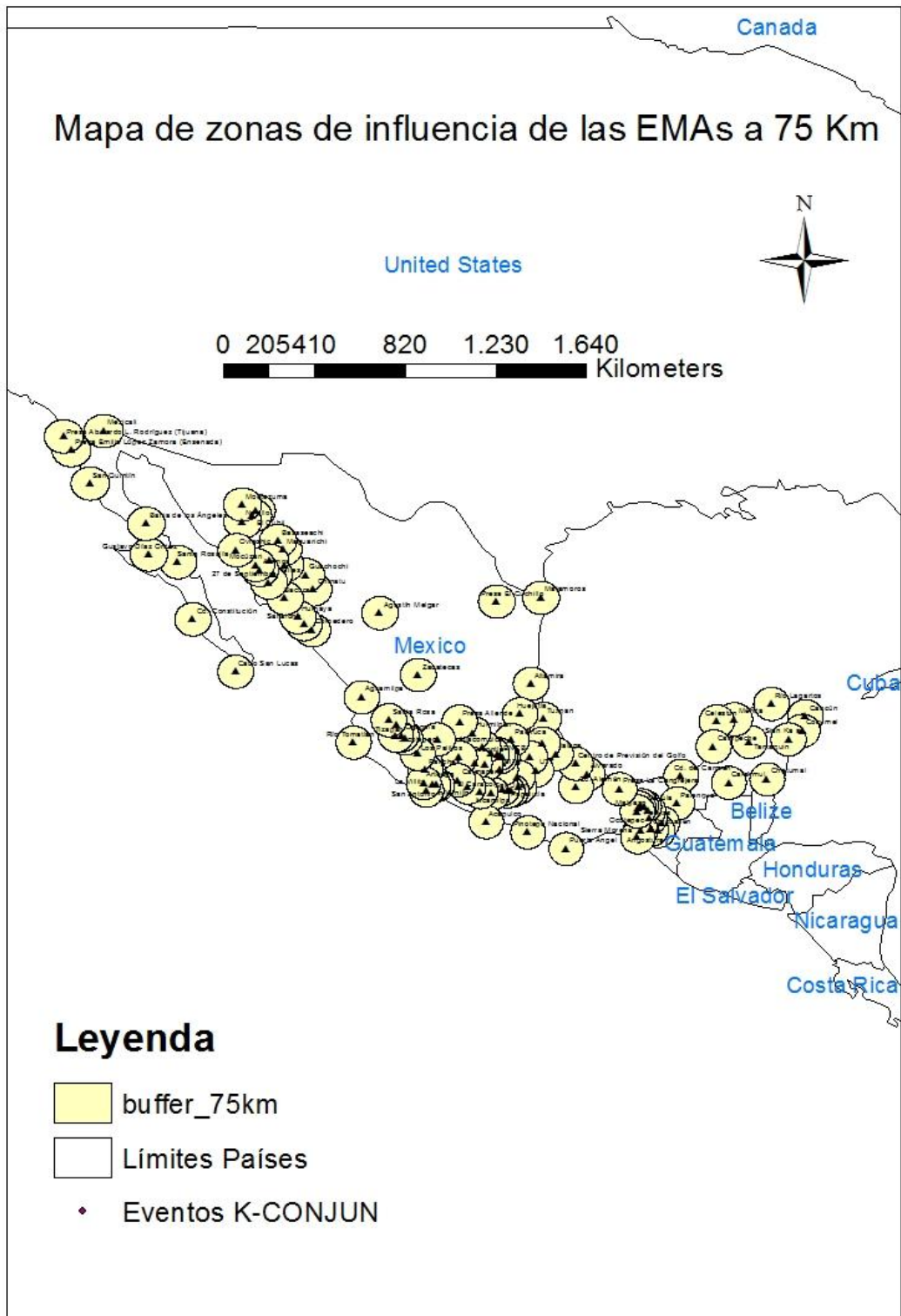


Figura 19: EMAs con un buffer de 75 km.

En la figura 20, podemos ver la distribución de todas las EMAs utilizadas en este trabajo, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

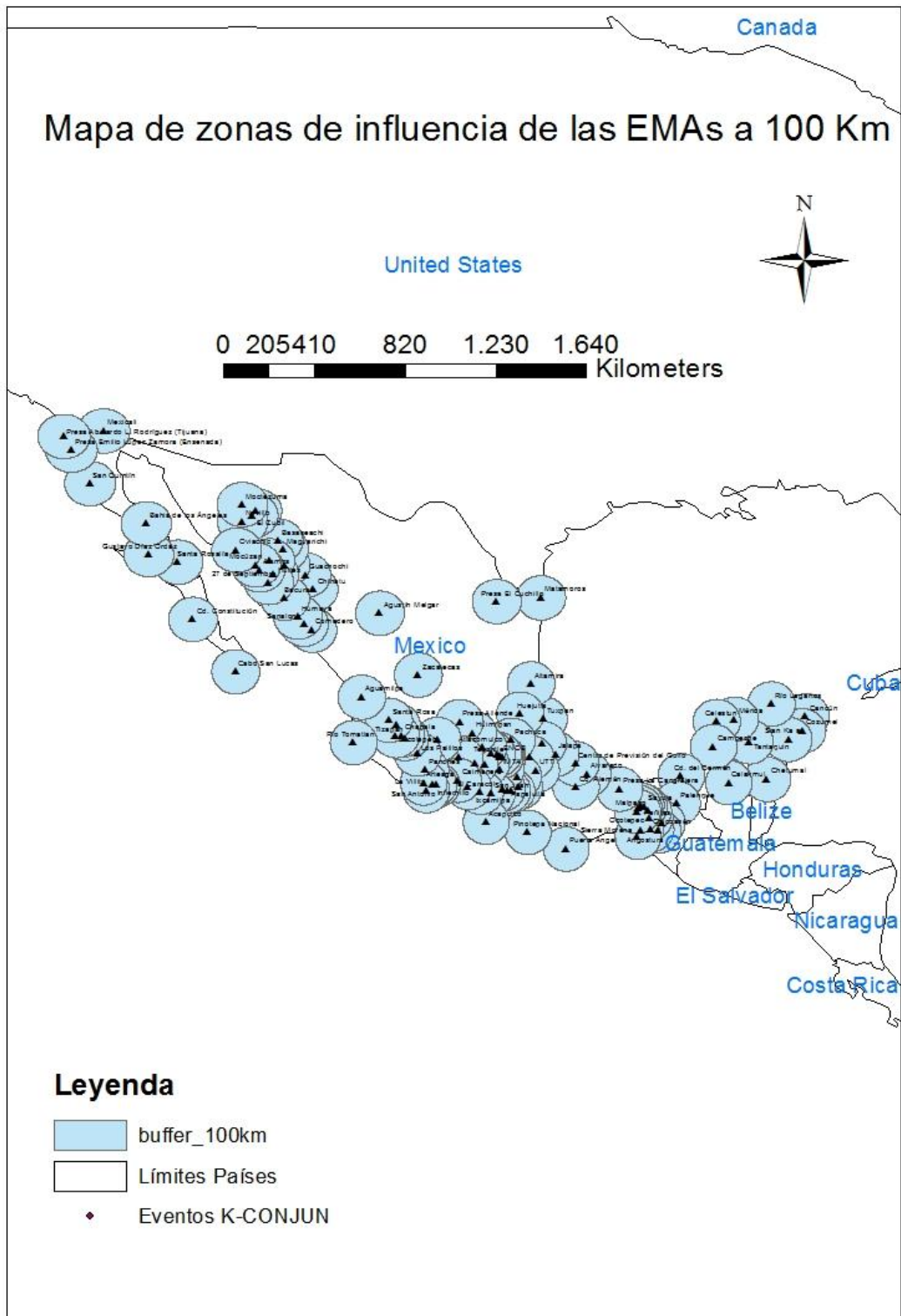


Figura 20: EMAs con un buffer de 100 km.

En la figura 21, podemos ver la distribución de todas las EMAs, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs. Podemos ver como las EMAs se concentran en 5 grandes zonas, las cuales se van a estudiar detalladamente más adelante.

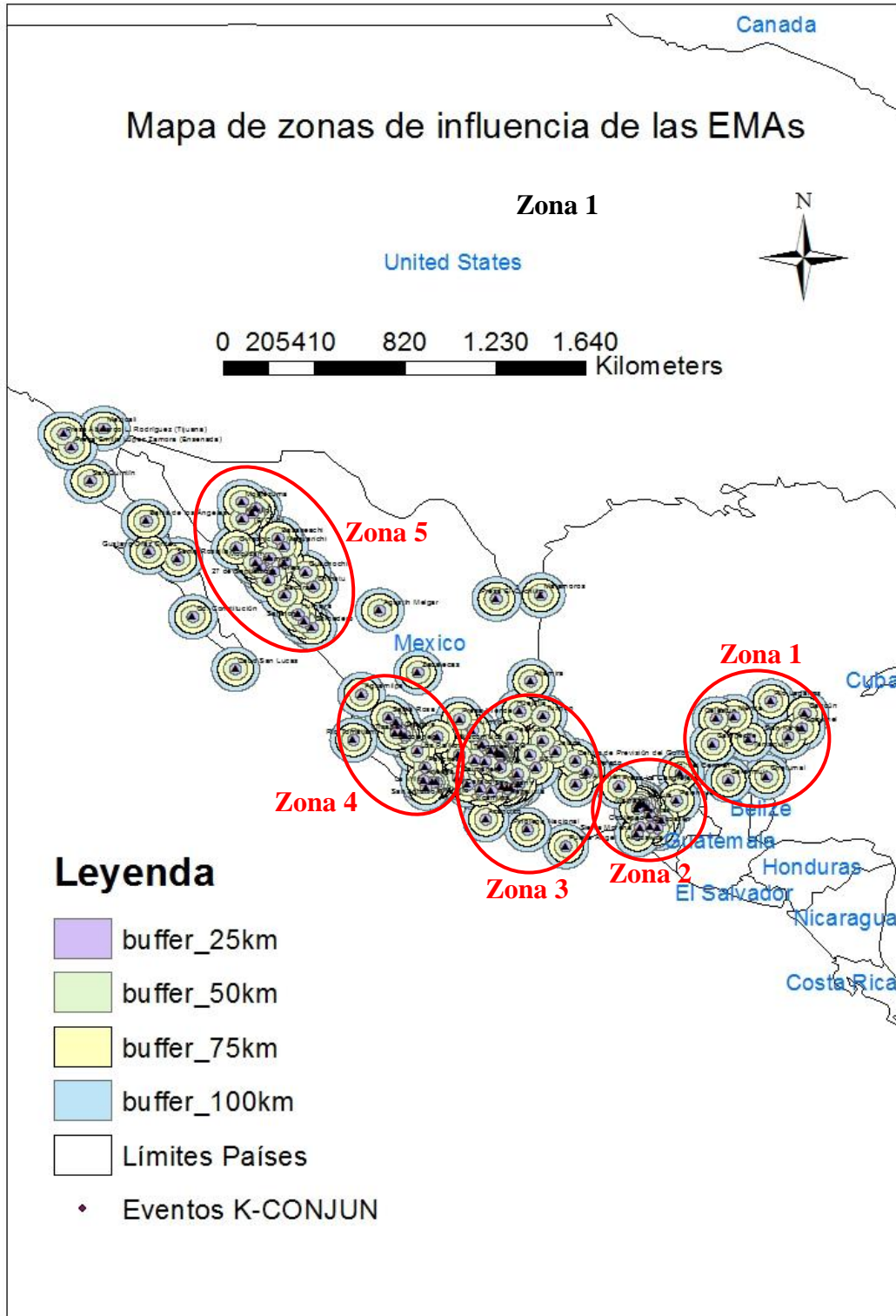


Figura 21: EMAs con un todos los buffer.

5.5. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN MÉXICO

En la figura 22, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , a lo largo de todo el país de México.

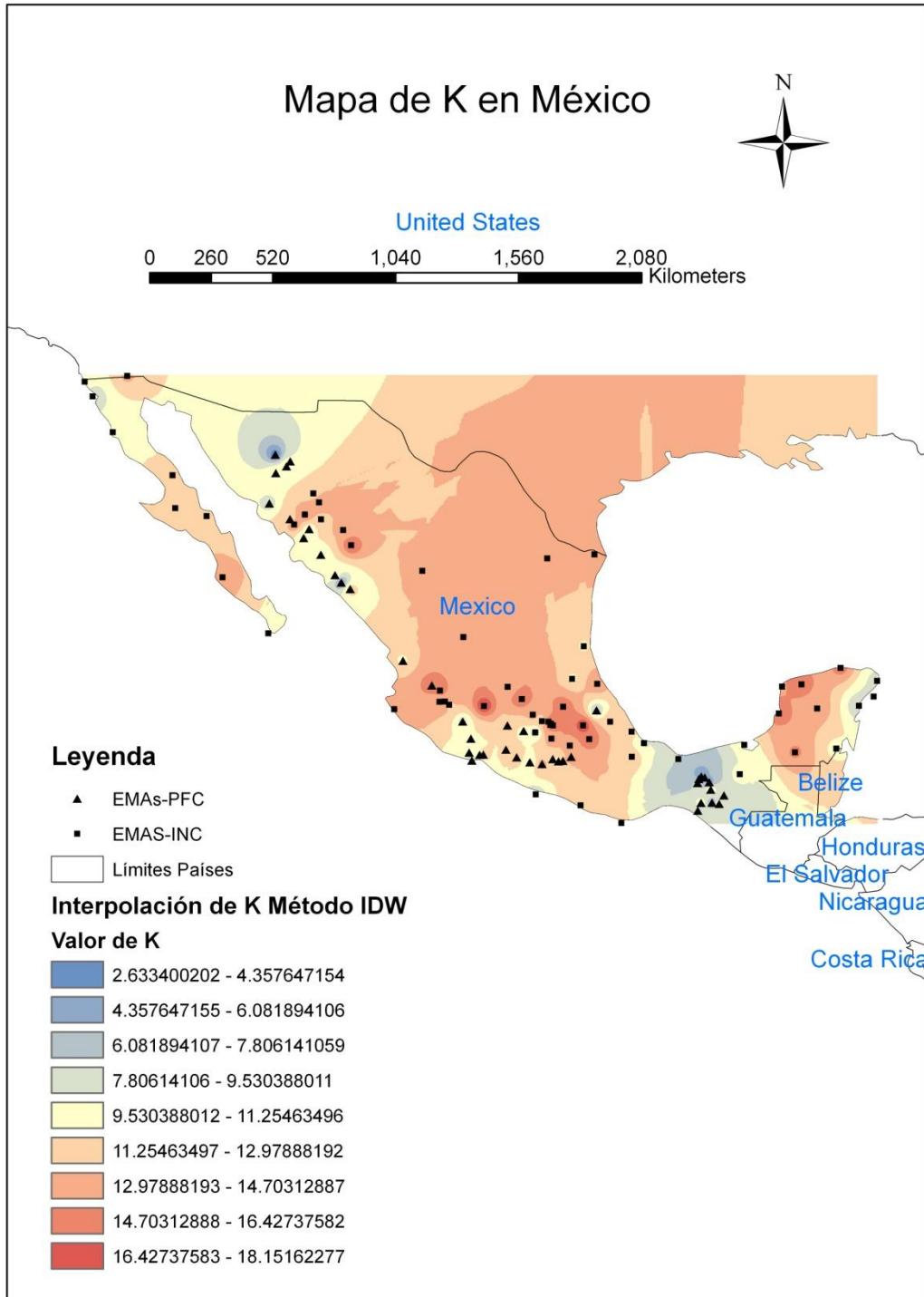


Figura 22: Mapa cromático de los valores del parámetro k en México.

5.6. MAPAS DE LAS ZONAS ANALIZADAS DETALLADAMENTE

5.6.1. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 1 (YUCATÁN)

En la figura 23, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 1, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

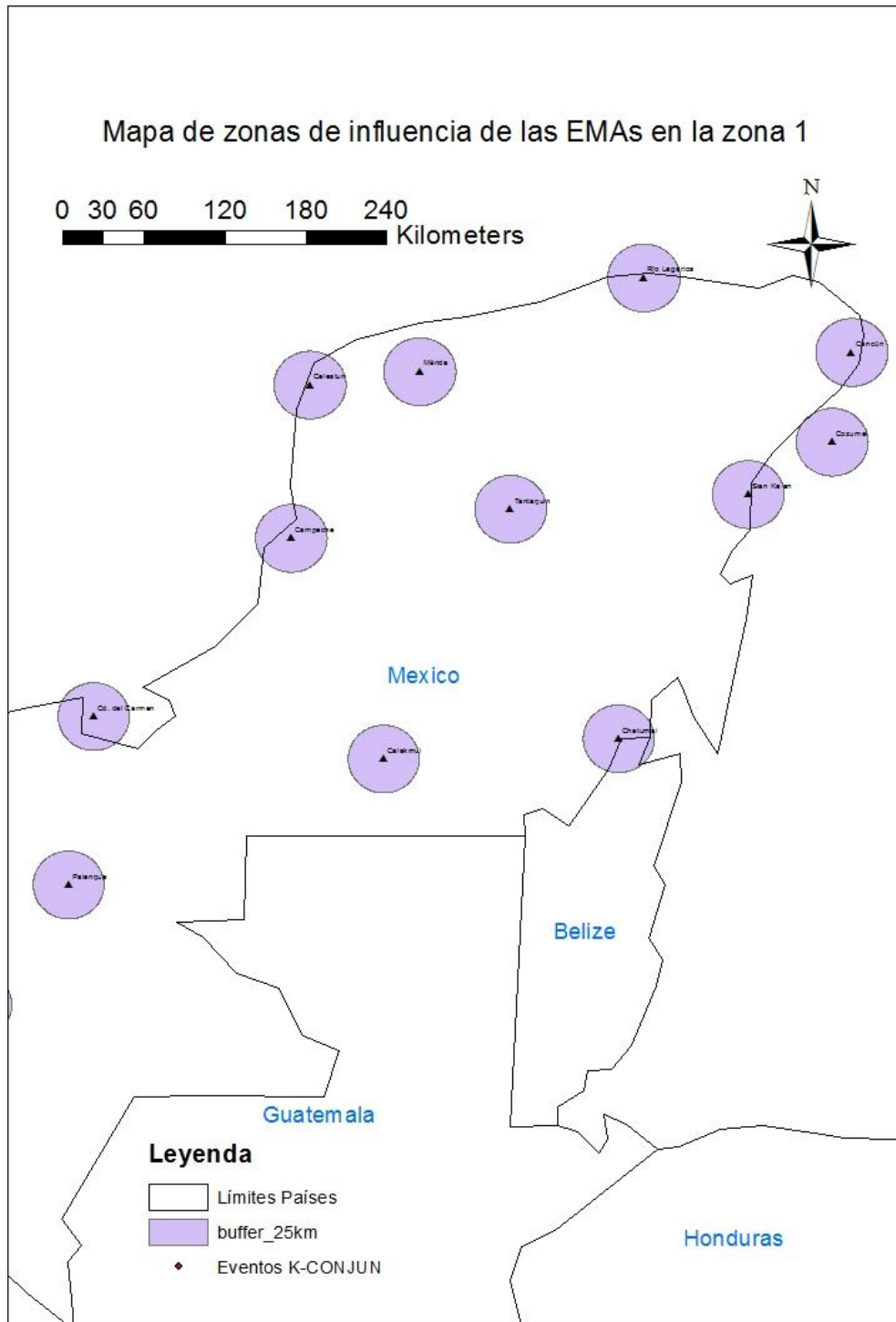


Figura 23: EMAs de la zona 1 con un buffer de 25 km.

En la figura 24, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 1, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

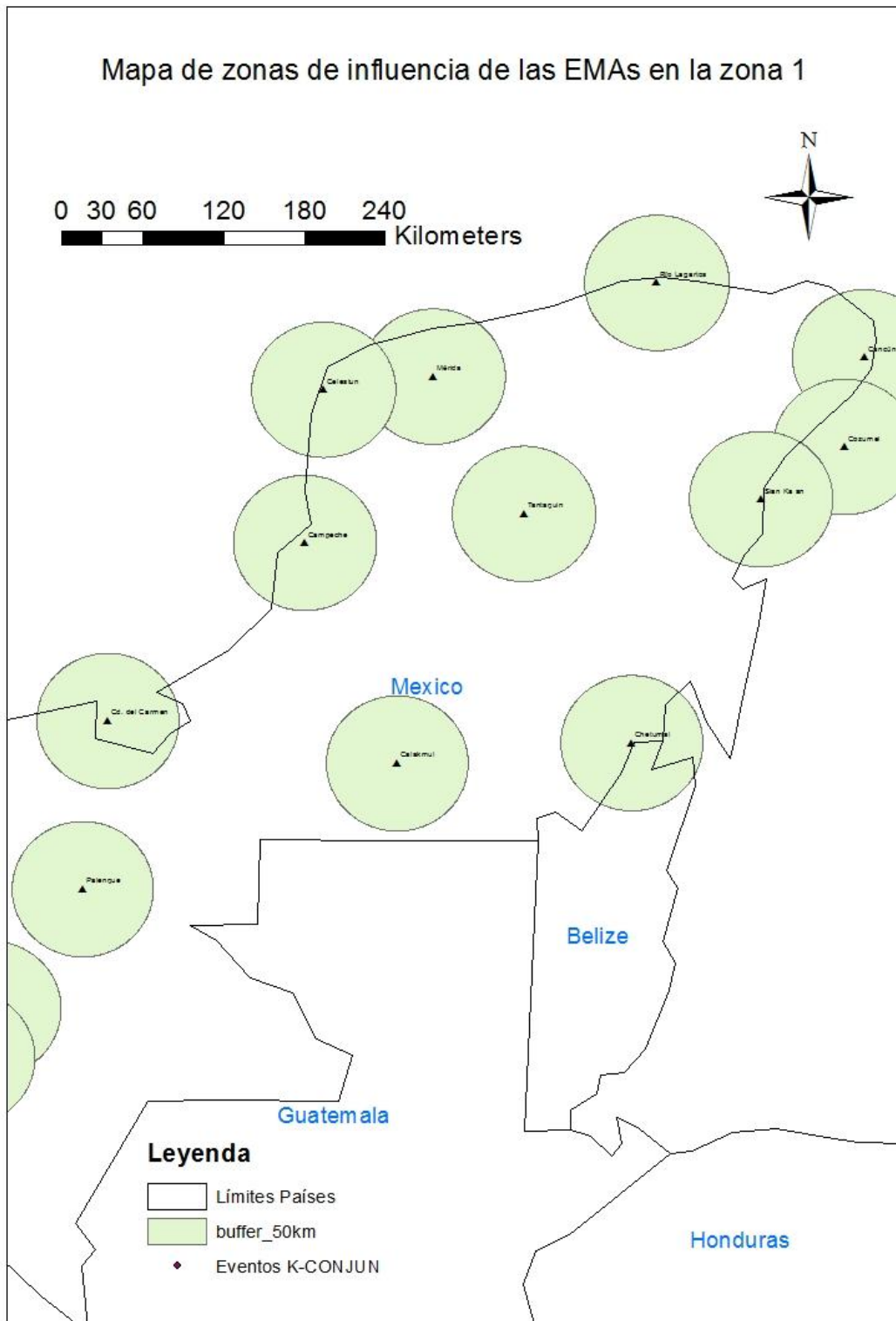


Figura 24: EMAs de la zona 1 con un buffer de 50 km.

En la figura 25, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 1, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

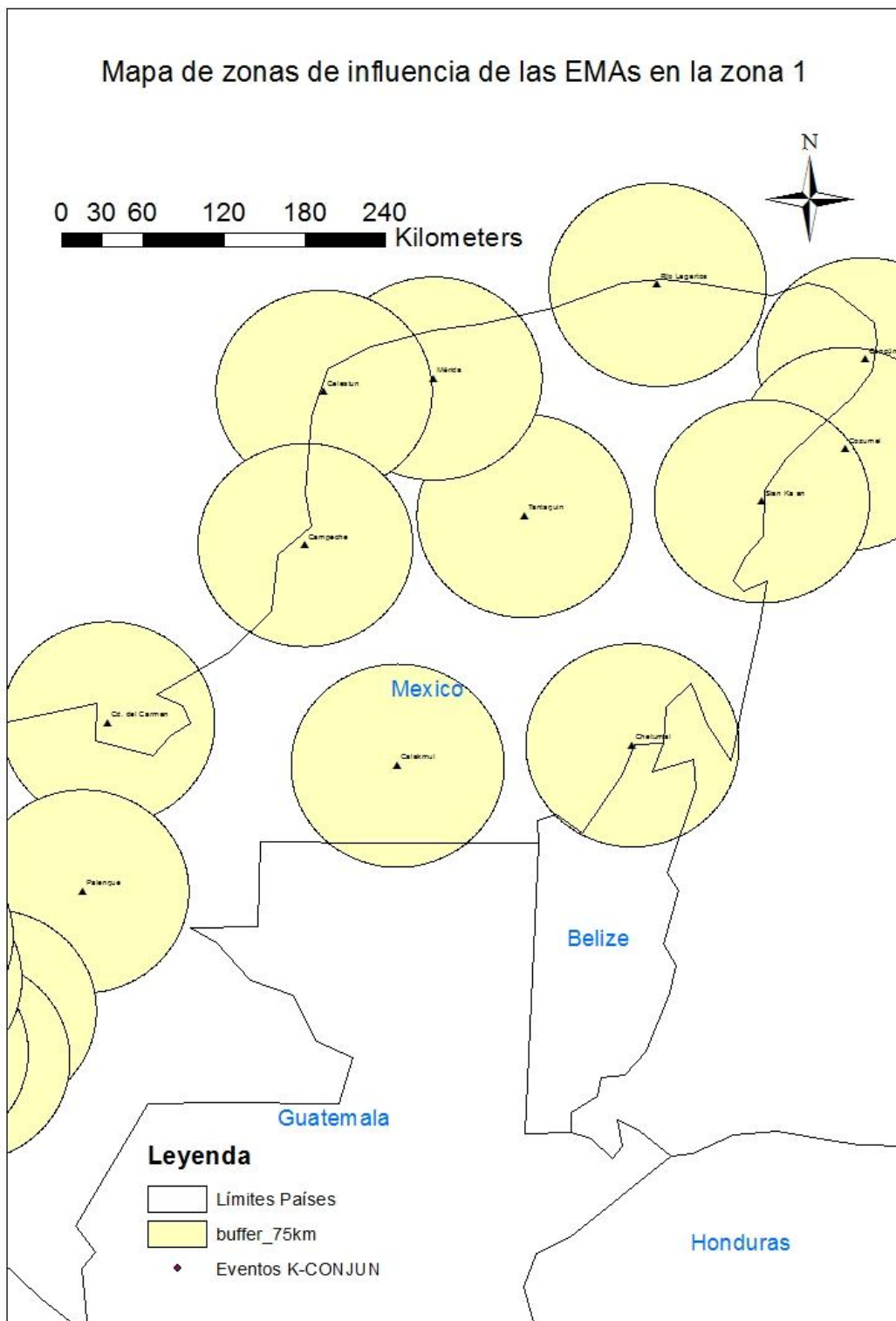


Figura 25: EMAs de la zona 1 con un buffer de 75 km.

En la figura 26, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 1, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

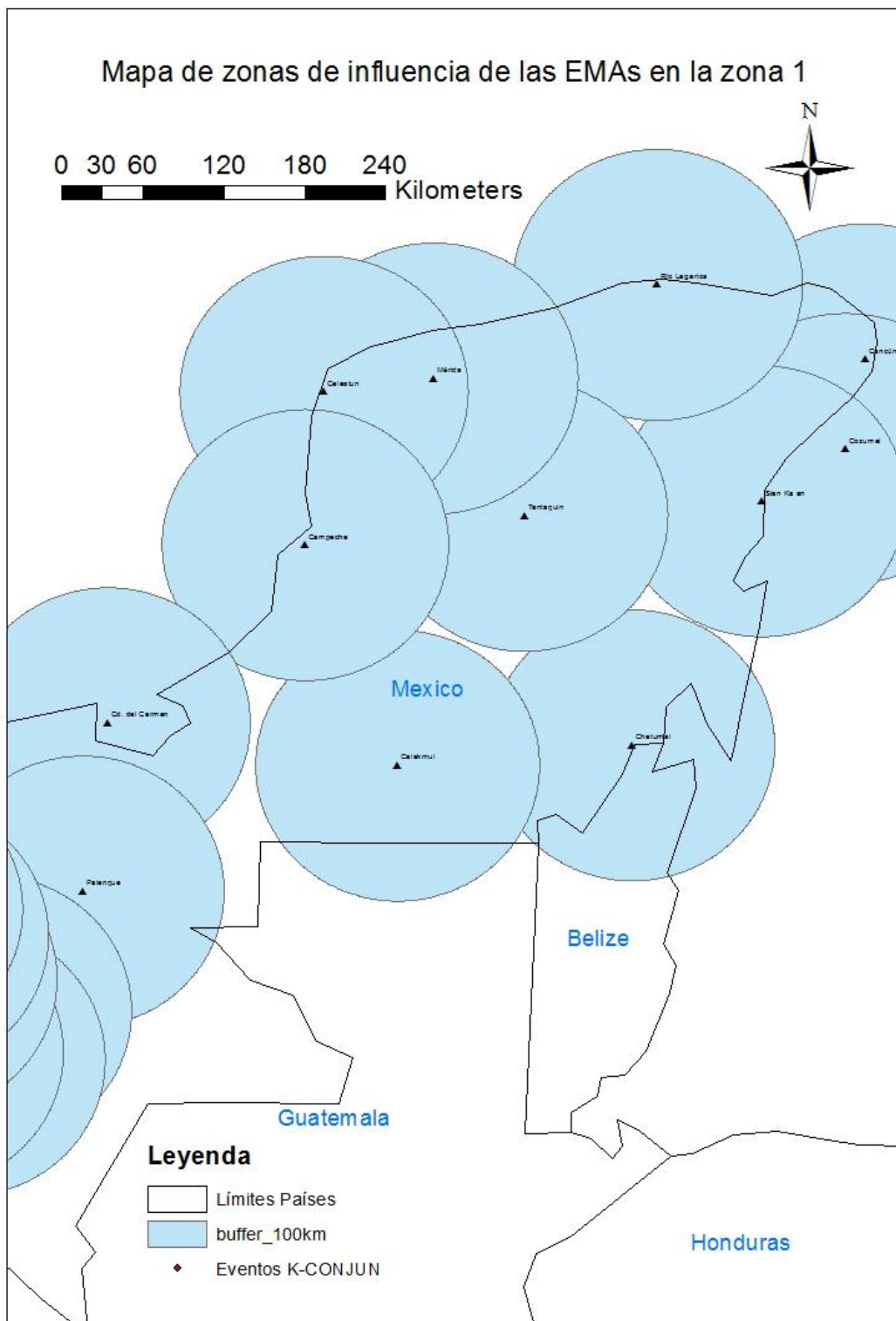


Figura 26: EMAs de la zona 1 con un buffer de 100 km.

En la figura 27, podemos ver la distribución de las EMAs, situadas en la zona 1, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs.

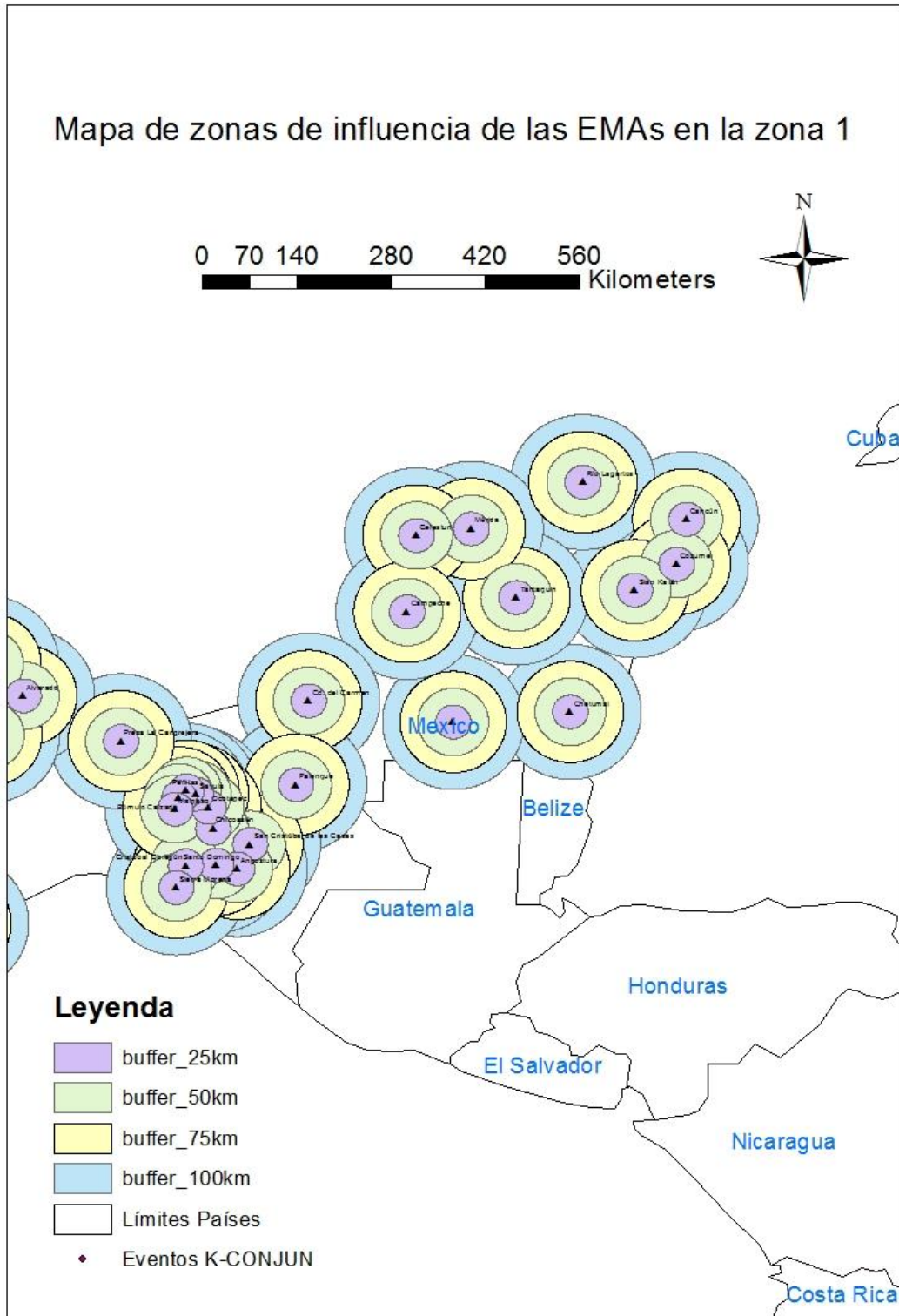


Figura 27: EMAs de la zona 1 con todos los buffer.

5.6.2. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN LA ZONA 1 (YUCATÁN)

En la figura 28, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , en la zona 1.

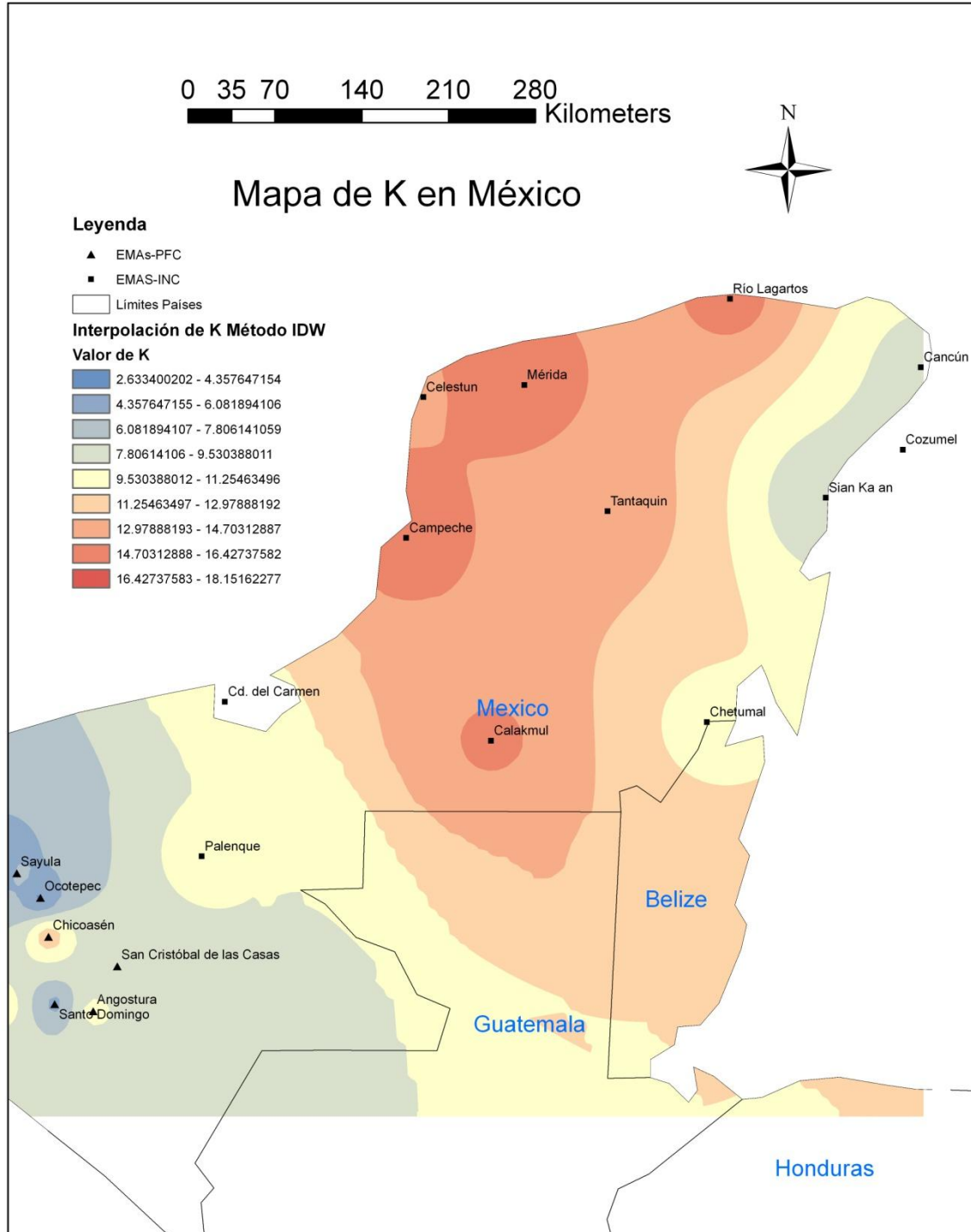


Figura 28: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 1.

5.6.3. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs, EN LA ZONA 2 (CHIAPAS)

En la figura 29, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 2, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

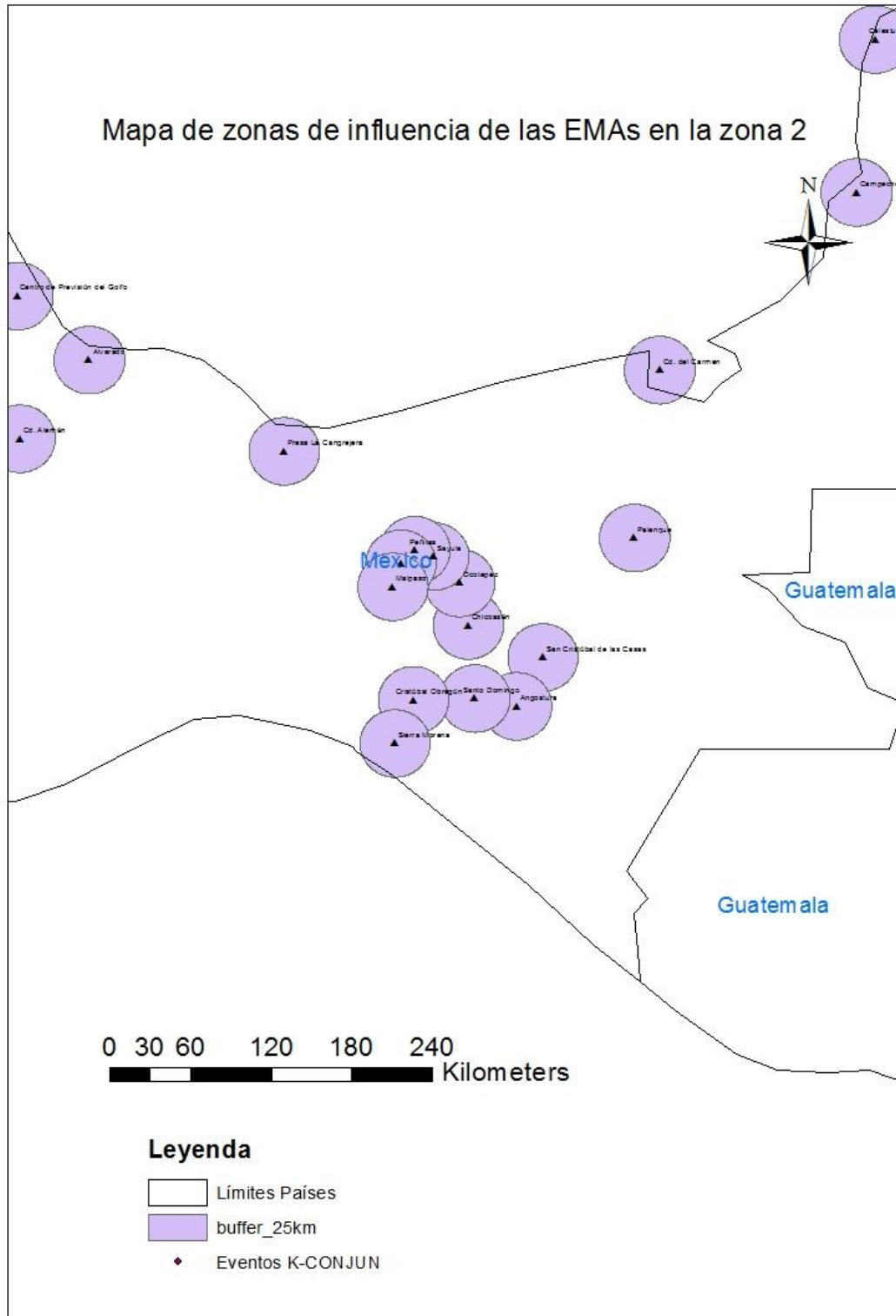


Figura 29: EMAs de la zona 2 con un buffer de 25 km.

En la figura 30, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 2, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

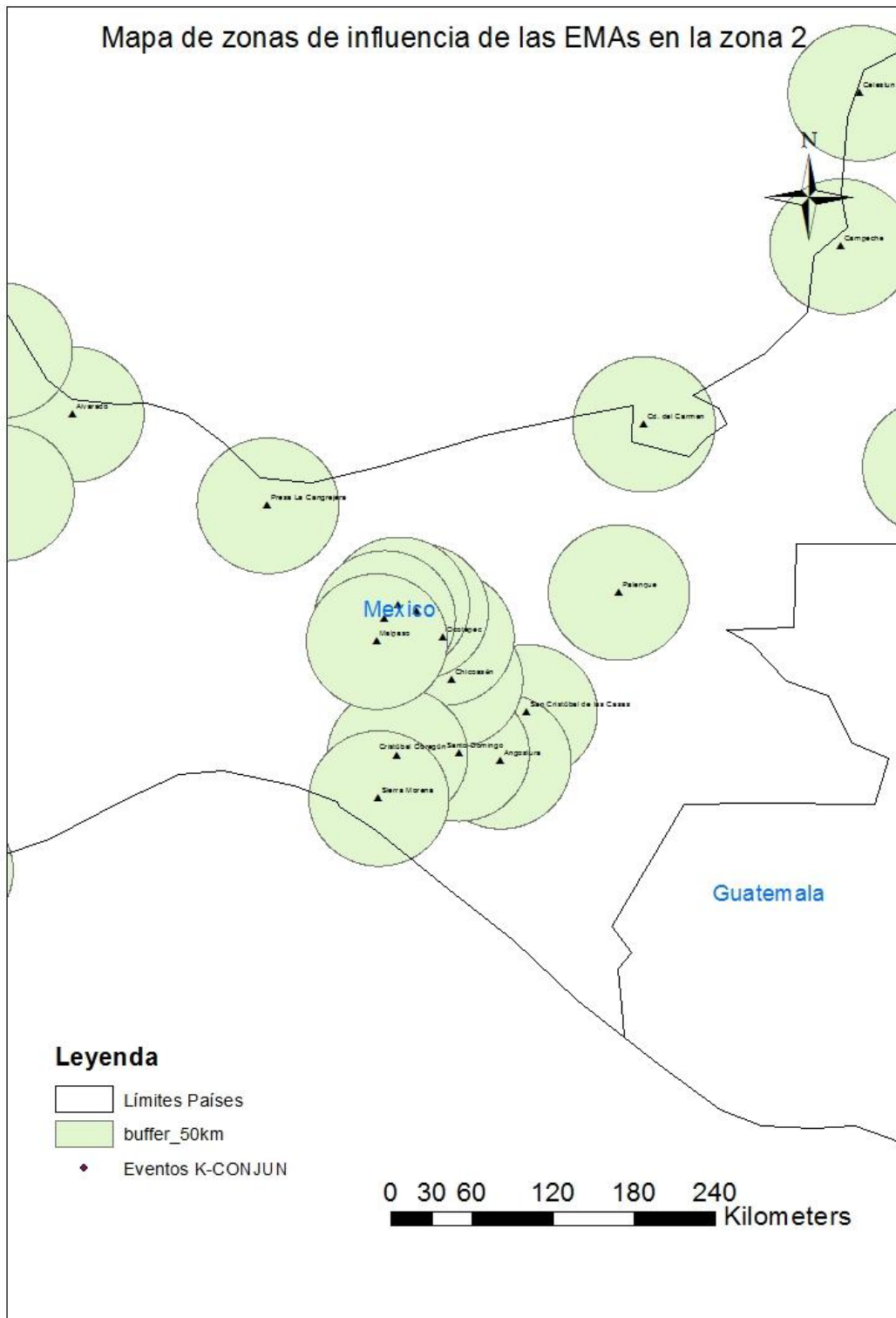


Figura 30: EMAs de la zona 2 con un buffer de 50 km.

En la figura 31, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 2, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

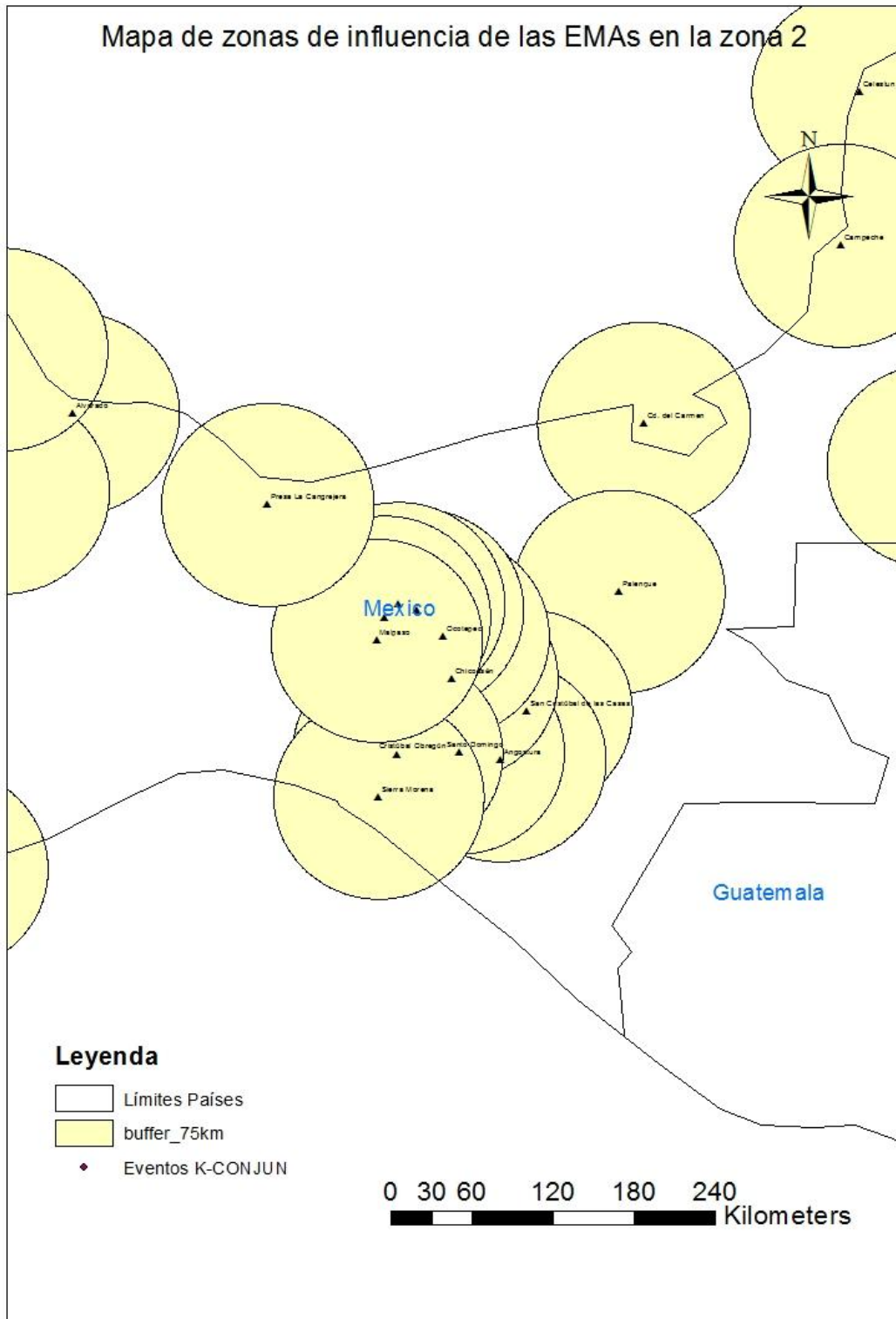


Figura 31: EMAs de la zona 2 con un buffer de 75 km.

En la figura 32, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 2, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

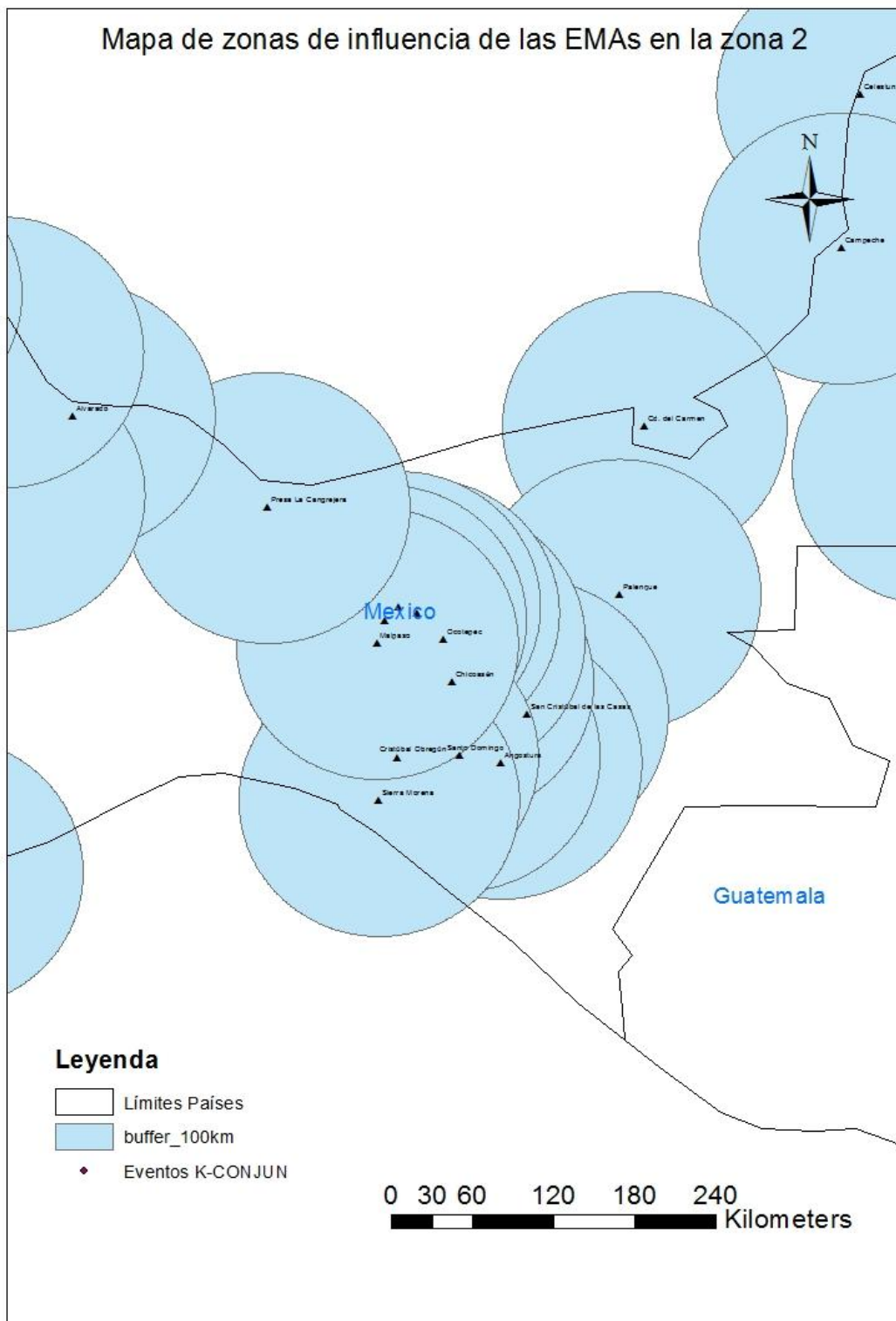


Figura 32: EMAs de la zona 2 con un buffer de 100 km.

En la figura 33, podemos ver la distribución de las EMAs, situadas en la zona 2, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs.

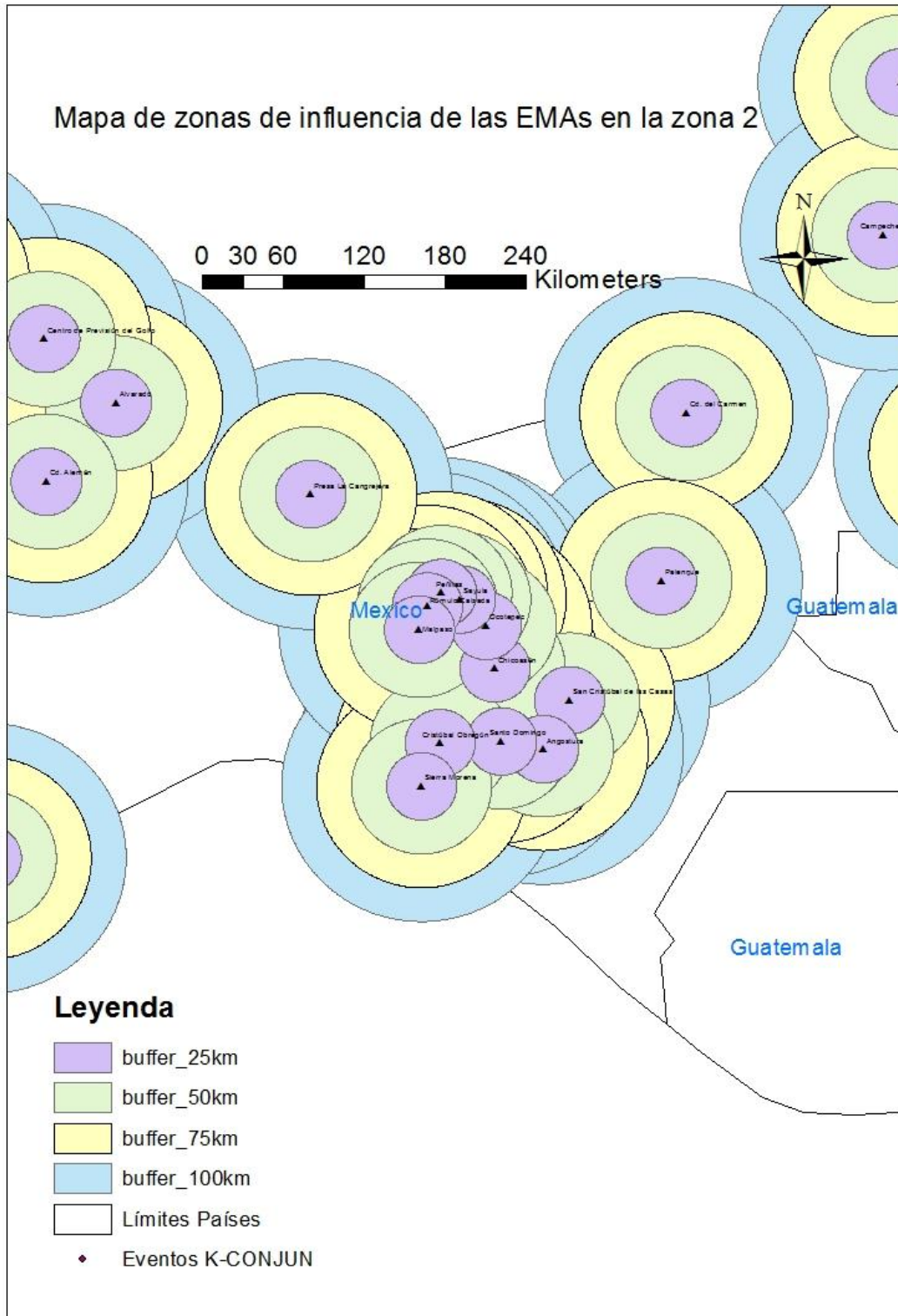


Figura 33: EMAs de la zona 2 con todos los buffer.

5.6.4. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN LA ZONA 2 (CHIAPAS)

En la figura 34, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , en la zona 2.

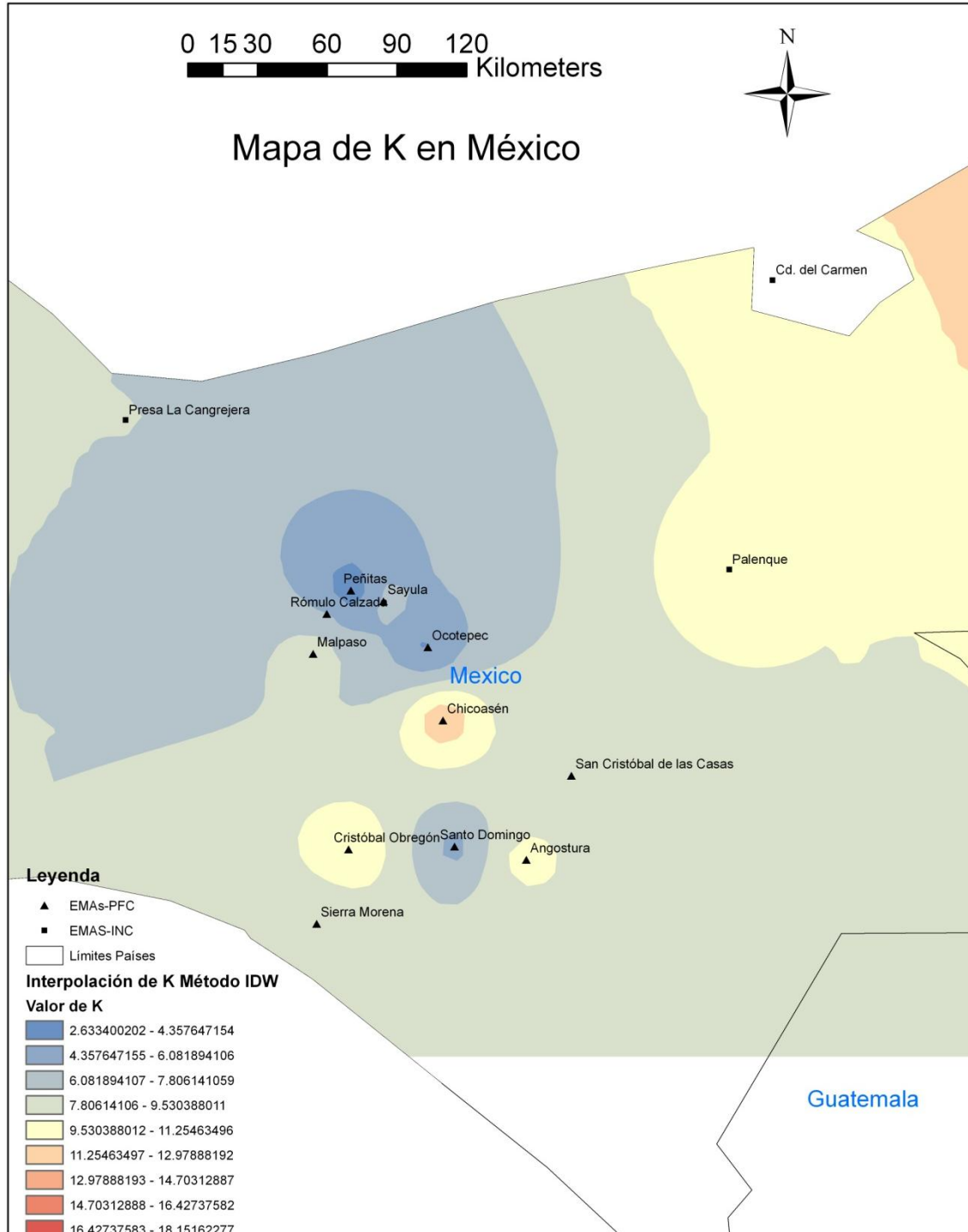


Figura 34: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 2.

5.6.5. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs EN LA ZONA 3 (CIUDAD DE MÉXICO)

En la figura 35, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 3, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

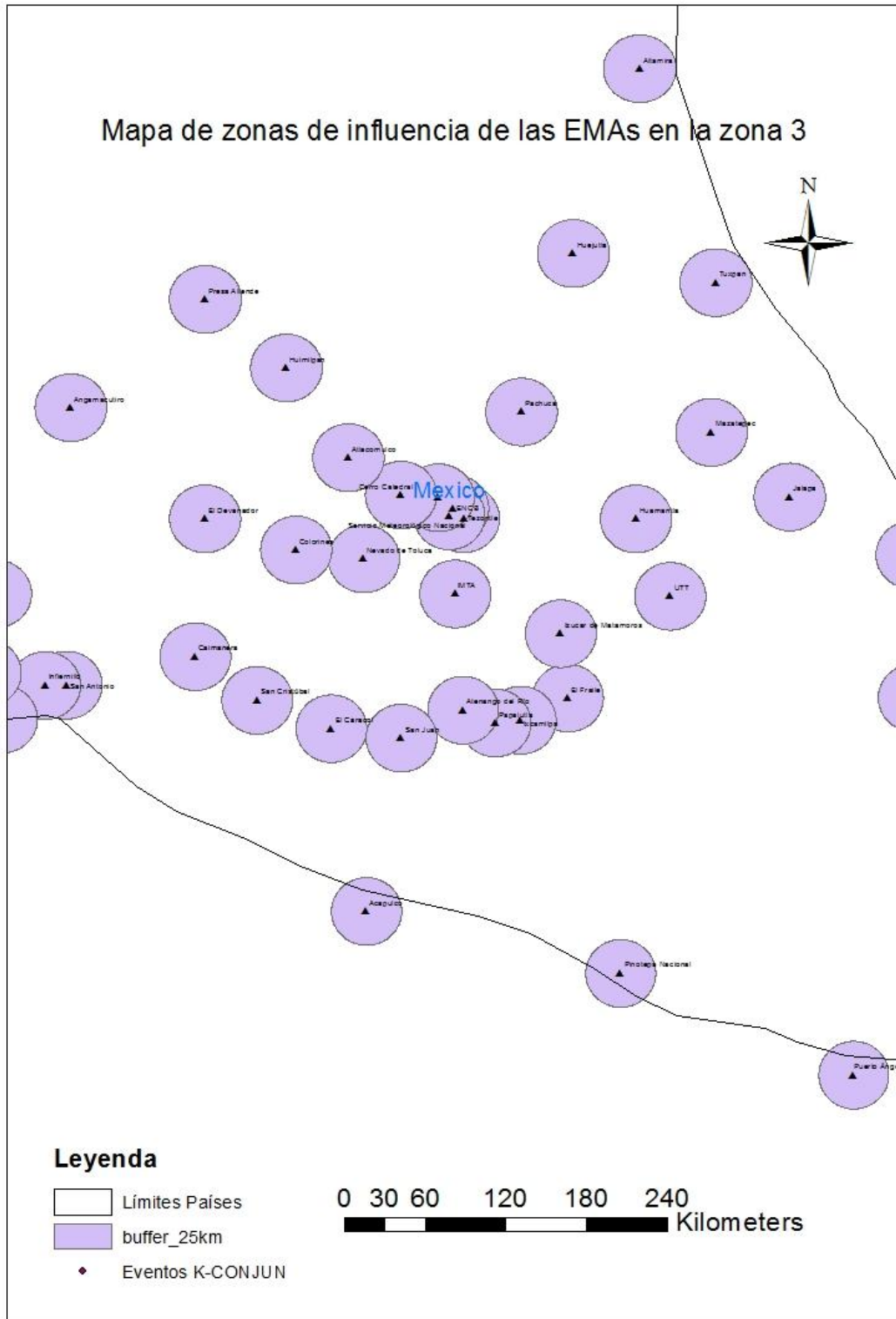


Figura 35: EMAs de la zona 3 con un buffer de 25 km.

En la figura 36, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 3, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

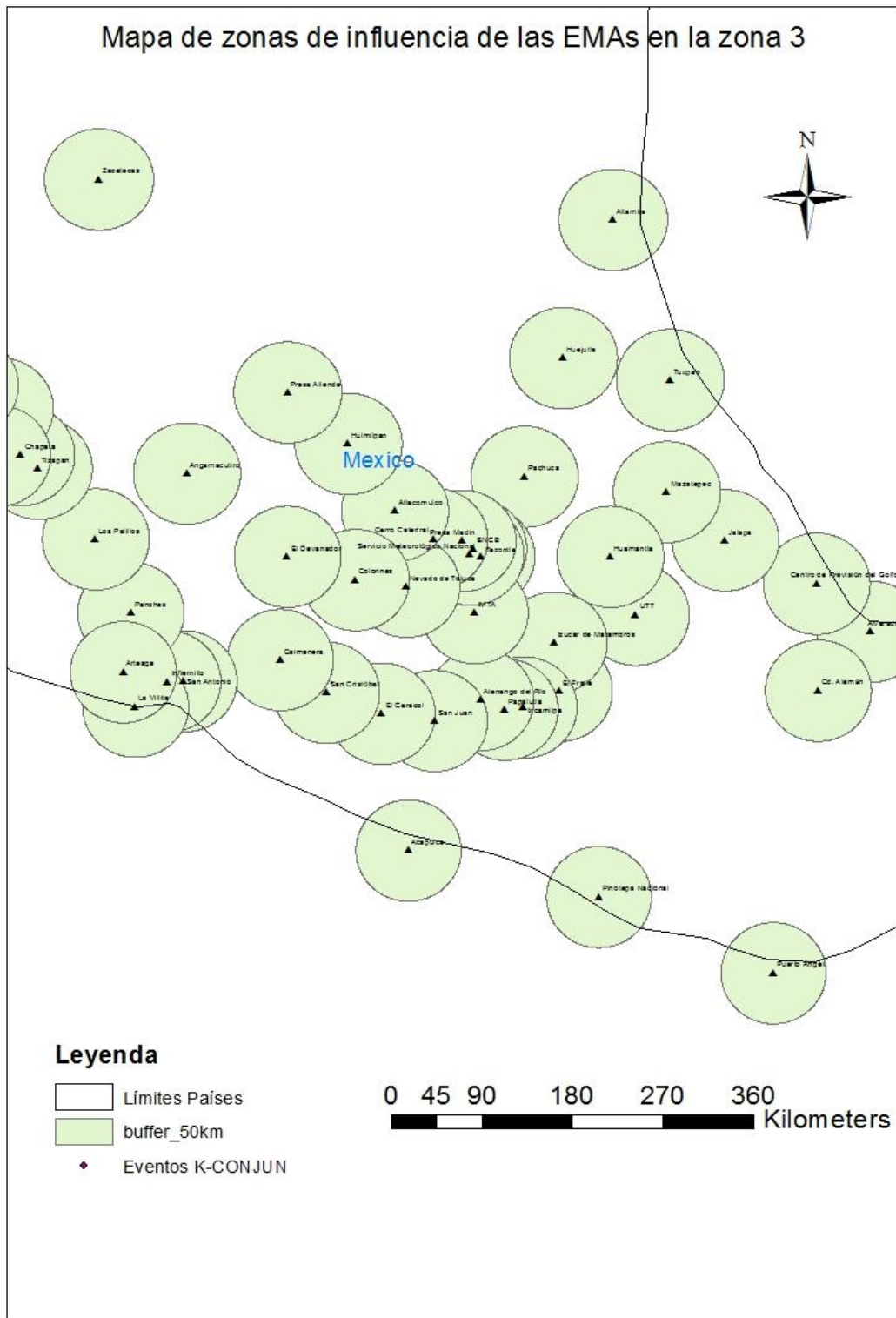


Figura 36: EMAs de la zona 3 con un buffer de 50 km.

En la figura 37, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 3, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

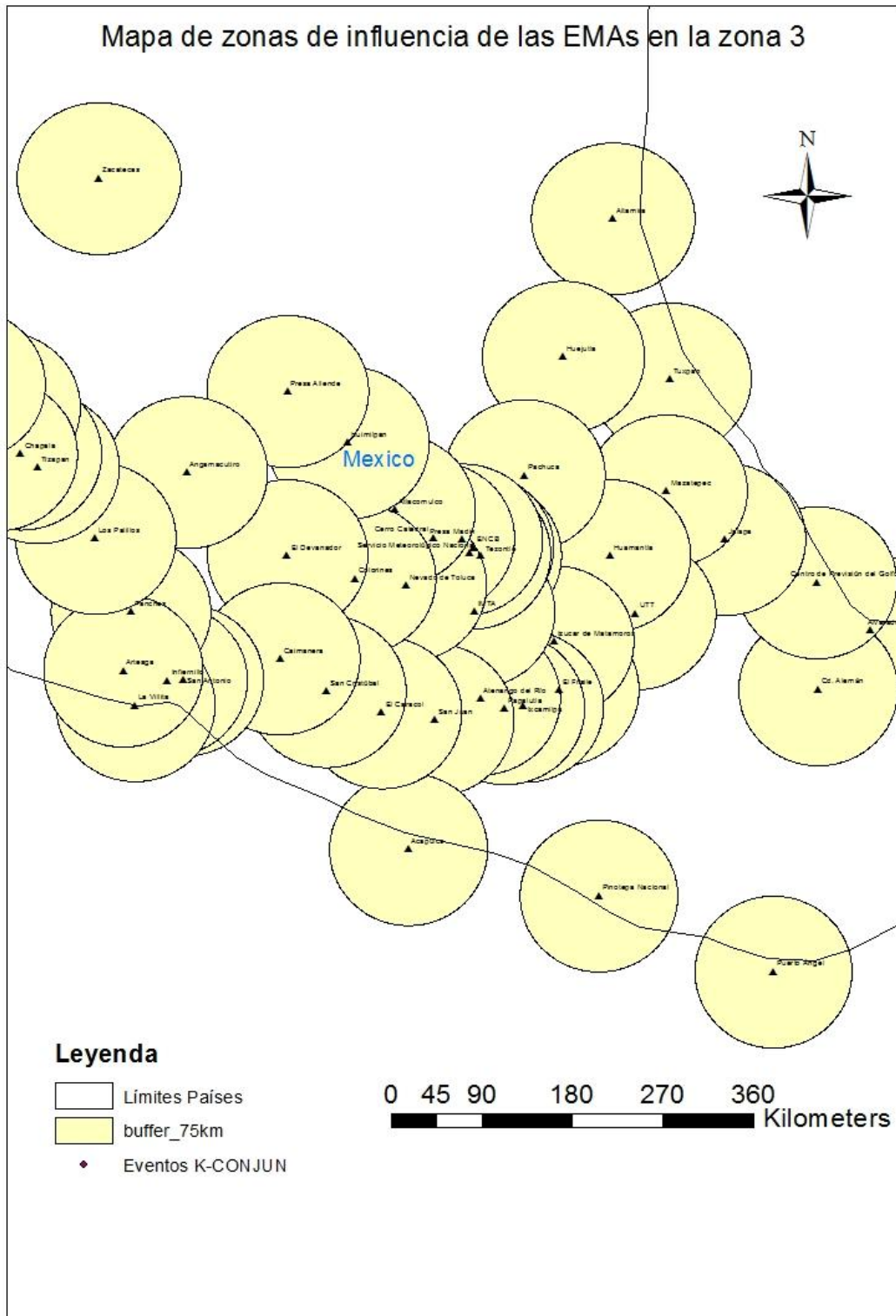


Figura 37: EMAs de la zona 3 con un buffer de 75 km.

En la figura 38, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 3, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

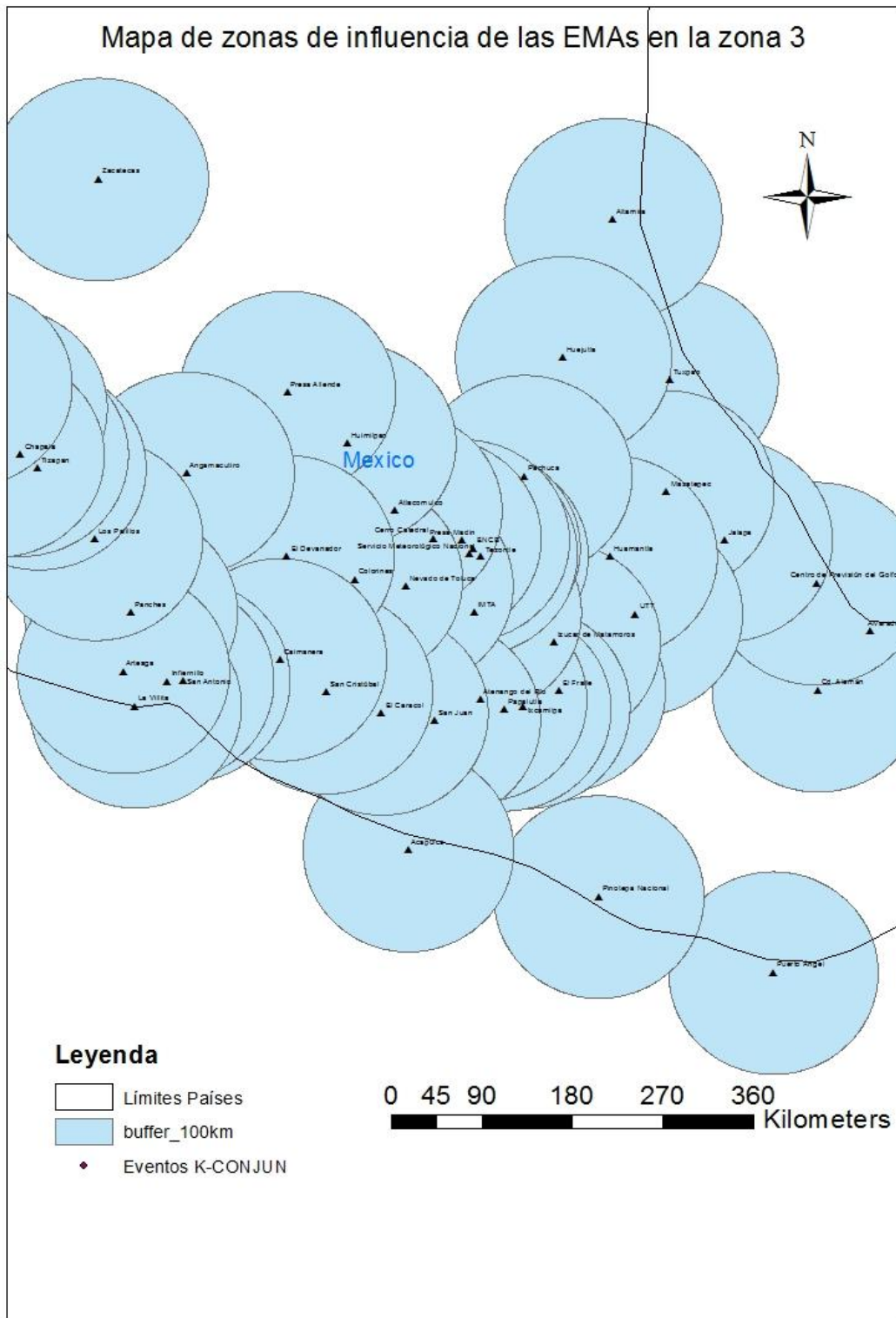


Figura 38: EMAs de la zona 3 con un buffer de 100 km.

En la figura 39, podemos ver la distribución de las EMAs, situadas en la zona 3, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs.

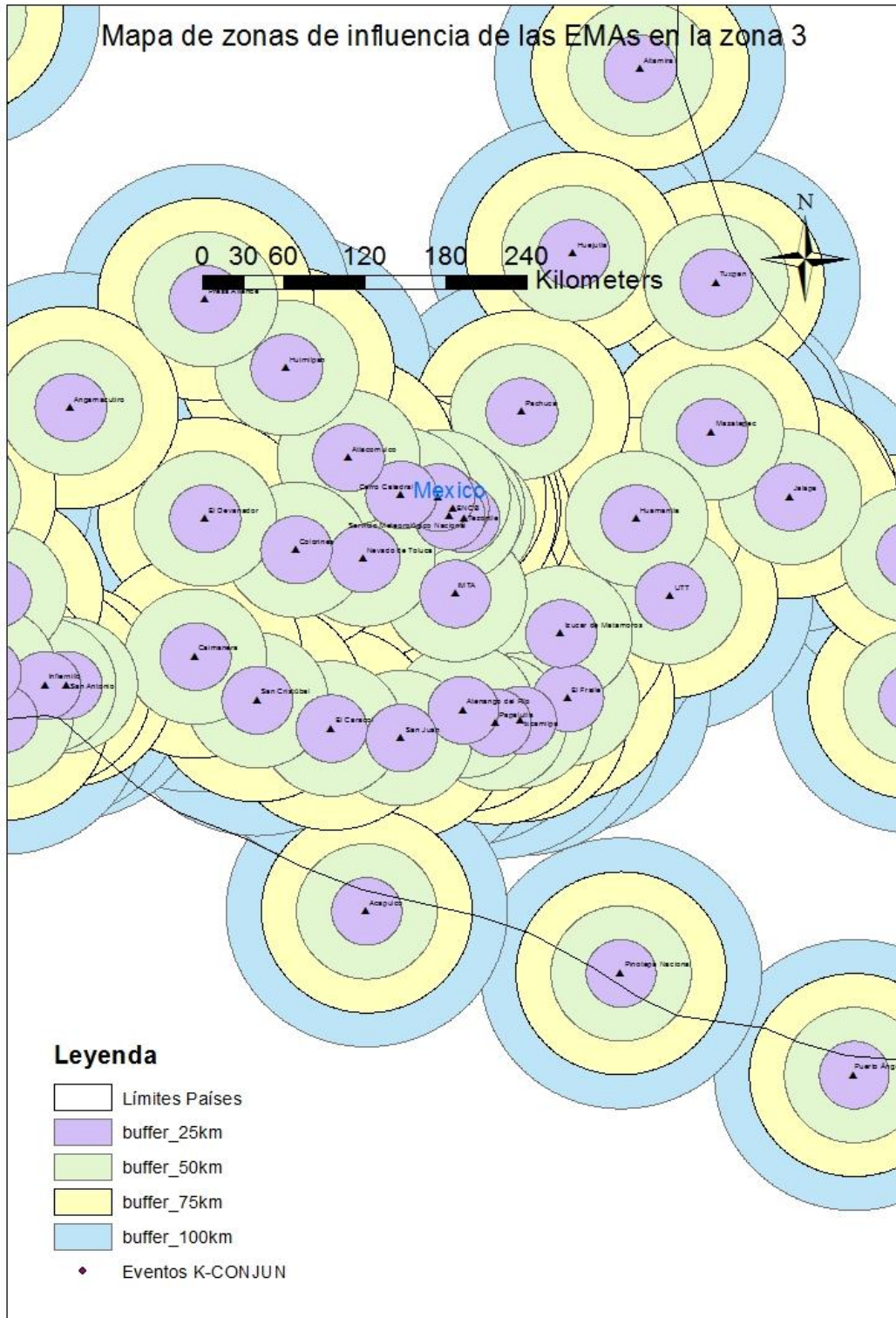


Figura 39: EMAs de la zona 3 con todos los buffer.

5.6.6. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN LA ZONA 3 (CIUDAD DE MÉXICO)

En la figura 40, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , en la zona 3.

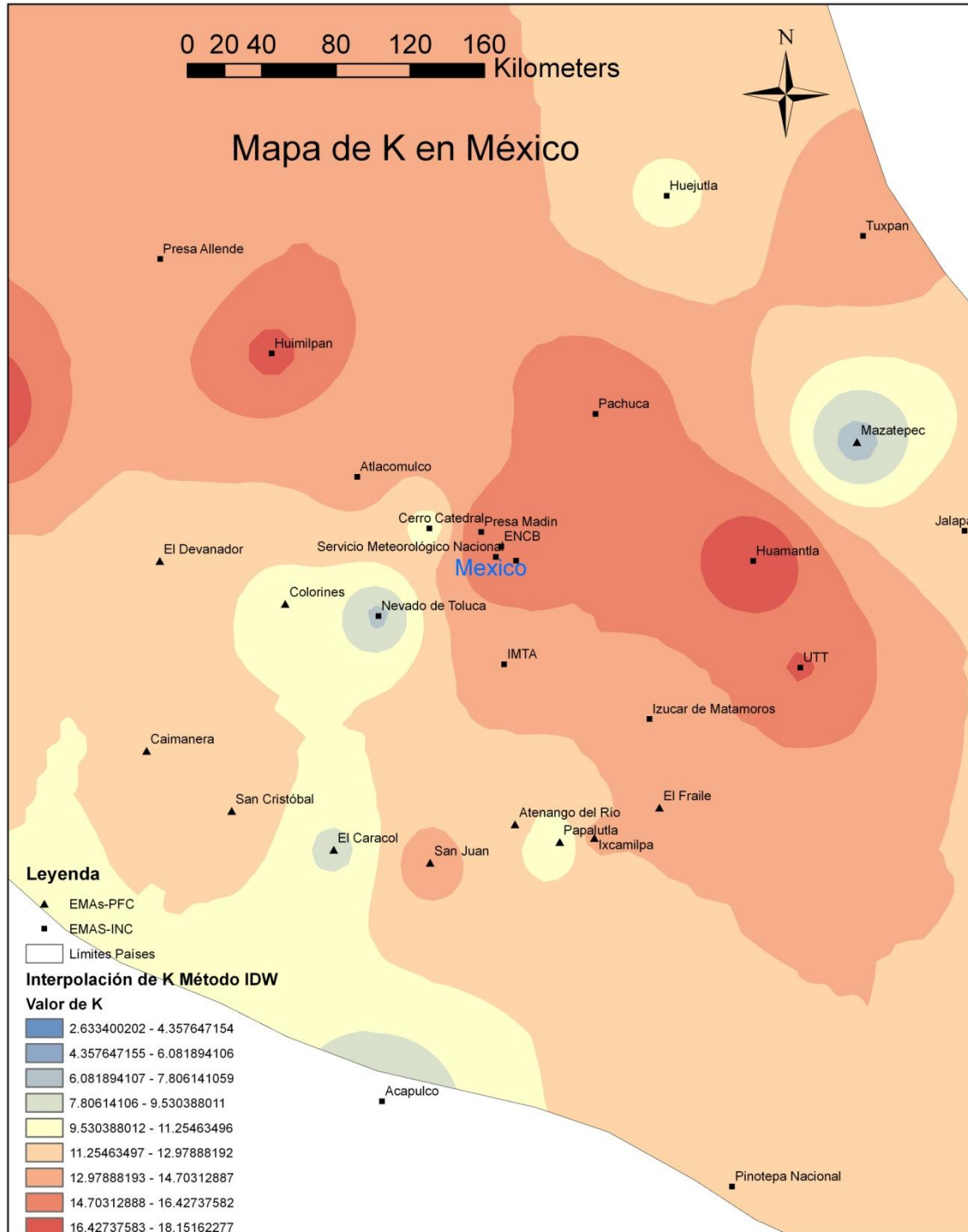


Figura 40: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 3.

5.6.7. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs EN LA ZONA 4 (JALISCO)

En la figura 41, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 4, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

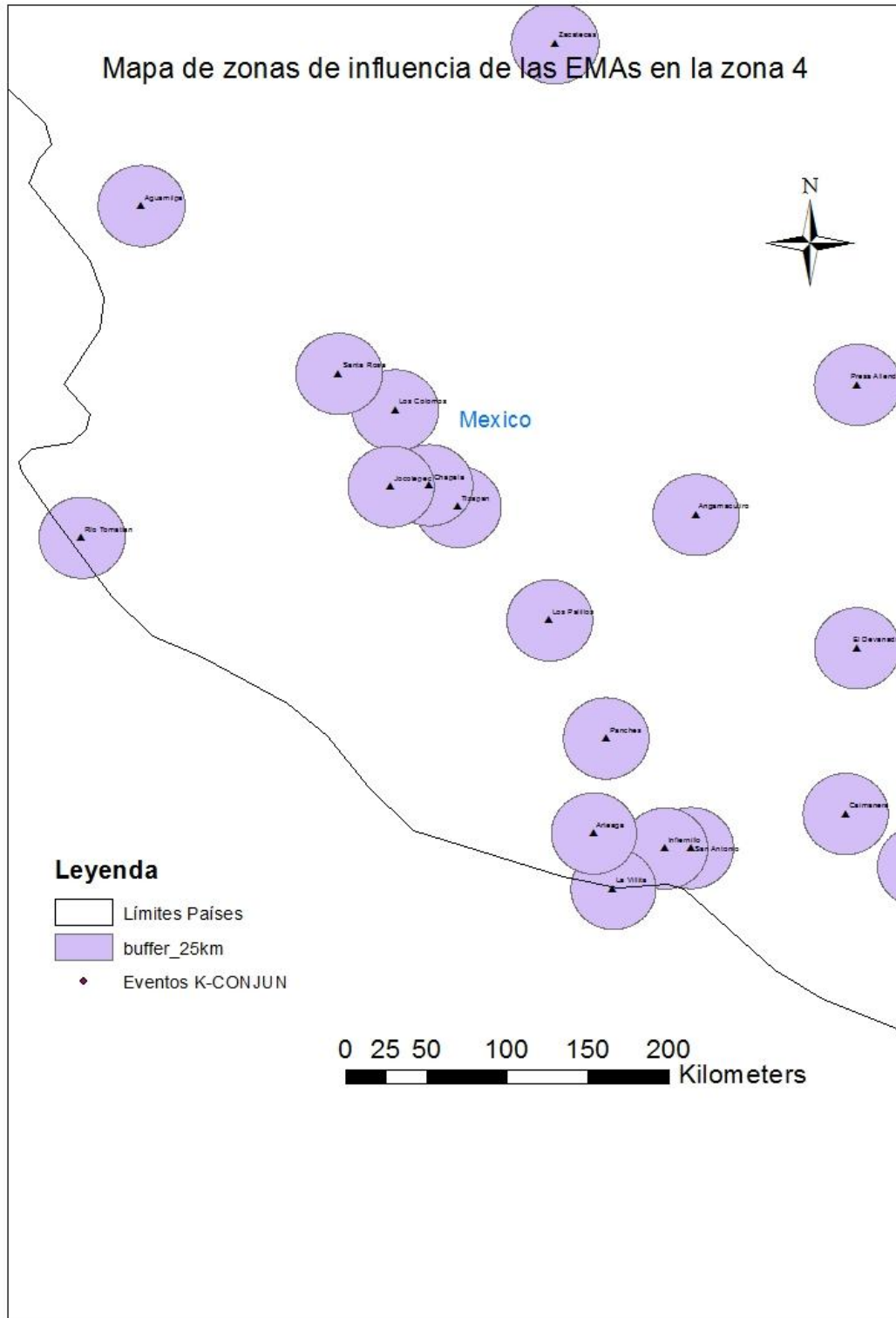


Figura 41: EMAs de la zona 4 con un buffer de 25 km.

En la figura 42, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 4, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

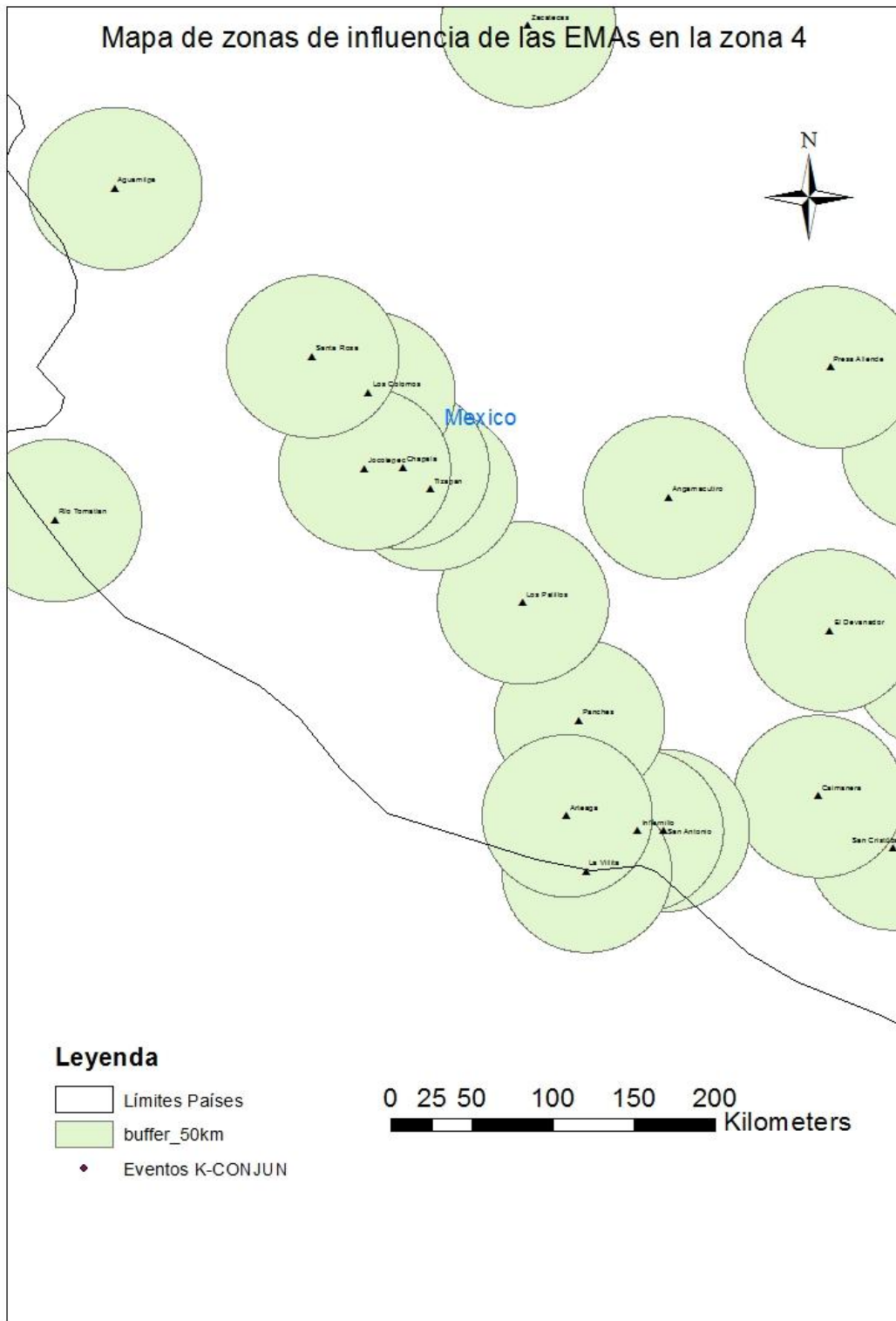


Figura 42: EMAs de la zona 4 con un buffer de 50 km.

En la figura 43, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 4, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

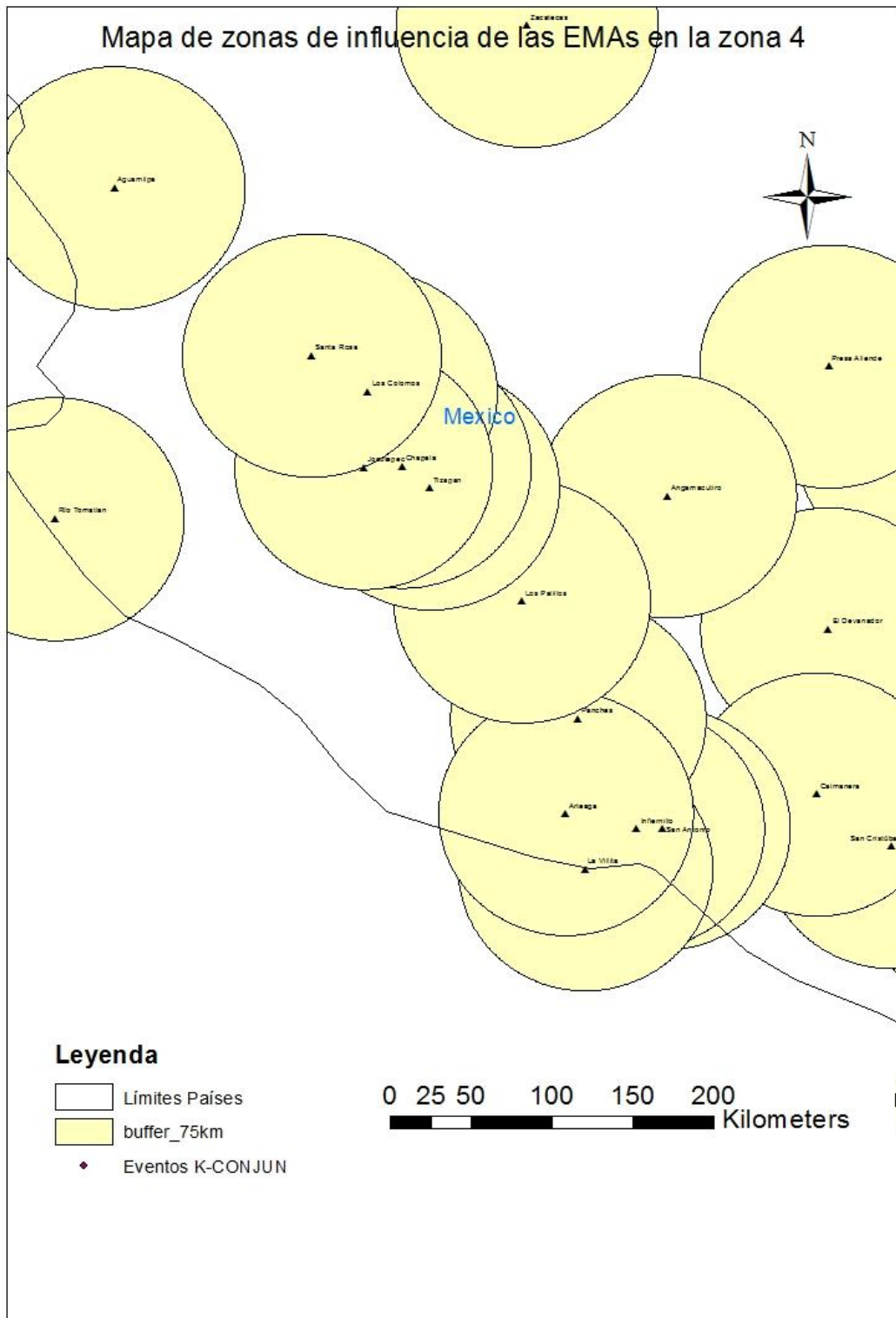


Figura 43: EMAs de la zona 4 con un buffer de 75 km.

En la figura 44, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 4, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

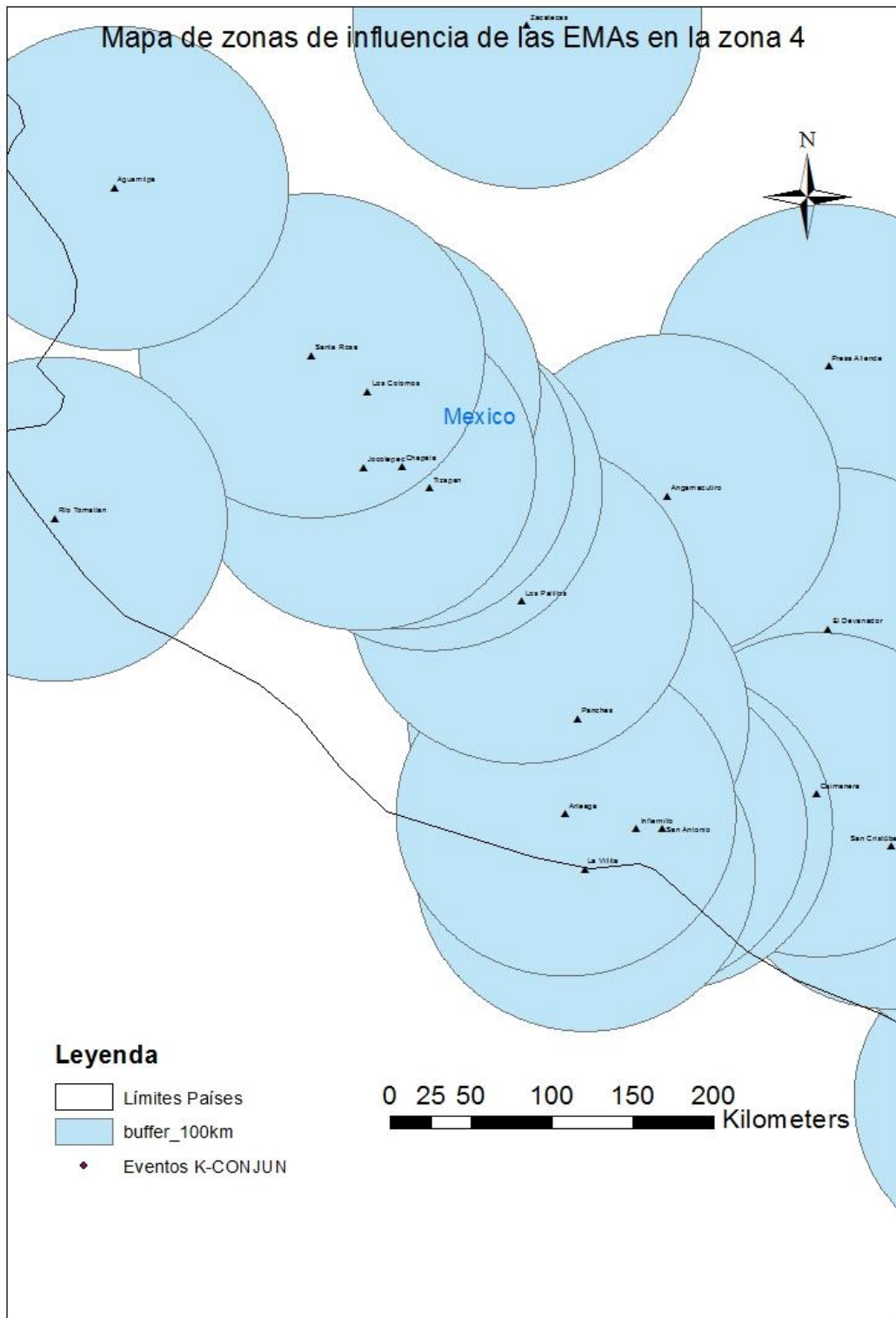


Figura 44: EMAs de la zona 4 con un buffer de 100 km.

En la figura 45, podemos ver la distribución de las EMAs, situadas en la zona 4, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs.

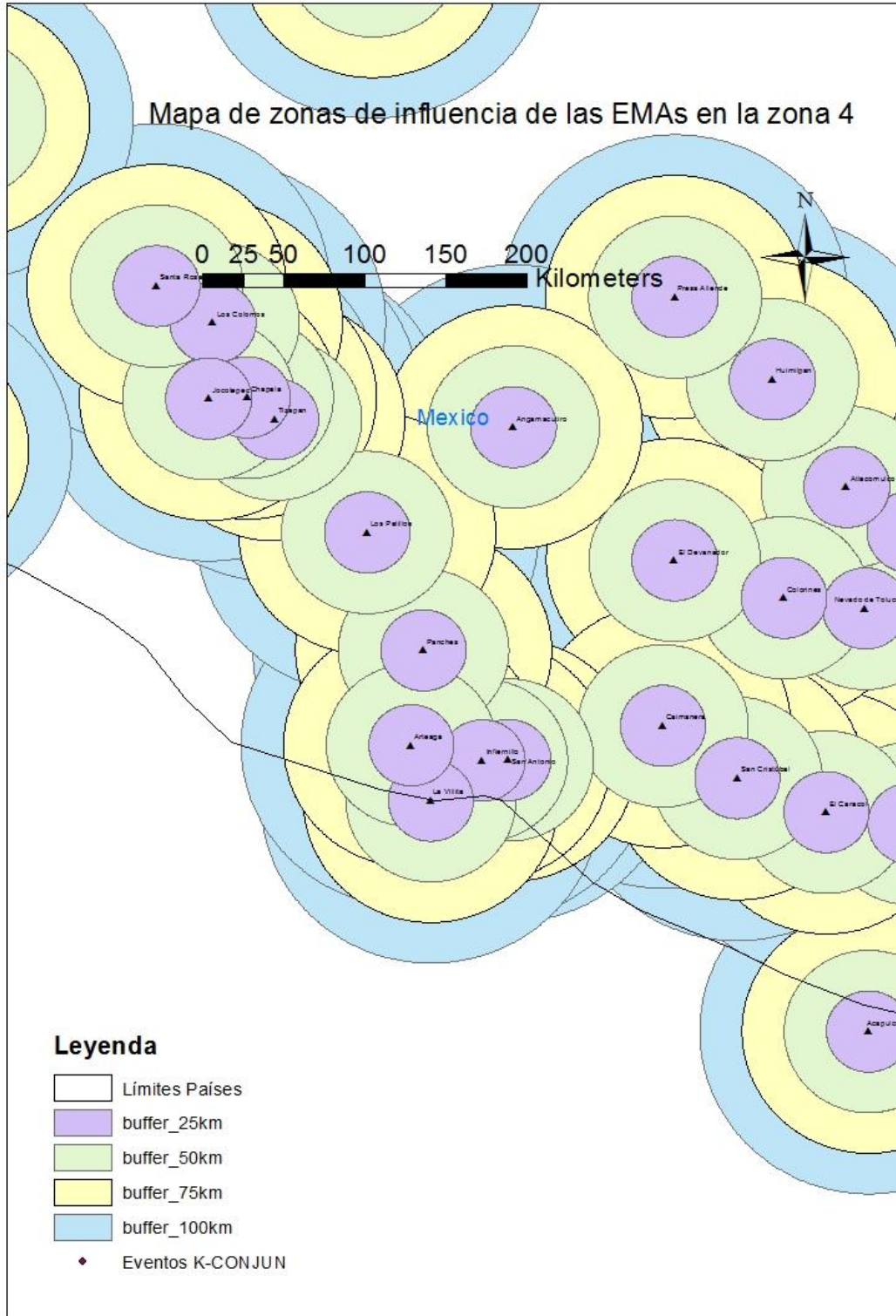


Figura 45: EMAs de la zona 4 con todos los buffer.

5.6.8. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN LA ZONA 4 (JALISCO)

En la figura 46, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , en la zona 4.

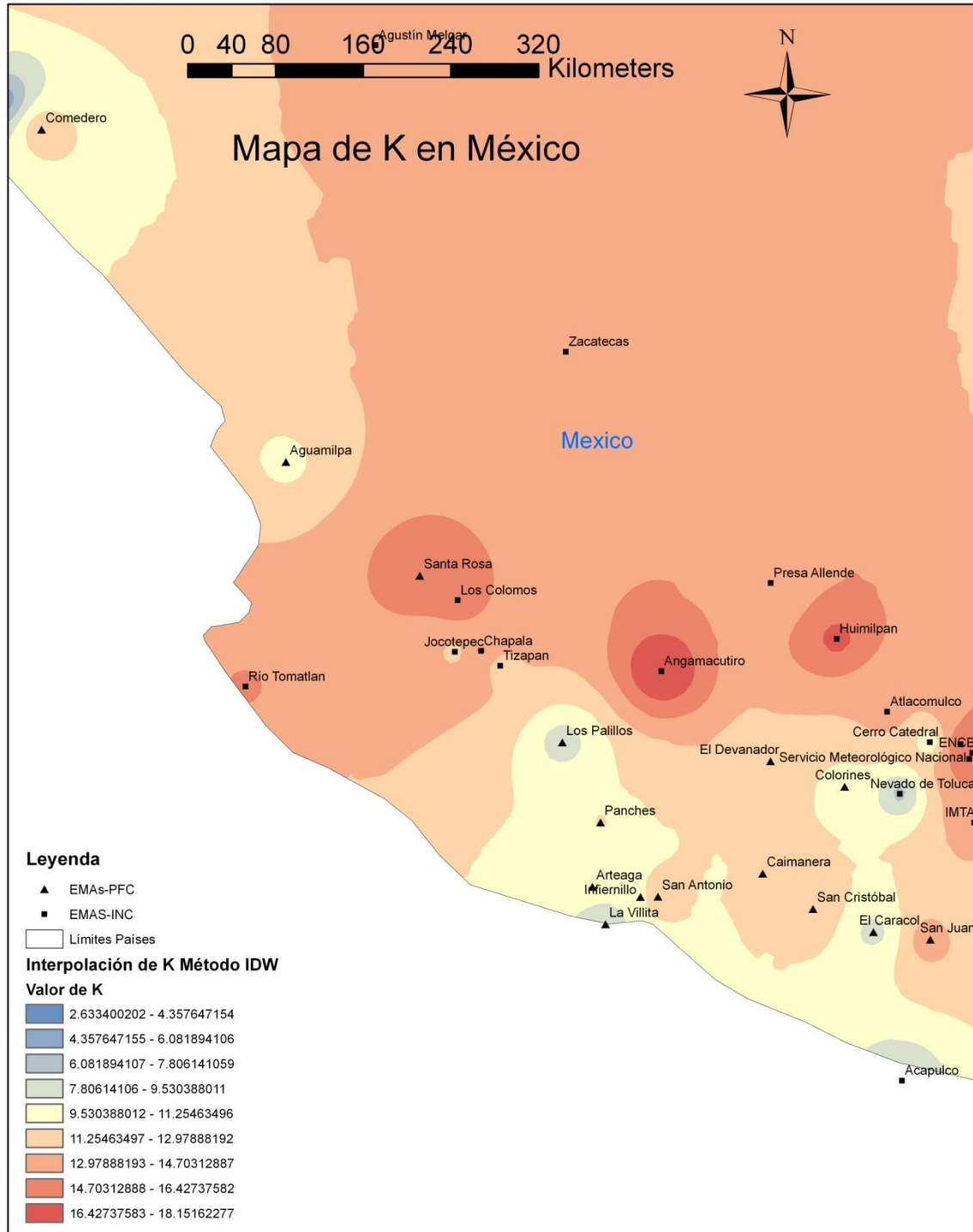


Figura 46: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 4.

5.6.9. ZONA DE INFLUENCIA DE LAS EMAs EN LA ZONA 5 (SINALOA)

En la figura 47, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 5, a las que se le ha introducido un buffer de 25 km, para así observar las zonas de solape entre estaciones y ver de qué estaciones se podría prescindir.

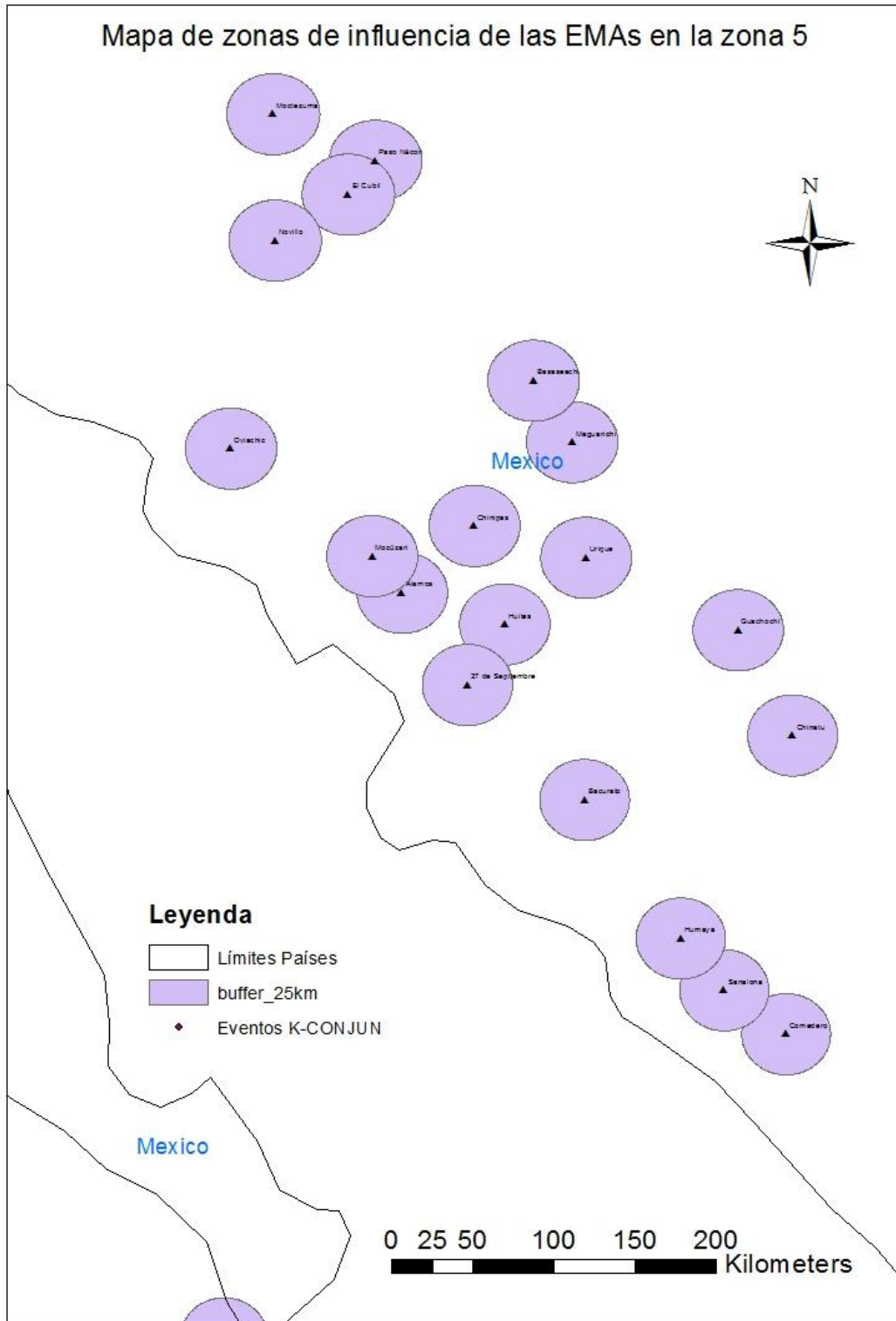


Figura 47: EMAs de la zona 5 con un buffer de 25 km.

En la figura 48, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 5, con un buffer de 50 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

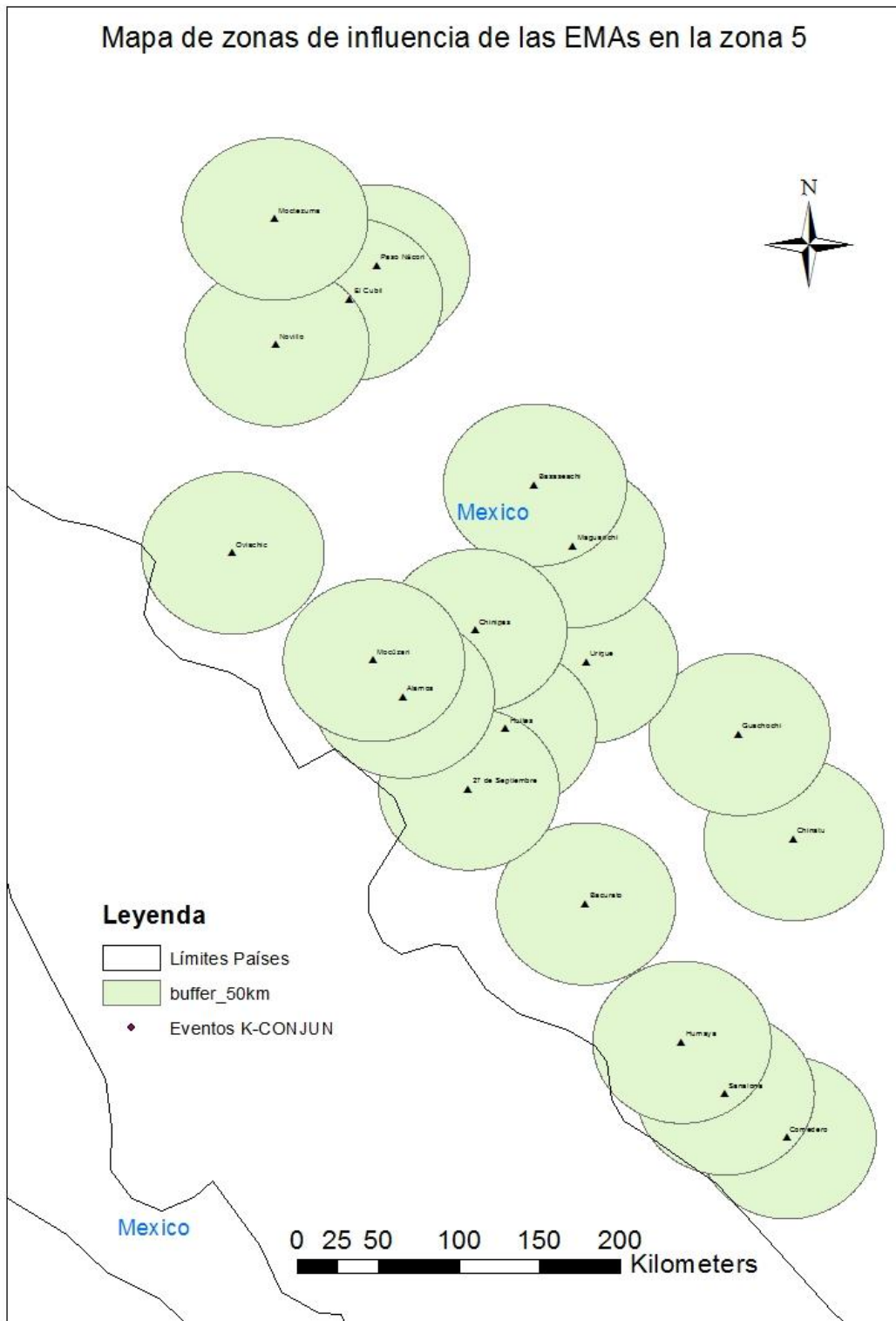


Figura 48: EMAs de la zona 5 con un buffer de 50 km.

En la figura 49, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 5, con un buffer de 75 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

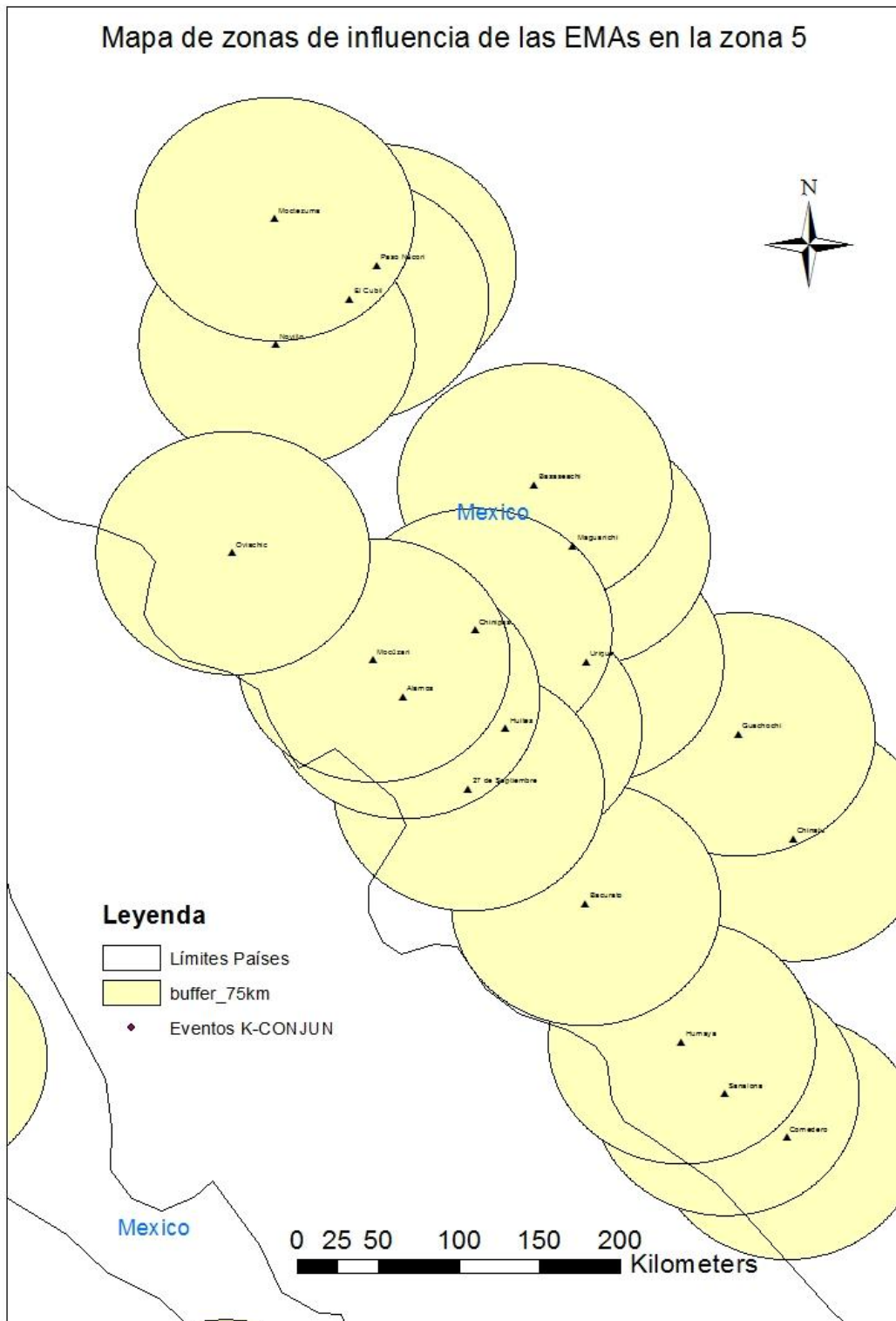


Figura 49: EMAs de la zona 5 con un buffer de 75 km.

En la figura 50, podemos ver la distribución de las EMAs situadas en la zona 5, con un buffer de 100 km, para así observar las zonas de solape entre EMAs.

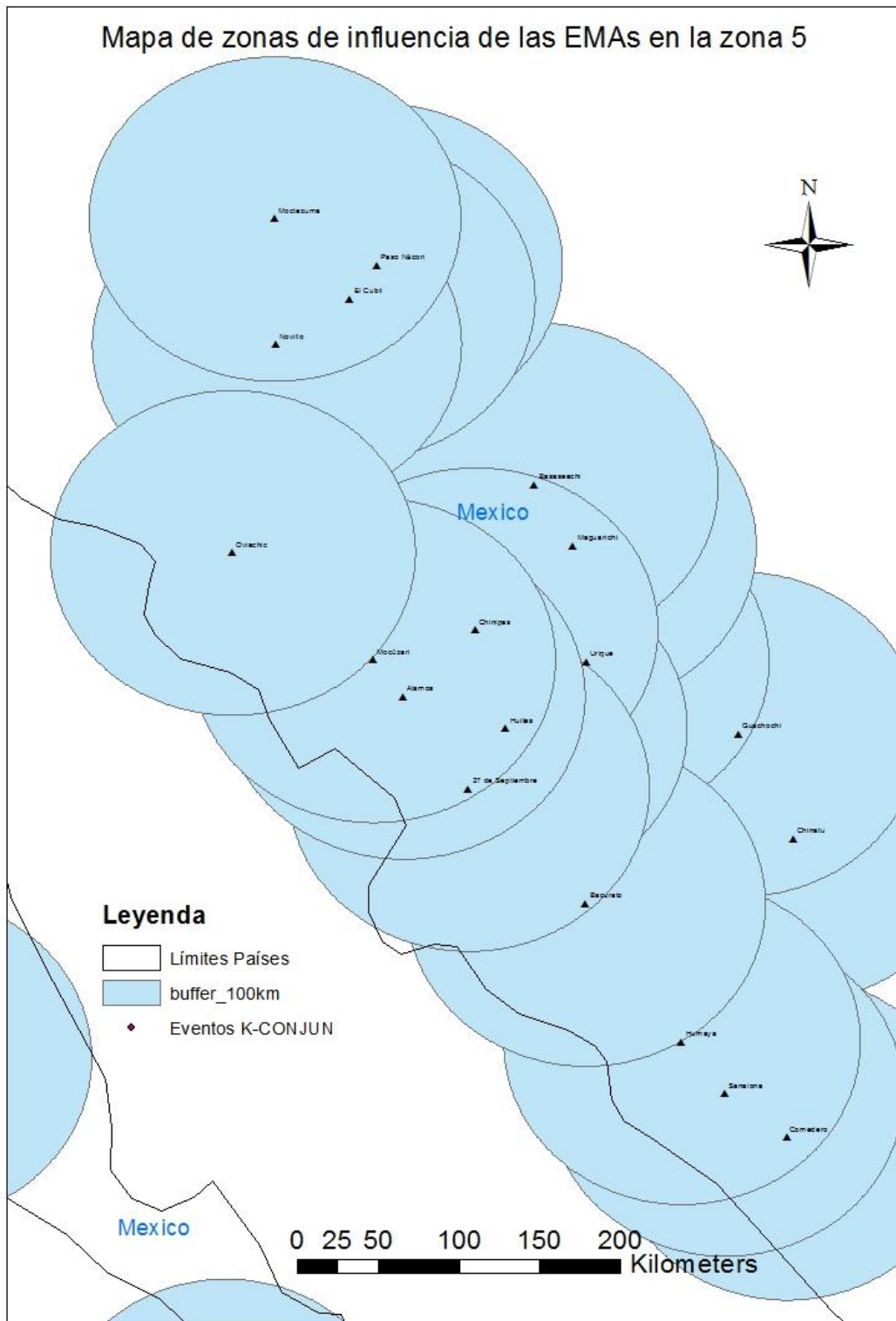


Figura 50: EMAs de la zona 5 con un buffer de 100 km.

En la figura 51, podemos ver la distribución de las EMAs, situadas en la zona 5, con los diferentes buffer utilizados para así tener una visión general de las zonas de solape entre EMAs.

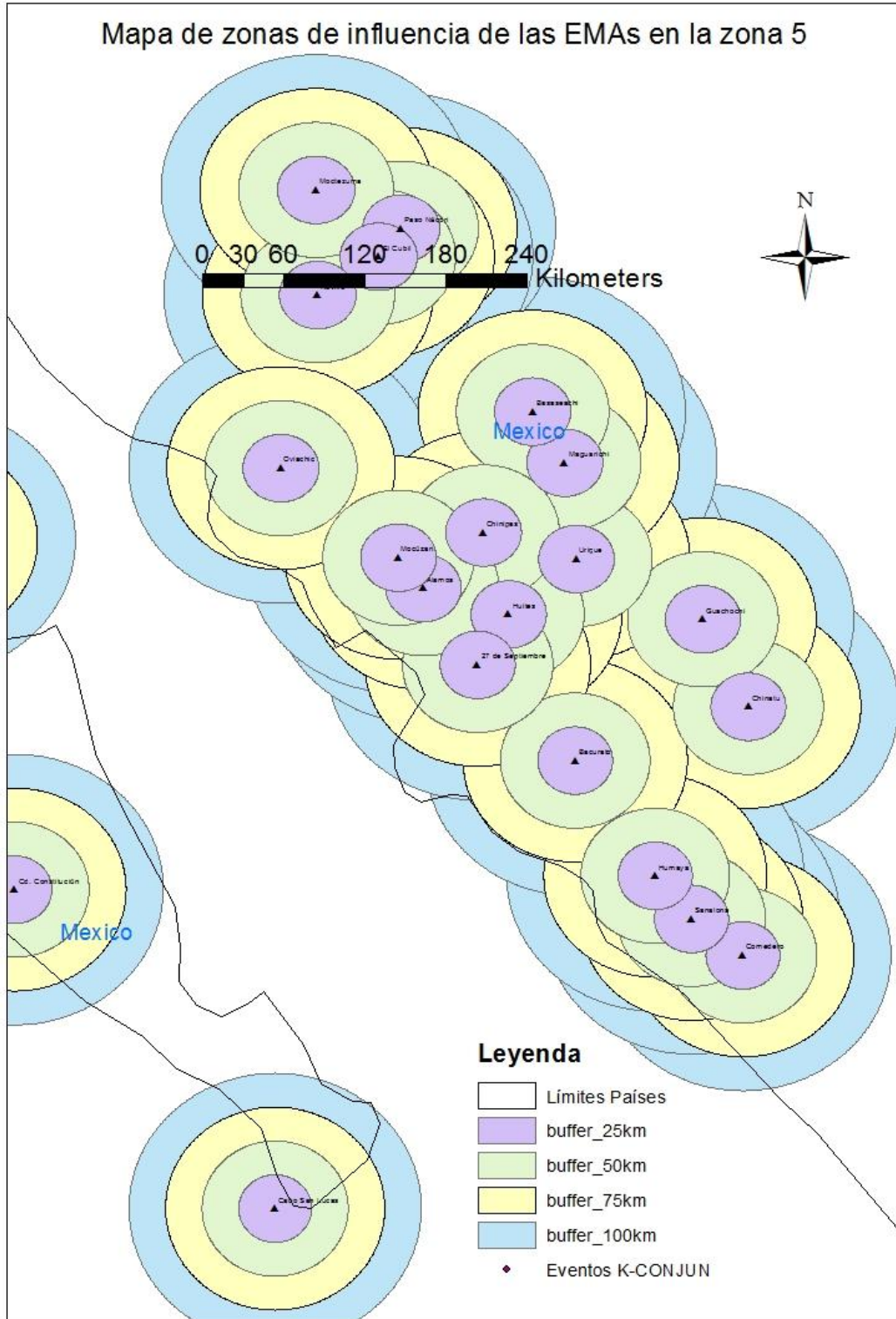


Figura 51: EMAs de la zona 5 con todos los buffer.

5.6.10. MAPA CROMÁTICO DEL PARÁMETRO k EN LA ZONA 5 (SINALOA)

En la figura 52, podemos observar un mapa cromático de los valores del parámetro k , en la zona 5.

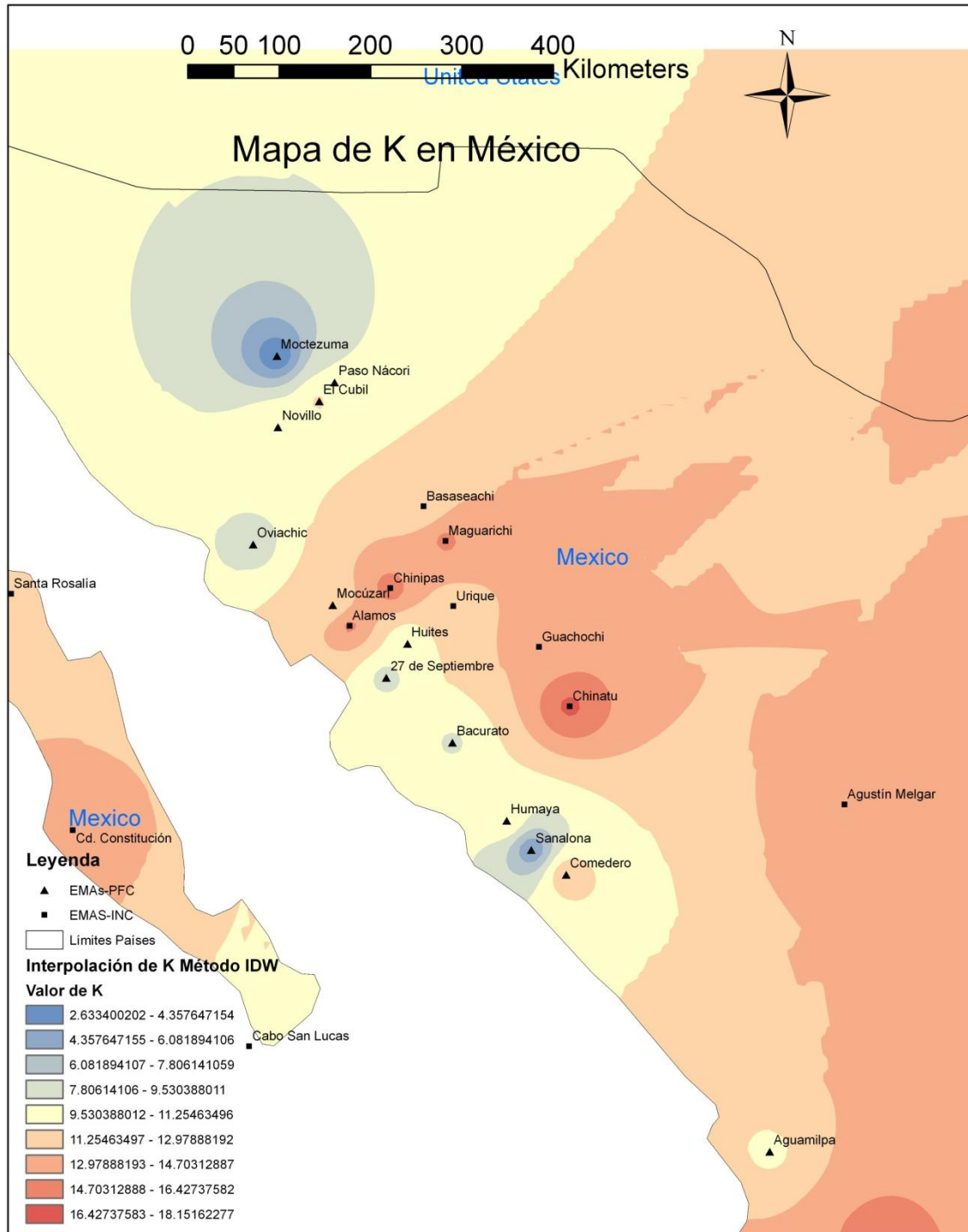


Figura 52: Mapa cromático de los valores del parámetro k en la zona 5.

5.7. ANÁLISIS DE LAS ZONAS ESPECÍFICAS

5.7.1. ANÁLISIS DE LA ZONA 1 (YUCATÁN)

En la tabla 10, podemos observar, para esas 8 EMAs, los valores del parámetro k , comprendidos entre 7,88 y 15,78, y los valores de altitud de cada una de ellas, comprendidos entre 4 y 30 metros.

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Campeche	-90,51	19,84	15,69	11
Celestun	-90,38	20,86	14,67	10
Mérida	-89,65	20,95	15,78	18
Tantaquin	-89,05	20,03	14	30
Cancún	-86,78	21,08	8,92	4
Cozumel	-86,91	20,48	8,51	5
Sian Ka an	-87,47	20,13	7,88	8
Río Lagartos	-88,16	21,57	15,37	5

Tabla 10: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 1.

Para ver si existe alguna correlación entre el parámetro k y la altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 53).

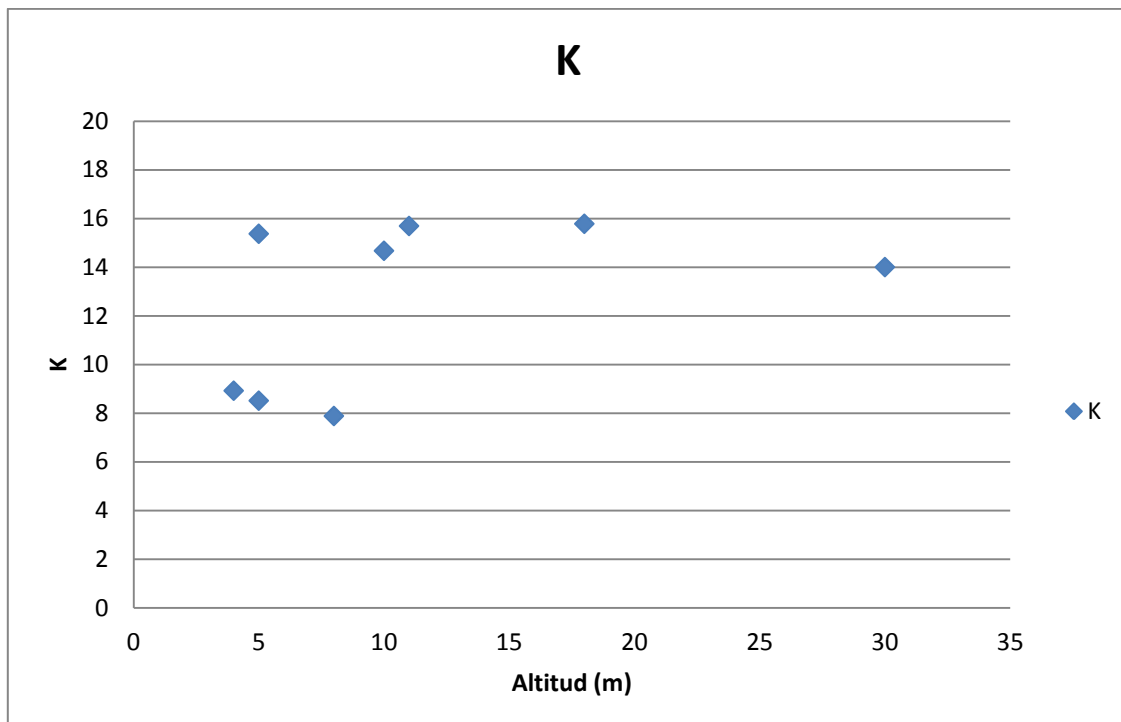


Figura 53: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 1.

En la tabla 11, podemos observar la distancia (Km) que hay entre EMAs y los incrementos de altitud (m) y del parámetro k que existen entre ellas.

DE	A	DISTANCIA (Km)	ΔK	Δh (m)
Campeche	Celestun	114	1,02	1,00
	Mérida	152	0,09	7,00
	Tantaquin	154	1,69	19,00
	Cancún	413	6,77	7,00
	Cozumel	383	7,18	6,00
	Sian Ka an	320	7,81	3,00
	Río Lagartos	311	0,32	6,00
Celestun	Mérida	77	1,11	8,00
	Tantaquin	166	0,67	20,00
	Cancún	375	5,75	6,00
	Cozumel	364	6,16	5,00
	Sian Ka an	314	6,79	2,00
	Río Lagartos	244	0,70	5,00
Mérida	Tantaquin	120	1,78	12,00
	Cancún	299	6,86	14,00
	Cozumel	290	7,27	13,00
	Sian Ka an	245	7,90	10,00
	Río Lagartos	169	0,41	13,00
Tantaquin	Cancún	264	5,08	26,00
	Cozumel	229	5,49	25,00
	Sian Ka an	166	6,12	22,00
	Río Lagartos	194	1,37	25,00
Cancún	Cozumel	68	0,41	1,00
	Sian Ka an	127	1,04	4,00
	Río Lagartos	153	6,45	1,00
Cozumel	Sian Ka an	70	0,63	3,00
	Río Lagartos	177	6,86	0,00
Sian Ka an	Río Lagartos	175	7,49	3,00

Tabla 11: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 1.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y la distancia, se han representado gráficamente ambas variables (figura 54).

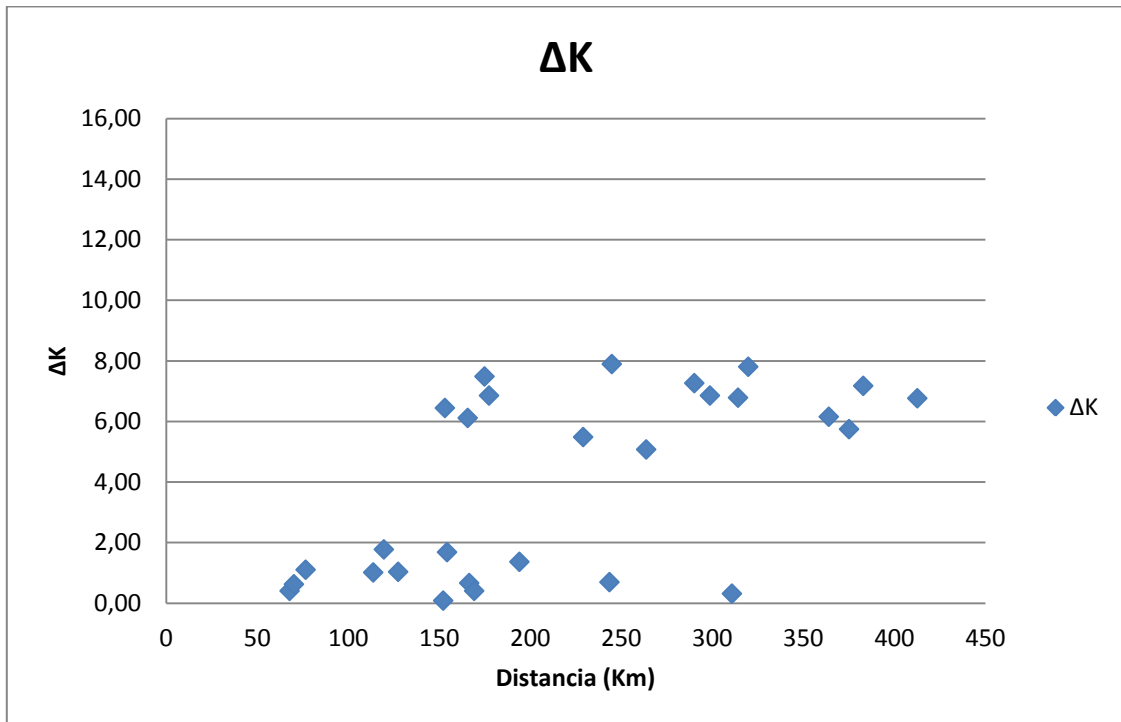


Figura 54: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 1.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y el incremento de altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 55).

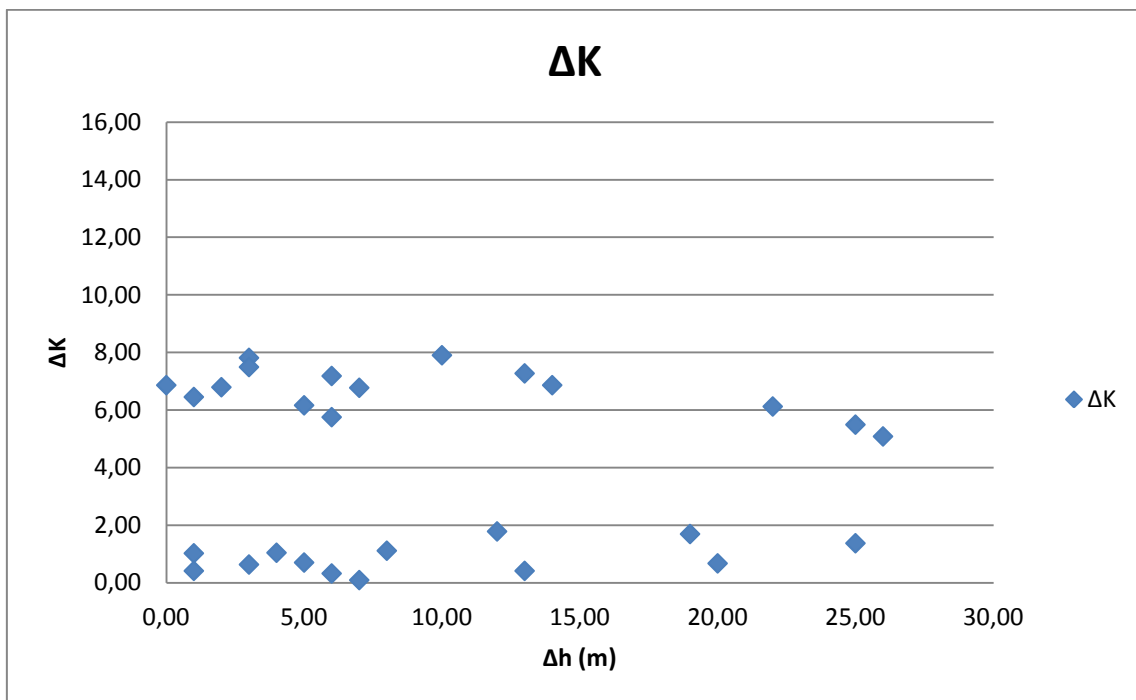


Figura 55: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 1.

5.7.2. ANÁLISIS DE LA ZONA 2 (CHIAPAS)

En la tabla 12, podemos observar, para esas 11 EMAs, los valores del parámetro k , comprendidos entre 2,60 y 12,52, y los valores de altitud de cada una de ellas, comprendidos entre 95 y 2135 metros.

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Sierra Morena	-93,59	16,15	8,12	1120
Angostura	-92,78	16,40	10,00	545
San Cristóbal de las Casas	-92,60	16,73	9,25	2135
Santo Domingo	-93,06	16,45	5,65	500
Cristóbal Obregón	-93,47	16,44	11,12	900
Chicoasén	-93,10	16,94	12,52	405
Ocoatepec	-93,16	17,23	4,12	1450
Malpaso	-93,60	17,20	9,28	192
Rómulo Calzada	-93,55	17,35	6,11	97
Sayula	-93,33	17,40	6,64	229
Peñitas	-93,46	17,45	2,60	95

Tabla 12: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 2.

Para ver si existe alguna correlación entre el parámetro k y la altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 56).

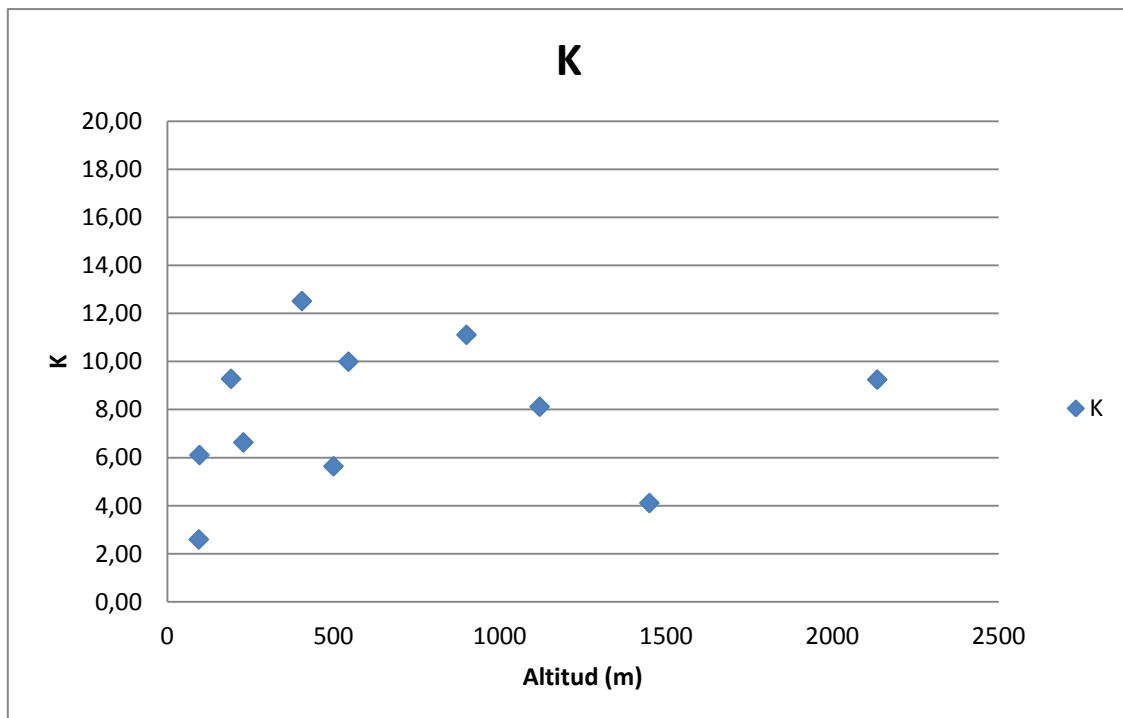


Figura 56: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 2.

En la tabla 13, podemos observar la distancia (Km) que hay entre EMAs y los incrementos de altitud (m) y del parámetro k que existen entre ellas.

DE	A	DISTANCIA (Km)	ΔK	Δh (m)
Sierra Morena	Angostura	91	1,87	575,00
	San Cristóbal de las Casas	124	1,13	1015,00
	Santo Domingo	66	2,48	620,00
	Cristóbal Obregón	35	2,99	220,00
	Chicoasén	102	4,40	715,00
	Ocoatepec	128	4,01	330,00
	Malpaso	116	1,16	928,00
	Rómulo Calzada	133	2,01	1023,00
	Sayula	141	1,49	891,00
	Peñitas	145	5,52	1025,00
Angostura	San Cristóbal de las Casas	41	0,75	1590,00
	Santo Domingo	30	4,35	45,00
	Cristóbal Obregón	74	1,12	355,00
	Chicoasén	69	2,52	140,00
	Ocoatepec	100	5,88	905,00
	Malpaso	124	0,71	353,00
	Rómulo Calzada	133	3,89	448,00
	Sayula	125	3,36	316,00
Peñitas	137	7,40	450,00	
San Cristóbal de las Casas	Santo Domingo	58	3,61	1635,00
	Cristóbal Obregón	98	1,86	1235,00
	Chicoasén	58	3,27	1730,00
	Ocoatepec	81	5,14	685,00
	Malpaso	119	0,03	1943,00
	Rómulo Calzada	122	3,14	2038,00
	Sayula	107	2,61	1906,00
	Peñitas	121	6,65	2040,00
Santo Domingo	Cristóbal Obregón	44	5,47	400,00
	Chicoasén	54	6,88	95,00
	Ocoatepec	87	1,53	950,00
	Malpaso	101	3,64	308,00
	Rómulo Calzada	112	0,47	403,00
	Sayula	109	0,99	271,00
	Peñitas	119	3,05	405,00
Cristóbal Obregón	Chicoasén	68	1,41	495,00
	Ocoatepec	93	7,00	550,00
	Malpaso	85	1,83	708,00
	Rómulo Calzada	101	5,00	803,00
	Sayula	107	4,48	671,00
	Peñitas	112	8,51	805,00
Chicoasén	Ocoatepec	33	8,41	1045,00

	Malpaso	61	3,24	213,00
	Rómulo Calzada	66	6,41	308,00
	Sayula	56	5,88	176,00
	Peñitas	68	9,92	310,00
Ocoatepec	Malpaso	47	5,17	1258,00
	Rómulo Calzada	44	2,00	1353,00
	Sayula	26	2,52	1221,00
	Peñitas	40	1,51	1355,00
Malpaso	Rómulo Calzada	17	3,17	95,00
	Sayula	36	2,64	37,00
	Peñitas	31	6,68	97,00
Rómulo Calzada	Sayula	24	0,53	132,00
	Peñitas	15	3,51	2,00
Sayula	Peñitas	15	4,04	134,00

Tabla 13: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 2.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y la distancia, se han representado gráficamente ambas variables (figura 57).

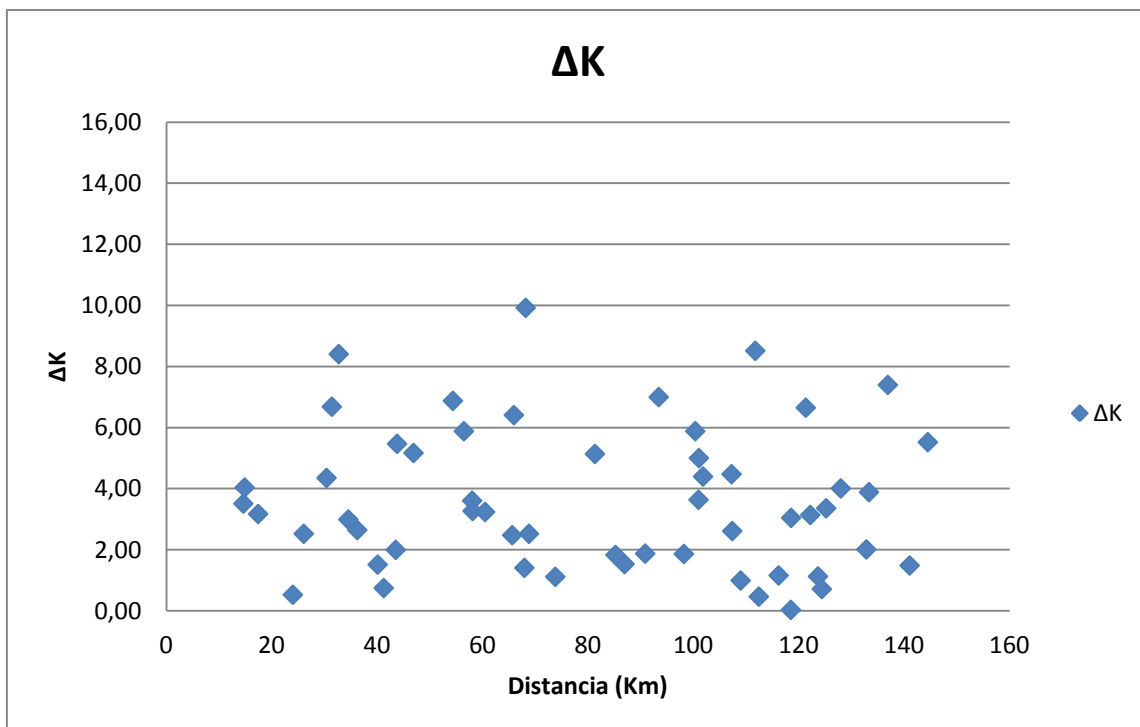


Figura 57: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 2.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y el incremento de altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 58).

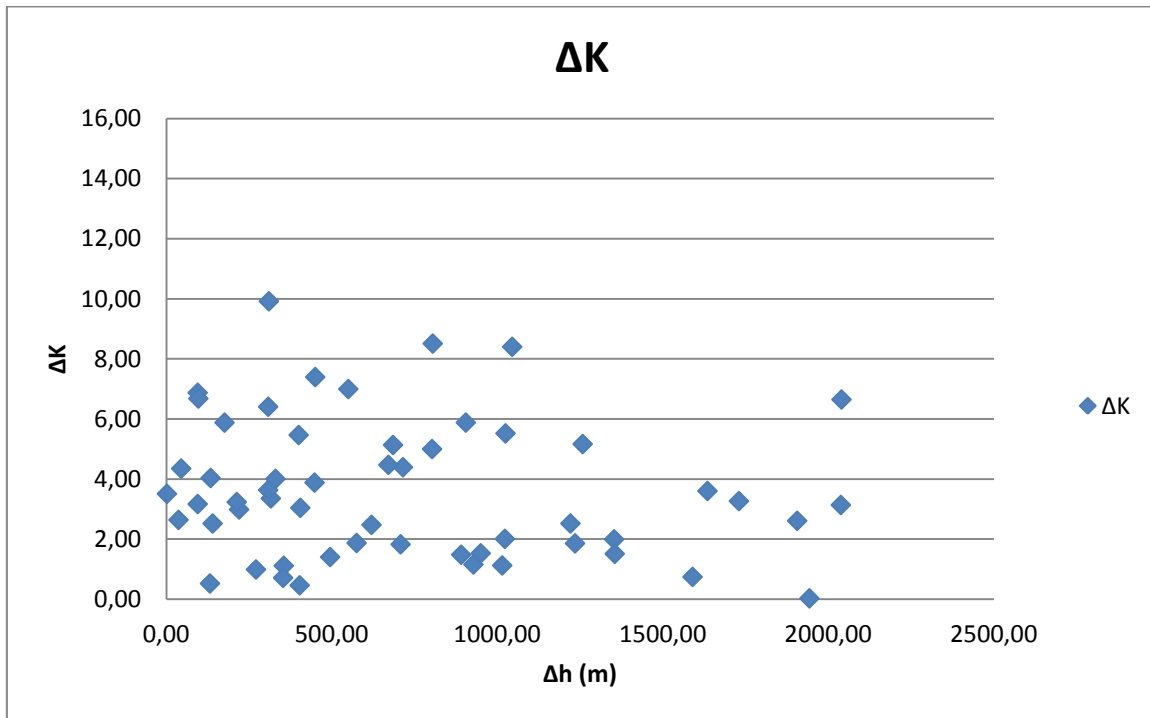


Figura 58: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 2.

5.7.3. ANÁLISIS DE LA ZONA 3 (CIUDAD DE MÉXICO)

En la tabla 10, podemos observar, para esas 23 EMAs, los valores del parámetro k , comprendidos entre 7,31 y 18,06, y los valores de altitud de cada una de ellas, comprendidos entre 275 y 4139 metros.

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Presa Allende	-100,82	20,85	13,07	1915
Huimilpan	-100,28	20,39	16,83	2280
Atlacomulco	-99,87	19,79	13,58	2600
Pachuca	-98,71	20,10	15,86	2423
El Devanador	-100,83	19,38	12,16	1190
Cerro Catedral	-99,52	19,54	10,00	3754
Presa Madin	-99,27	19,52	16,03	2364
Servicio Meteorológico Nacional	-99,20	19,40	16,56	2320
ENCB	-99,17	19,45	15,29	2389
Colorines	-100,22	19,18	10,61	1627
Nevado de Toluca	-99,77	19,12	7,31	4139
Caimanera	-100,89	18,46	11,44	287
San Cristóbal	-100,48	18,17	12,68	275
El Caracol	-99,98	17,98	9,05	526

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
IMTA	-99,16	18,88	13,81	1355
San Juan	-99,52	17,92	14,11	471,37
Huamantla	-97,95	19,38	18,06	2222
UTT	-97,72	18,87	16,55	2047
Izucar de Matamoros	-98,45	18,62	13,56	1353
El Fraile	-98,40	18,19	13,48	899,01
Atenango del Río	-99,10	18,11	11,44	616,5
Papalutla	-98,89	18,02	9,58	642,89
Ixcamilpa	-98,72	18,04	13,58	793,69

Tabla 14: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 3.

Para ver si existe alguna correlación entre el parámetro k y la altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 59).

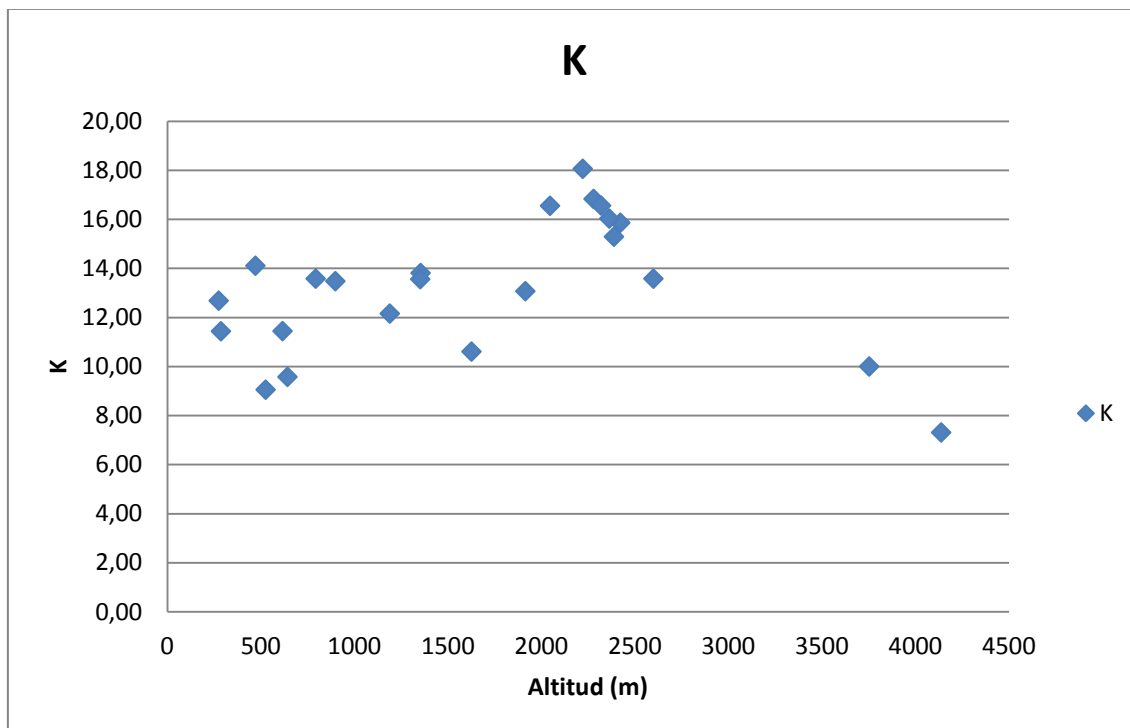


Figura 59: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 3.

En la tabla 15, podemos observar la distancia (Km) que hay entre EMAs y los incrementos de altitud (m) y del parámetro k que existen entre ellas.

DE	A	DISTANCIA (Km)	ΔK	Δh (m)
Presa Allende	Huimilpan	76	3,76	365,00
	Atacomulco	154	0,51	685,00
	Pachuca	235	2,79	508,00
	El Devanador	163	0,91	725,00
	Cerro Catedral	199	3,07	1839,00
	Presa Madin	219	2,96	449,00
	Servicio Meteorológico Nacional	233	3,49	405,00
	ENCB	232	2,22	474,00
	Colorines	195	2,46	288,00
	Nevado de Toluca	221	5,76	2224,00
	Caimanera	265	1,63	1628,00
	San Cristóbal	299	0,39	1640,00
	El Caracol	330	4,02	1389,00
	IMTA	279	0,74	560,00
	San Juan	352	1,04	1443,63
	Huamantla	341	4,99	307,00
	UTT	392	3,48	132,00
	Izucar de Matamoros	350	0,49	562,00
	El Fraile	389	0,41	1015,99
	Atenango del Río	353	1,63	1298,50
Papalutla	373	3,49	1272,11	
Ixcamilpa	381	0,51	1121,31	
Huimilpan	Atacomulco	79	3,25	320,00
	Pachuca	167	0,97	143,00
	El Devanador	126	4,67	1090,00
	Cerro Catedral	123	6,83	1474,00
	Presa Madin	143	0,80	84,00
	Servicio Meteorológico Nacional	157	0,27	40,00
	ENCB	156	1,54	109,00
	Colorines	134	6,22	653,00
	Nevado de Toluca	150	9,52	1859,00
	Caimanera	223	5,39	1993,00
	San Cristóbal	247	4,15	2005,00
	El Caracol	269	7,78	1754,00
	IMTA	204	3,02	925,00
	San Juan	285	2,72	1808,63
	Huamantla	268	1,23	58,00
	UTT	317	0,28	233,00
	Izucar de Matamoros	274	3,27	927,00
	El Fraile	314	3,35	1380,99
Atenango del Río	281	5,39	1663,50	

RESULTADOS

	Papalutla	300	7,25	1637,11
	Ixcamilpa	308	3,25	1486,31
Atlacomulco	Pachuca	126	2,28	177,00
	El Devanador	110	1,42	1410,00
	Cerro Catedral	46	3,58	1154,00
	Presa Madin	70	2,45	236,00
	Servicio Meteorológico Nacional	82	2,98	280,00
	ENCB	83	1,71	211,00
	Colorines	77	2,97	973,00
	Nevado de Toluca	75	6,27	1539,00
	Caimanera	182	2,14	2313,00
	San Cristóbal	190	0,90	2325,00
	El Caracol	201	4,53	2074,00
	IMTA	125	0,23	1245,00
	San Juan	210	0,53	2128,63
	Huamantla	206	4,48	378,00
	UTT	248	2,97	553,00
	Izucar de Matamoros	198	0,02	1247,00
	El Fraile	235	0,10	1700,99
	Atenango del Río	203	2,14	1983,50
	Papalutla	221	4,00	1957,11
	Ixcamilpa	228	0,00	1806,31
Pachuca	El Devanador	236	3,70	1233,00
	Cerro Catedral	105	5,86	1331,00
	Presa Madin	87	0,17	59,00
	Servicio Meteorológico Nacional	93	0,70	103,00
	ENCB	87	0,57	34,00
	Colorines	188	5,25	796,00
	Nevado de Toluca	155	8,55	1716,00
	Caimanera	292	4,42	2136,00
	San Cristóbal	283	3,18	2148,00
	El Caracol	270	6,81	1897,00
	IMTA	143	2,05	1068,00
	San Juan	256	1,75	1951,63
	Huamantla	113	2,20	201,00
	UTT	171	0,69	376,00
	Izucar de Matamoros	166	2,30	1070,00
	El Fraile	214	2,38	1523,99
	Atenango del Río	224	4,42	1806,50
	Papalutla	231	6,28	1780,11
	Ixcamilpa	228	2,28	1629,31
	El Devanador	Cerro Catedral	139	2,16
Presa Madin		165	3,87	1174,00
Servicio Meteorológico Nacional		171	4,40	1130,00
ENCB		175	3,13	1199,00

RESULTADOS

	Colorines	68	1,55	437,00
	Nevado de Toluca	115	4,85	2949,00
	Caimanera	102	0,72	903,00
	San Cristóbal	139	0,53	915,00
	El Caracol	179	3,10	664,00
	IMTA	184	1,65	165,00
	San Juan	213	1,95	718,63
	Huamantla	303	5,90	1032,00
	UTT	332	4,39	857,00
	Izucar de Matamoros	264	1,40	163,00
	El Fraile	288	1,32	290,99
	Atenango del Río	230	0,71	573,50
	Papalutla	254	2,58	547,11
	Ixcamilpa	267	1,42	396,31
Cerro Catedral	Presa Madin	26	6,03	1390,00
	Servicio Meteorológico Nacional	37	6,56	1434,00
	ENCB	38	5,29	1365,00
	Colorines	84	0,61	2127,00
	Nevado de Toluca	53	2,69	385,00
	Caimanera	187	1,44	3467,00
	San Cristóbal	182	2,68	3479,00
	El Caracol	179	0,95	3228,00
	IMTA	82	3,81	2399,00
	San Juan	179	4,11	3282,63
	Huamantla	166	8,06	1532,00
	UTT	203	6,55	1707,00
	Izucar de Matamoros	152	3,56	2401,00
	El Fraile	190	3,48	2854,99
	Atenango del Río	164	1,44	3137,50
	Papalutla	181	0,42	3111,11
	Ixcamilpa	186	3,58	2960,31
Presa Madin	Servicio Meteorológico Nacional	15	0,53	44,00
	ENCB	13	0,74	25,00
	Colorines	107	5,42	737,00
	Nevado de Toluca	69	8,72	1775,00
	Caimanera	207	4,59	2077,00
	San Cristóbal	196	3,35	2089,00
	El Caracol	186	6,98	1838,00
	IMTA	72	2,22	1009,00
	San Juan	179	1,92	1892,63
	Huamantla	139	2,03	142,00
	UTT	178	0,52	317,00
	Izucar de Matamoros	132	2,47	1011,00
	El Fraile	173	2,55	1464,99
	Atenango del Río	157	4,59	1747,50

RESULTADOS

	Papalutla	171	6,45	1721,11	
	Ixcamilpa	174	2,45	1570,31	
Servicio Meteorológico Nacional	ENCB	6	1,27	69,00	
	Colorines	110	5,95	693,00	
	Nevado de Toluca	67	9,25	1819,00	
	Caimanera	206	5,12	2033,00	
	San Cristóbal	192	3,88	2045,00	
	El Caracol	177	7,51	1794,00	
	IMTA	58	2,75	965,00	
	San Juan	167	2,45	1848,63	
	Huamantla	131	1,50	98,00	
	UTT	166	0,01	273,00	
	Izucar de Matamoros	117	3,00	967,00	
	El Fraile	158	3,08	1420,99	
	Atenango del Río	143	5,12	1703,50	
	Papalutla	156	6,98	1677,11	
	Ixcamilpa	159	2,98	1526,31	
	ENCB	Colorines	114	4,68	762,00
Nevado de Toluca		73	7,98	1750,00	
Caimanera		212	3,85	2102,00	
San Cristóbal		198	2,61	2114,00	
El Caracol		184	6,24	1863,00	
IMTA		63	1,48	1034,00	
San Juan		173	1,18	1917,63	
Huamantla		128	2,77	167,00	
UTT		165	1,26	342,00	
Izucar de Matamoros		119	1,73	1036,00	
El Fraile		161	1,81	1489,99	
Atenango del Río		149	3,85	1772,50	
Papalutla		161	5,71	1746,11	
Ixcamilpa		163	1,71	1595,31	
Colorines		Nevado de Toluca	48	3,30	2512,00
		Caimanera	106	0,83	1340,00
	San Cristóbal	115	2,07	1352,00	
	El Caracol	135	1,55	1101,00	
	IMTA	116	3,20	272,00	
	San Juan	158	3,50	1155,63	
	Huamantla	240	7,45	595,00	
	UTT	265	5,94	420,00	
	Izucar de Matamoros	197	2,95	274,00	
	El Fraile	221	2,87	727,99	
	Atenango del Río	167	0,83	1010,50	
	Papalutla	190	1,03	984,11	
	Ixcamilpa	202	2,97	833,31	
Nevado de Toluca	Caimanera	139	4,13	3852,00	

RESULTADOS

	San Cristóbal	129	5,37	3864,00
	El Caracol	128	1,74	3613,00
	IMTA	70	6,50	2784,00
	San Juan	135	6,80	3667,63
	Huamantla	193	10,75	1917,00
	UTT	218	9,24	2092,00
	Izucar de Matamoros	150	6,25	2786,00
	El Fraile	177	6,17	3239,99
	Atenango del Río	132	4,13	3522,50
	Papalutla	153	2,27	3496,11
	Ixcamilpa	163	6,27	3345,31
Caimanera	San Cristóbal	54	1,25	12,00
	El Caracol	110	2,38	239,00
	IMTA	188	2,37	1068,00
	San Juan	157	2,67	184,37
	Huamantla	326	6,62	1935,00
	UTT	337	5,11	1760,00
	Izucar de Matamoros	258	2,12	1066,00
	El Fraile	265	2,04	612,01
	Atenango del Río	193	0,01	329,50
	Papalutla	217	1,86	355,89
	Ixcamilpa	234	2,14	506,69
San Cristóbal	El Caracol	57	3,63	251,00
	IMTA	160	1,13	1080,00
	San Juan	105	1,42	196,37
	Huamantla	298	5,38	1947,00
	UTT	302	3,87	1772,00
	Izucar de Matamoros	220	0,88	1078,00
	El Fraile	220	0,80	624,01
	Atenango del Río	146	1,24	341,50
	Papalutla	169	3,11	367,89
	Ixcamilpa	187	0,90	518,69
El Caracol	IMTA	132	4,76	829,00
	San Juan	49	5,05	54,63
	Huamantla	264	9,01	1696,00
	UTT	258	7,50	1521,00
	Izucar de Matamoros	177	4,51	827,00
	El Fraile	169	4,42	373,01
	Atenango del Río	94	2,39	90,50
	Papalutla	116	0,52	116,89
	Ixcamilpa	134	4,53	267,69
IMTA	San Juan	113	0,30	883,63
	Huamantla	139	4,25	867,00
	UTT	152	2,74	692,00
	Izucar de Matamoros	80	0,25	2,00

	El Fraile	111	0,33	455,99
	Atenango del Río	85	2,37	738,50
	Papalutla	99	4,23	712,11
	Ixcamilpa	104	0,23	561,31
San Juan	Huamantla	231	3,95	1750,63
	UTT	217	2,44	1575,63
	Izucar de Matamoros	137	0,55	881,63
	El Fraile	122	0,63	427,64
	Atenango del Río	49	2,66	145,13
	Papalutla	68	4,53	171,52
	Ixcamilpa	86	0,53	322,32
Huamantla	UTT	61	1,51	175,00
	Izucar de Matamoros	99	4,50	869,00
	El Fraile	140	4,58	1322,99
	Atenango del Río	186	6,62	1605,50
	Papalutla	180	8,48	1579,11
	Ixcamilpa	169	4,48	1428,31
UTT	Izucar de Matamoros	82	2,99	694,00
	El Fraile	104	3,07	1147,99
	Atenango del Río	168	5,11	1430,50
	Papalutla	155	6,97	1404,11
	Ixcamilpa	140	2,97	1253,31
Izucar de Matamoros	El Fraile	48	0,08	453,99
	Atenango del Río	89	2,12	736,50
	Papalutla	81	3,98	710,11
	Ixcamilpa	70	0,02	559,31
El Fraile	Atenango del Río	75	2,04	282,51
	Papalutla	55	3,90	256,12
	Ixcamilpa	38	0,10	105,32
Atenango del Río	Papalutla	24	1,87	26,39
	Ixcamilpa	41	2,14	177,19
Papalutla	Ixcamilpa	18	4,00	150,80

Tabla 15: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 3.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y la distancia, se han representado gráficamente ambas variables (figura 60).

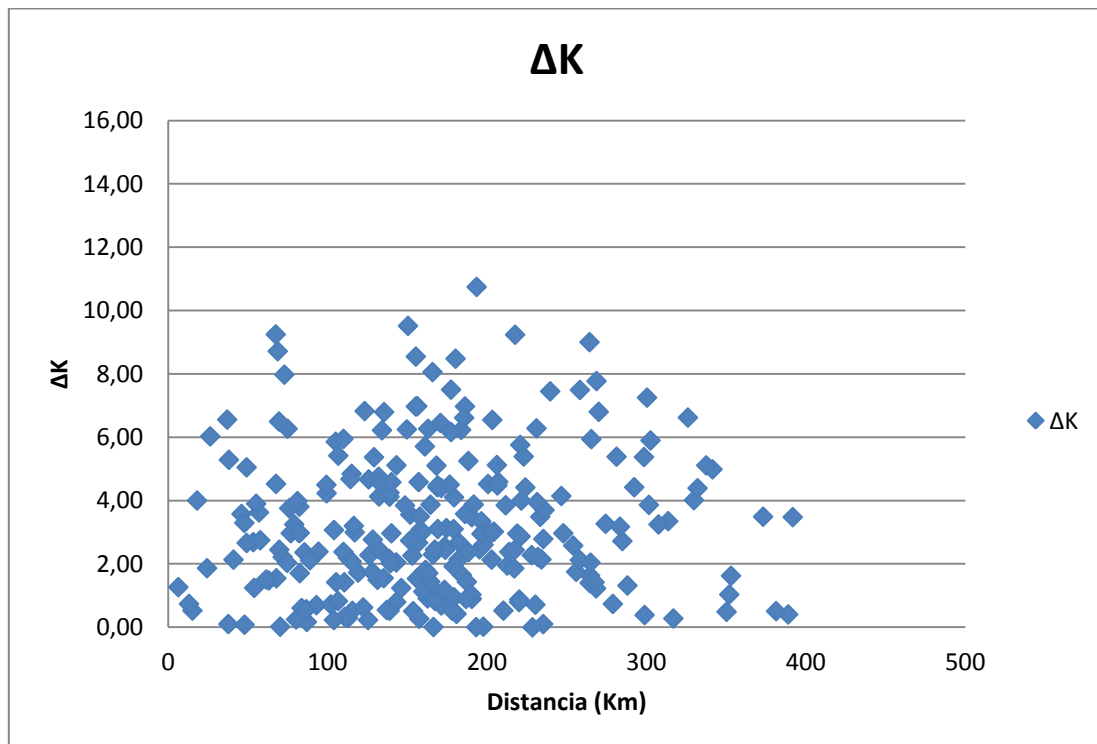


Figura 60: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 3.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y el incremento de altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 61).

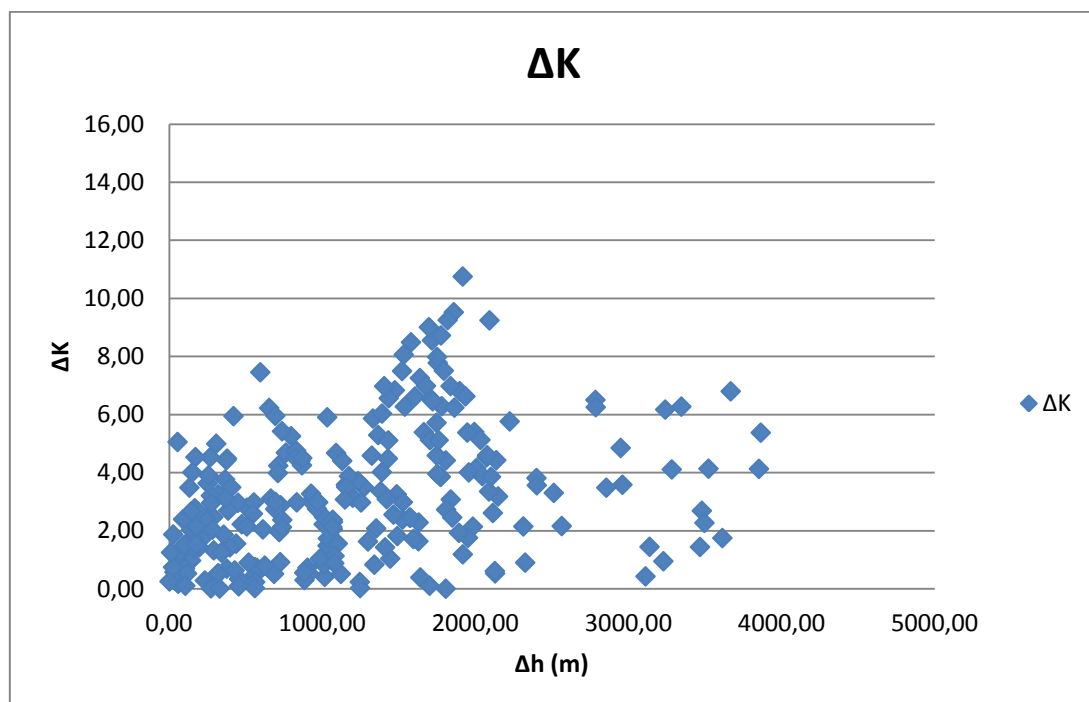


Figura 61: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 3.

5.7.4. ANÁLISIS DE LA ZONA 4 (JALISCO)

En la tabla 10, podemos observar, para esas 14 EMAs, los valores del parámetro k , comprendidos entre 7,82 y 18,21, y los valores de altitud de cada una de ellas, comprendidos entre 0 y 1730 metros.

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Aguamilpa	-104,80	21,84	11,02	0
Río Tomatlan	-105,13	20,00	14,77	141
Santa Rosa	-103,71	20,91	15,84	0
Los Colomos	-103,39	20,71	15,77	1571
Jocotepec	-103,42	20,28	12,63	1506
Chapala	-103,20	20,29	14,91	1493
Tizapan	-103,04	20,17	12,39	1503
Los Palillos	-102,54	19,54	8,80	1190
Angamacutiro	-101,72	20,13	18,21	1730
Panches	-102,22	18,88	11,28	197
Arteaga	-102,29	18,36	10,19	940
Infiernillo	-101,89	18,27	10,89	169
San Antonio	-101,75	18,27	12,16	200
La Villita	-102,18	18,05	7,82	61

Tabla 16: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 4.

Para ver si existe alguna correlación entre el parámetro k y la altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 62).

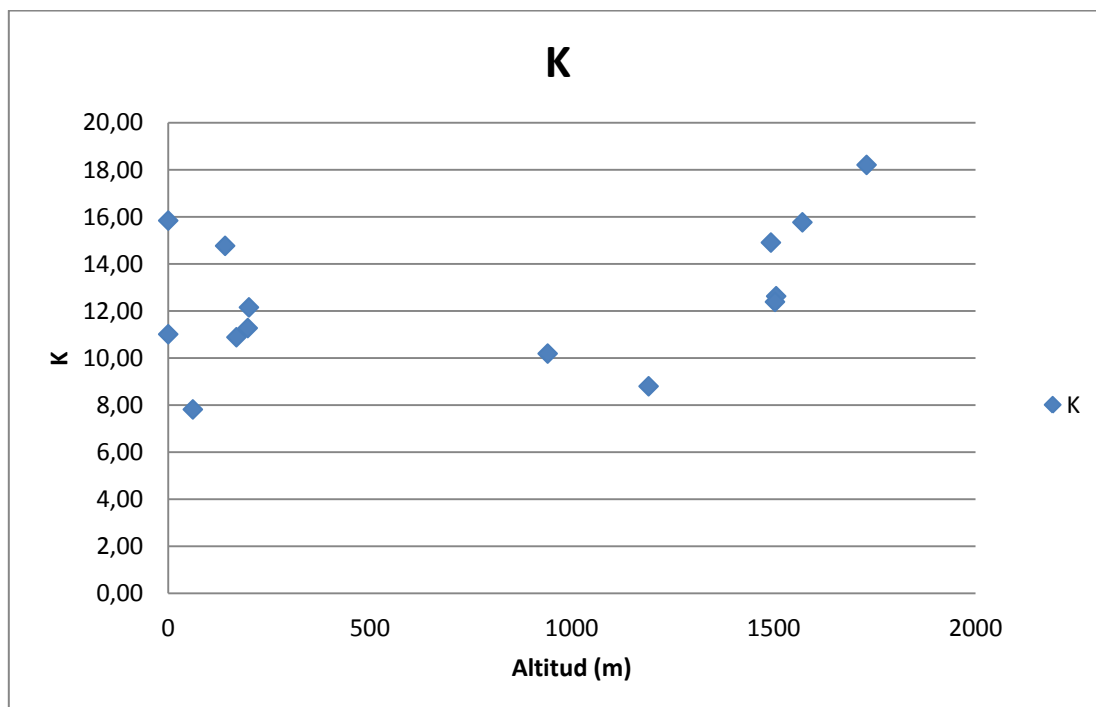


Figura 62: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 4.

En la tabla 17, podemos observar la distancia (Km) que hay entre EMAs y los incrementos de altitud (m) y del parámetro k que existen entre ellas.

DE	A	DISTANCIA (Km)	ΔK	Δh (m)
Aguamilpa	Río Tomatlan	207	3,75	141,00
	Santa Rosa	153	4,83	0,00
	Los Colomos	193	4,75	1571,00
	Jocotepec	225	1,61	1506,00
	Chapala	239	3,89	1493,00
	Tizapan	260	1,37	1503,00
	Los Palillos	347	2,21	1190,00
	Angamacutiro	372	7,19	1730,00
	Panches	424	0,26	197,00
	Arteaga	466	0,82	940,00
	Infiernillo	499	0,13	169,00
	San Antonio	508	1,14	200,00
	La Villita	501	3,20	61,00
Río Tomatlan	Santa Rosa	179	1,07	141,00
	Los Colomos	198	1,00	1430,00
	Jocotepec	181	2,14	1365,00
	Chapala	204	0,14	1352,00
	Tizapan	219	2,38	1362,00
	Los Palillos	276	5,97	1049,00
	Angamacutiro	357	3,44	1589,00
	Panches	330	3,49	56,00
	Arteaga	350	4,58	799,00
	Infiernillo	391	3,88	28,00
	San Antonio	404	2,61	59,00
	La Villita	378	6,95	80,00
Santa Rosa	Los Colomos	40	0,07	1571,00
	Jocotepec	76	3,21	1506,00
	Chapala	87	0,93	1493,00
	Tizapan	108	3,45	1503,00
	Los Palillos	195	7,04	1190,00
	Angamacutiro	225	2,37	1730,00
	Panches	274	4,57	197,00
	Arteaga	319	5,65	940,00
	Infiernillo	349	4,96	169,00
	San Antonio	357	3,69	200,00
	La Villita	355	8,03	61,00
Los Colomos	Jocotepec	48	3,14	65,00
	Chapala	51	0,86	78,00
	Tizapan	70	3,38	68,00
	Los Palillos	157	6,97	381,00
	Angamacutiro	186	2,44	159,00

	Panches	237	4,49	1374,00
	Arteaga	285	5,58	631,00
	Infiernillo	313	4,88	1402,00
	San Antonio	320	3,61	1371,00
	La Villita	321	7,95	1510,00
Jocotepec	Chapala	23	2,28	13,00
	Tizapan	42	0,24	3,00
	Los Palillos	123	3,83	316,00
	Angamacutiro	178	5,58	224,00
	Panches	200	1,35	1309,00
	Arteaga	243	2,44	566,00
	Infiernillo	275	1,74	1337,00
	San Antonio	283	0,47	1306,00
	La Villita	279	4,81	1445,00
Chapala	Tizapan	21	2,52	10,00
	Los Palillos	108	6,11	303,00
	Angamacutiro	156	3,30	237,00
	Panches	187	3,63	1296,00
	Arteaga	234	4,72	553,00
	Infiernillo	263	4,02	1324,00
	San Antonio	271	2,75	1293,00
	La Villita	270	7,09	1432,00
Tizapan	Los Palillos	87	3,59	313,00
	Angamacutiro	138	5,82	227,00
	Panches	167	1,11	1306,00
	Arteaga	215	2,20	563,00
	Infiernillo	243	1,50	1334,00
	San Antonio	250	0,23	1303,00
	La Villita	252	4,57	1442,00
Los Palillos	Angamacutiro	108	9,41	540,00
	Panches	80	2,47	993,00
	Arteaga	133	1,39	250,00
	Infiernillo	156	2,08	1021,00
	San Antonio	163	3,35	990,00
	La Villita	169	0,98	1129,00
Angamacutiro	Panches	148	6,93	1533
	Arteaga	205	8,02	790
	Infiernillo	207	7,32	1561
	San Antonio	206	6,05	1530
	La Villita	235	10,39	1669
Panches	Arteaga	58	1,08	743,00
	Infiernillo	76	0,39	28,00
	San Antonio	84	0,88	3,00
	La Villita	92	3,46	136,00
Arteaga	Infiernillo	43	0,69	771,00

	San Antonio	58	1,96	740,00
	La Villita	36	2,37	879,00
Infiernillo	San Antonio	15	1,27	31
	La Villita	39	3,07	108
San Antonio	La Villita	52	4,34	139

Tabla 17: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 4.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y la distancia, se han representado gráficamente ambas variables (figura 63).

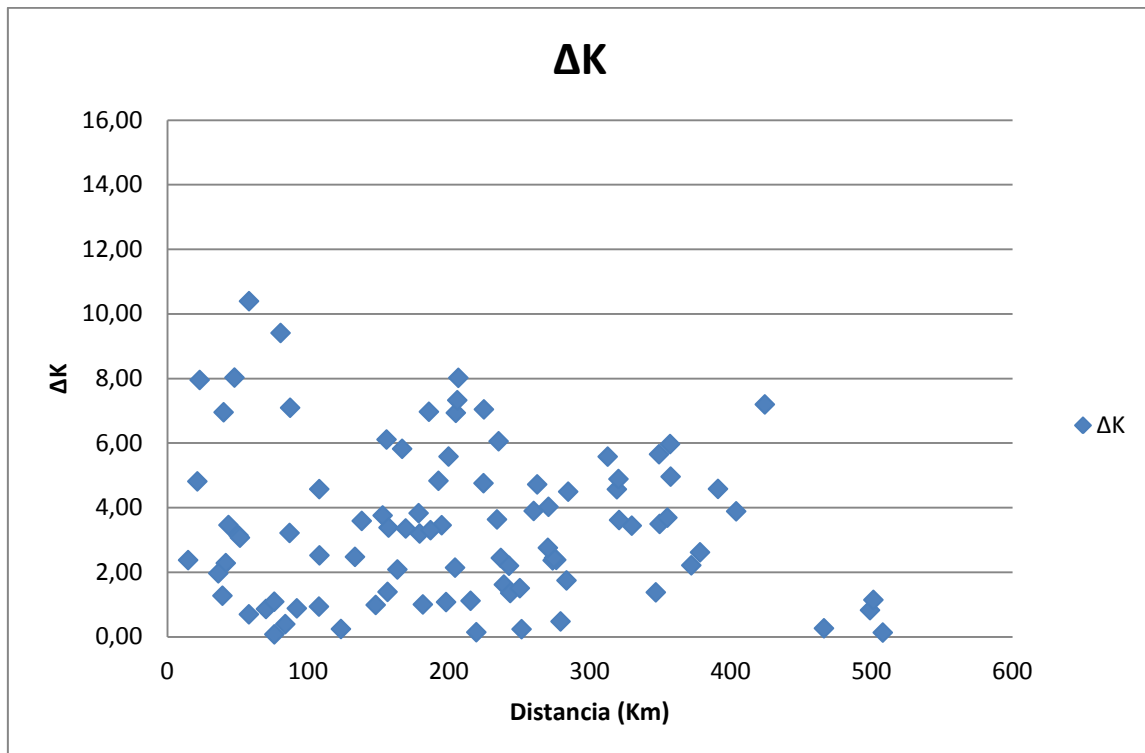


Figura 63: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 4.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y el incremento de altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 64).

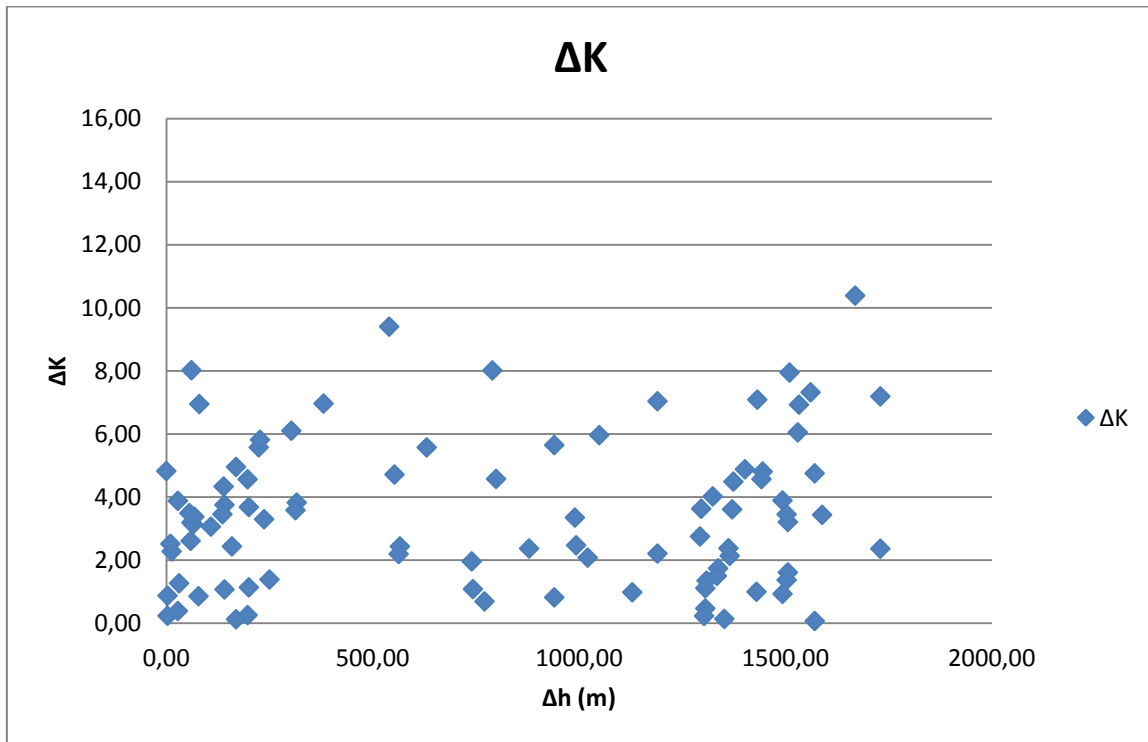


Figura 64: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 4.

5.7.5. ANÁLISIS DE LA ZONA 5 (SINALOA)

En la tabla 10, podemos observar, para esas 19 EMAs, los valores del parámetro k , comprendidos entre 3 y 16,70, y los valores de altitud de cada una de ellas, comprendidos entre 0 y 2390 metros.

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Moctezuma	-109,65	29,68	3,00	0
Paso Nácori	-109,09	29,42	9,58	0
El Cubil	-109,24	29,23	11,46	0
Novillo	-109,64	28,98	11,29	0
Oviachic	-109,89	27,82	8,64	0
Basaseachi	-108,21	28,20	11,64	1973
Maguarichi	-107,99	27,86	15,02	1663
Chinipas	-108,54	27,39	15,52	431
Mocúzari	-109,10	27,22	11,50	0
Alamos	-108,94	27,02	15,05	409
Urique	-107,92	27,22	12,62	577
Huites	-108,37	26,85	9,58	0
27 de Septiembre	-108,58	26,51	8,95	0
Guachochi	-107,07	26,81	13,85	2390

Nombre	X	Y	K	Altitud (m)
Chinatu	-106,77	26,23	16,70	1982
Bacurato	-107,93	25,87	9,37	0
Humaya	-107,39	25,10	10,99	0
Sanalona	-107,15	24,81	4,80	0
Comedero	-106,81	24,57	12,24	0

Tabla 18: Valores del parámetro k , altitud (m) y coordenadas de las EMA de la zona 5.

Para ver si existe alguna correlación entre el parámetro k y la altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 65).

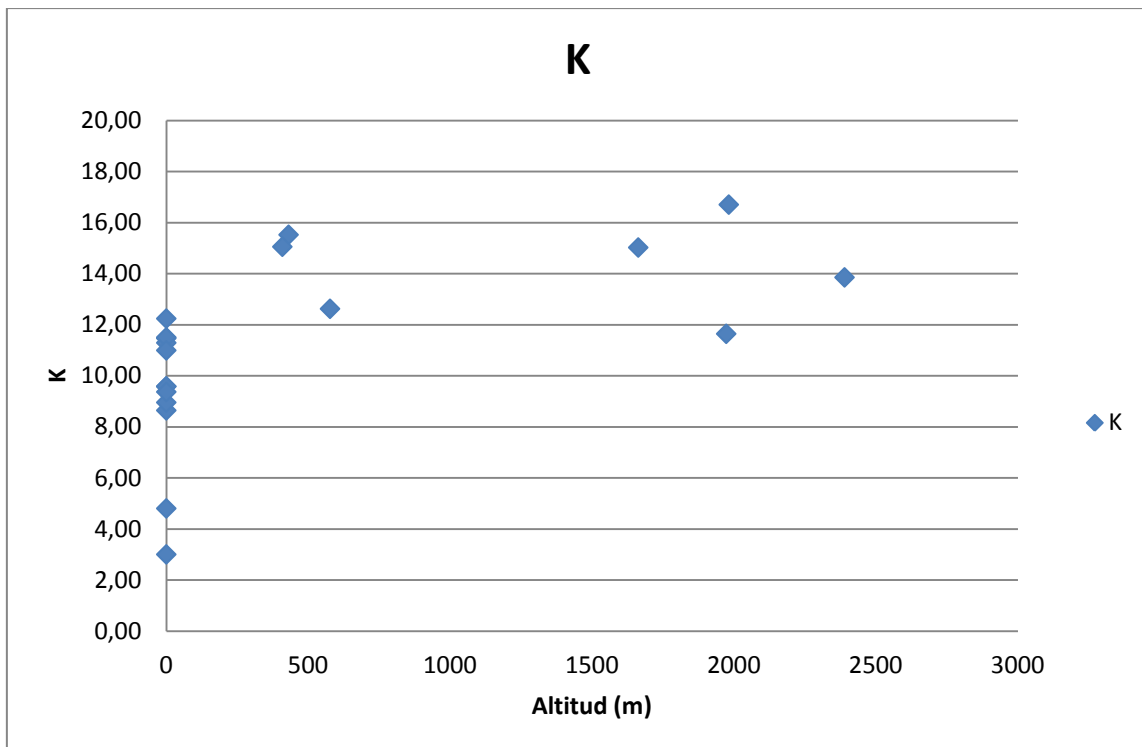


Figura 65: Valores del parámetro k frente a la altitud (m), para las EMAs de la zona 5.

En la tabla 19, podemos observar la distancia (Km) que hay entre EMAs y los incrementos de altitud (m) y del parámetro k que existen entre ellas.

DE	A	DISTANCIA (Km)	ΔK	Δh (m)
Moctezuma	Paso Nácori	61	6,58	0,00
	El Cubil	64	8,46	0,00
	Novillo	78	8,29	0,00
	Oviachic	207	5,64	0,00
	Basaseachi	216	8,64	1973,00
	Maguarichi	259	12,02	1663,00
	Chinipas	276	12,52	431,00
	Mocúzari	278	8,50	0,00
	Alamos	303	12,05	409,00
	Urique	321	9,62	577,00
	Huites	338	6,58	0,00
	27 de Septiembre	367	5,95	0,00
	Guachochi	407	10,85	2390,00
	Chinatu	476	13,70	1982,00
	Bacurato	455	6,36	0,00
	Humaya	555	7,99	0,00
	Sanalona	594	1,80	0,00
	Comedero	633	9,24	0,00
Paso Nácori	El Cubil	26	1,89	0,00
	Novillo	72	1,71	0,00
	Oviachic	194	0,94	0,00
	Basaseachi	160	2,06	1973,00
	Maguarichi	204	5,44	1663,00
	Chinipas	231	5,94	431,00
	Mocúzari	244	1,93	0,00
	Alamos	266	5,47	409,00
	Urique	270	3,04	577,00
	Huites	294	0,01	0,00
	27 de Septiembre	326	0,63	0,00
	Guachochi	351	4,27	2390,00
	Chinatu	421	7,12	1982,00
	Bacurato	410	0,21	0,00
	Humaya	508	1,41	0,00
	Sanalona	546	4,78	0,00
	Comedero	583	2,66	0,00
	El Cubil	Novillo	48	0,18
Oviachic		169	2,82	0,00
Basaseachi		152	0,18	1973,00
Maguarichi		195	3,56	1663,00
Chinipas		215	4,06	431,00
Mocúzari		223	0,04	0,00

	Alamos	247	3,59	409,00
	Urique	258	1,16	577,00
	Huites	277	1,88	0,00
	27 de Septiembre	308	2,51	0,00
	Guachochi	343	2,39	2390,00
	Chinatu	412	5,24	1982,00
	Bacurato	394	2,10	0,00
	Humaya	493	0,47	0,00
	Sanalona	532	6,66	0,00
	Comedero	570	0,77	0,00
Novillo	Oviachic	131	2,65	0,00
	Basaseachi	164	0,35	1973,00
	Maguarichi	204	3,73	1663,00
	Chinipas	207	4,23	431,00
	Mocúzari	202	0,21	0,00
	Alamos	228	3,76	409,00
	Urique	258	1,33	577,00
	Huites	267	1,70	0,00
	27 de Septiembre	293	2,34	0,00
	Guachochi	349	2,56	2390,00
	Chinatu	416	5,41	1982,00
	Bacurato	384	1,92	0,00
	Humaya	485	0,30	0,00
	Sanalona	524	6,49	0,00
Comedero	564	0,95	0,00	
Oviachic	Basaseachi	171	3,00	1973,00
	Maguarichi	187	6,38	1663,00
	Chinipas	142	6,88	431,00
	Mocúzari	103	2,86	0,00
	Alamos	129	6,41	409,00
	Urique	206	3,98	577,00
	Huites	185	0,94	0,00
	27 de Septiembre	195	0,31	0,00
	Guachochi	301	5,21	2390,00
	Chinatu	356	8,06	1982,00
	Bacurato	291	0,72	0,00
	Humaya	391	2,35	0,00
	Sanalona	431	3,84	0,00
	Comedero	474	3,60	0,00
Basaseachi	Maguarichi	43	3,38	310,00
	Chinipas	95	3,88	1542,00
	Mocúzari	140	0,14	1973,00
	Alamos	149	3,41	1564,00
	Urique	112	0,98	1396,00
	Huites	150	2,06	1973,00

	27 de Septiembre	191	2,69	1973,00
	Guachochi	191	2,21	417,00
	Chinatu	261	5,06	9,00
	Bacurato	260	2,27	1973,00
	Humaya	353	0,65	1973,00
	Sanalona	390	6,84	1973,00
	Comedero	426	0,60	1973,00
Maguarichi	Chinipas	75	0,50	1232,00
	Mocúzari	131	3,52	1663,00
	Alamos	132	0,03	1254,00
	Urique	71	2,40	1086,00
	Huites	118	5,44	1663,00
	27 de Septiembre	161	6,07	1663,00
	Guachochi	148	1,17	727,00
	Chinatu	217	1,68	319,00
	Bacurato	221	5,65	1663,00
	Humaya	312	4,03	1663,00
	Sanalona	348	10,22	1663,00
	Comedero	383	2,78	1663,00
Chinipas	Mocúzari	59	4,02	431,00
	Alamos	57	0,47	22,00
	Urique	64	2,90	146,00
	Huites	62	5,94	431,00
	27 de Septiembre	98	6,57	431,00
	Guachochi	159	1,67	1959,00
	Chinatu	218	1,18	1551,00
	Bacurato	179	6,15	431,00
	Humaya	279	4,53	431,00
	Sanalona	318	10,72	431,00
Comedero	357	3,28	431,00	
Mocúzari	Alamos	27	3,55	409,00
	Urique	117	1,12	577,00
	Huites	83	1,92	0,00
	27 de Septiembre	94	2,55	0,00
	Guachochi	207	2,35	2390,00
	Chinatu	256	5,20	1982,00
	Bacurato	190	2,14	0,00
	Humaya	291	0,51	0,00
	Sanalona	331	6,70	0,00
Comedero	373	0,73	0,00	
Alamos	Urique	104	2,43	168,00
	Huites	60	5,47	409,00
	27 de Septiembre	67	6,10	409,00
	Guachochi	187	1,20	1981,00
	Chinatu	233	1,65	1573,00

	Bacurato	162	5,68	409,00
	Humaya	263	4,06	409,00
	Sanalona	304	10,25	409,00
	Comedero	345	2,81	409,00
Urique	Huites	61	3,04	577,00
	27 de Septiembre	102	3,67	577,00
	Guachochi	96	1,23	1813,00
	Chinatu	159	4,08	1405,00
	Bacurato	150	3,25	577,00
	Humaya	241	1,63	577,00
	Sanalona	278	7,82	577,00
	Comedero	314	0,38	577,00
Huites	27 de Septiembre	43	0,63	0,00
	Guachochi	129	4,27	2390,00
	Chinatu	174	7,12	1982,00
	Bacurato	117	0,22	0,00
	Humaya	217	1,41	0,00
	Sanalona	257	4,78	0,00
	Comedero	297	2,65	0,00
27 de Septiembre	Guachochi	154	4,90	2390,00
	Chinatu	183	7,75	1982,00
	Bacurato	96	0,41	0,00
	Humaya	197	2,04	0,00
	Sanalona	237	4,15	0,00
	Comedero	279	3,28	0,00
Guachochi	Chinatu	71	2,85	408,00
	Bacurato	135	4,48	2390,00
	Humaya	192	2,86	2390,00
	Sanalona	222	9,05	2390,00
	Comedero	250	1,61	2390,00
Chinatu	Bacurato	123	7,33	1982,00
	Humaya	140	5,71	1982,00
	Sanalona	162	11,90	1982,00
	Comedero	184	4,46	1982,00
Bacurato	Humaya	101	1,63	0,00
	Sanalona	141	4,57	0,00
	Comedero	183	2,87	0,00
Humaya	Sanalona	40	6,19	0,00
	Comedero	83	1,25	0,00
Sanalona	Comedero	43	7,44	0,00

Tabla 19: Valores de Δk , Δh (m) y distancia (Km) entre las EMAs de la zona 5.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y la distancia, se han representado gráficamente ambas variables (figura 66).

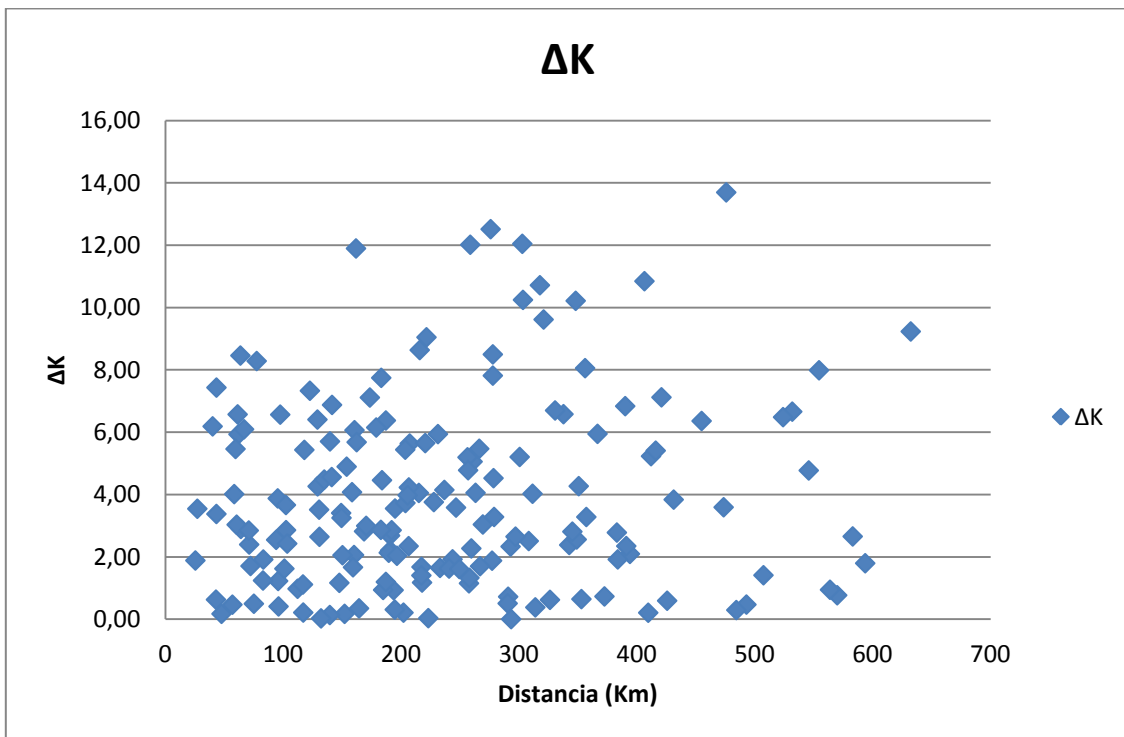


Figura 66: Valores del Δk frente a la distancia (Km), para las EMAs de la zona 5.

Para ver si existe alguna correlación entre el incremento del parámetro k y el incremento de altitud, se han representado gráficamente ambas variables (figura 67).

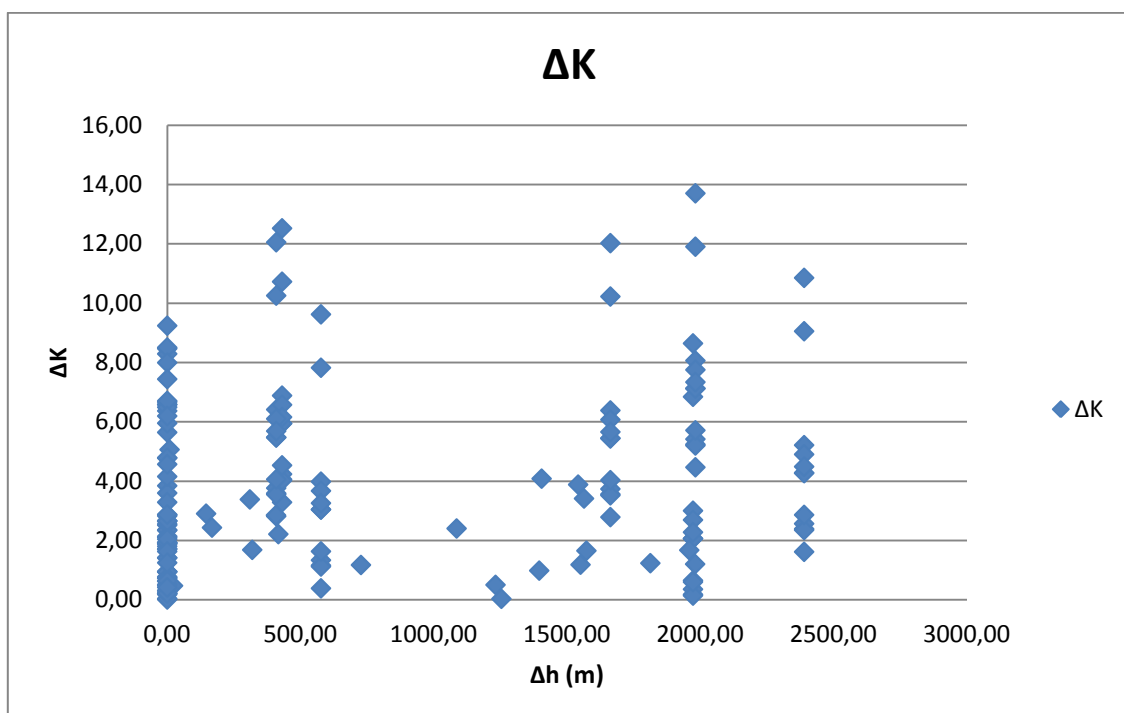


Figura 67: Valores del Δk frente al Δh (m), para las EMAs de la zona 5.

Algunos autores opinan que el uso de la altitud como variable auxiliar mejora la interpolación espacial de datos de precipitación mensual (Szolgay *et al.*, 2009). En las figuras anteriores se han representado mediante nube de puntos la relación entre el parámetro k y la altitud de cada EMA, no mostrándose una correlación definida entre ambas variables. Ello puede justificarse por la diversidad de condicionantes que intervienen en el desarrollo de una precipitación torrencial sin que la altitud a la que se produce sea un aspecto reseñable.

Tampoco podemos observar ninguna correlación entre los incrementos que sufre el parámetro k en función de la distancia que separa cada una de las EMAs.

6. CONCLUSIONES

Uno de los rasgos climáticos más importantes que caracteriza una zona geográfica es su régimen pluviométrico, destacando de éste las intensidades extremas de precipitación, su duración y la frecuencia con que se producen (curvas IDF), donde su conocimiento es imprescindible para el diseño en ingeniería hidráulica. Dado que para un conocimiento más exacto del régimen pluviométrico de cada zona geográfica, se necesitan un número determinado de estaciones climáticas, siendo de gran importancia económica, la optimización de la densidad de las mismas, en este trabajo, se ha realizado un profundo estudio, a partir de datos climáticos obtenidos de 105 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), distribuidas por todo el país de México para tratar de encontrar la densidad óptima de estaciones para este fin.

Para el cálculo de las curvas de Intensidad-duración-frecuencia (IDF) se ha realizado el cálculo mediante la ley de distribución de Gumbel; para la estimación de los parámetros de las curvas IDF se ha seguido la metodología de Wenzel; mientras que para la estimación de precipitaciones de corta duración, se ha estimado la relación entre lluvia máxima diaria y lluvia máxima horaria, conocida como parámetro k . Esta relación (k) es independiente del periodo de retorno, dependiente de cada zona y es función de la distribución temporal de sus aguaceros tipo. Así, mediante el método de Témez modificado por Zapata *et al.* (2009) se han podido estimar las precipitaciones de corta duración de una zona a partir de los datos de precipitación diaria. Mediante la interpolación con un SIG del parámetro k , se han elaborado diferentes mapas cromáticos de variación de dicho parámetro de todo México.

Para el estudio de la densidad óptima de estaciones, se seleccionaron 5 zonas de México donde la densidad de estaciones EMAs era mayor. Analizando para cada zona la variación del parámetro k en función de dos variables: la distancia o alejamiento entre estaciones, y el incremento de altura. A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que ninguna de estas variables (distancia entre estaciones e incremento de altitud) pueden justificar por si solas la variación del parámetro k entre las estaciones de las 5 zonas analizadas.

Conclusión Gráfica

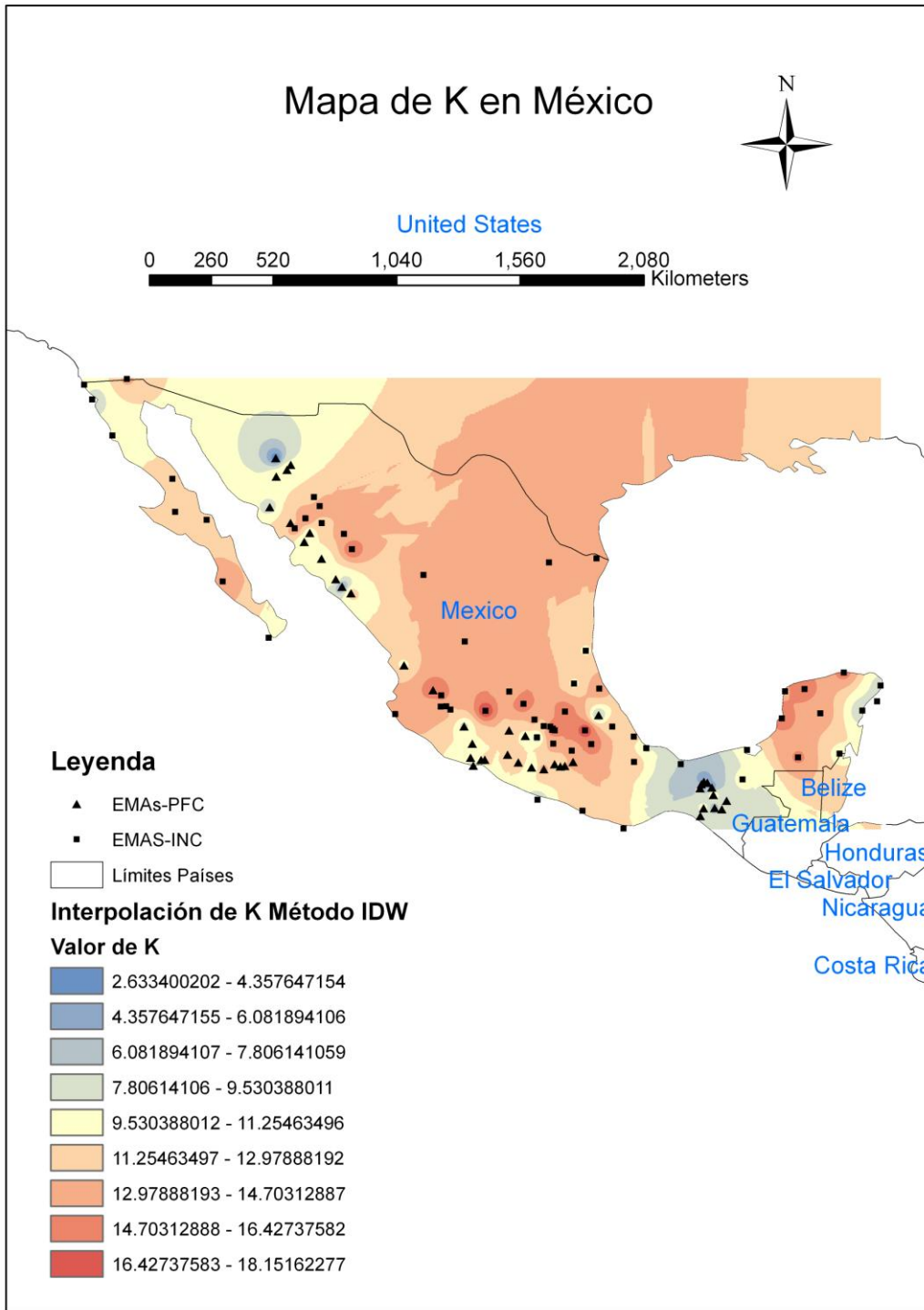


Figura 68: Mapa cromático de los valores del parámetro k en México.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AHNERT F., 1987. An approach to the identification of morphoclimates. *International Geomorphology*, 2, pp. 159-188.
- AL-MASHIDANI G., PANDE B.B.L., MUJDA M.F., 1978. A simple version of Gumbel's Method for flood estimation. *Hydrological Sciences Bulletin*, 23, pp. 373-380.
- ARNBJERG-NIELSEN K., 2006. Significant climate change of extreme rainfall in Denmark. *Water Science and Technology*, 54 (6-7), pp. 1-8.
- BELL F.C., 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 95 (1), pp. 311-327.
- BENJAMIN J.R., 1970. *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers*. McGraw-Hill, New York.
- BEN-ZVI A., 2009. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. *Journal of Hydrology*, 367, pp. 104-114.
- BERNARD M.M., 1932. Formulas for rainfall intensities of long durations. *Transaction of the American Society of Civil Engineers*, 96, pp. 592-624.
- CASAS M.C., CODINA B., REDAÑO A., LORENTE J. 2004. A methodology to classify extreme rainfall events in the western Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 77, pp. 139-150.
- CHEN C.L., 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (12), pp. 1603-1621.
- CHOW V.T., 1951. A general formula for hydrologic frequency analysis. *Transactions of the American Geophysical Union*, 32, pp. 231-237.

- CHOW V.T., 1956. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- CUNNANE C., 1978. Unbiased plotting positions - Review. *Journal of Hydrology*, 37 (3-4), pp. 205-222.
- DE PLOEY J., KIRKBY M.J., AHNERT, F., 1991. Hillslope erosion by rainstorms: a magnitude-frequency analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, pp. 399-409.
- DE TOFFOL S, LAGHARI A.N., RAUCH W., 2009. Are extreme rainfall intensities more frequent? Analysis of trends in rainfall patterns relevant to urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 59 (9), pp. 1769-1776.
- EAGLESON P.S., 1970. *Dynamic Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- ENDRENY T.A., IMBEAH N., 2009. Generating robust rainfall intensity–duration–frequency estimates with short-record satellite data. *Journal of Hydrology*, 371, pp. 182-191
- FAIERS G.E., KEIM B.D., 2008. Three-Hour and Twenty-Four-Hour Rainstorm Ratios across the Southern United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13 (2), pp. 101-104.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA F., 1995. *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Síntesis. Madrid.
- FRICH P., ALEXANDER L.V., DELLA-MARTA P., GLEASON B., HAYLOCK M., KLEIN TANK, A.M.G., PETERSON, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, pp. 193–212.

- FROEHLICH D.C., 1993. Short-duration-rainfall intensity equations for drainage design. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119 (5), pp. 814-828.
- FROEHLICH D.C., 1995. Intermediate-duration-rainfall intensity equations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121 (10), pp. 751-756.
- GARCÍA-AMARO E., 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 50, pp. 67-76.
- GARCÍA-BARTUAL R., SCHENEIDER M., 2001. Estimating Maximum Expected Short-Duration Rainfall Intensities from Extreme Convective Storms. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26 (9), pp. 675-681.
- GARCIA-MARIN A.P., JIMÉNEZ-HORNERO F.J., AYUSO-MUÑOZ J.L., 2008. Multifractal analysis as a tool for validating a rainfall model. *Hydrological Processes*, 22, pp. 2672-2688.
- GAUME E., MOUHOUS N., ANDRIEU H., 2007. Rainfall stochastic disaggregation models: Calibration and validation of a multiplicative cascade model. *Advances in Water Resources*, 30, pp. 1301-1319.
- GEROLD L.A., WATKINS D.W., 2005. Short duration rainfall frequency analysis in Michigan using scale-invariance assumptions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10 (6), pp. 450-457.
- GOYAL S.C., CKATHURIA S.N., 1984. Return Period Analysis of Extreme Rainfall Events. *Mausam*, 35, pp. 531-536.
- HERSHFIELD D.M., 1961. Estimating the probable maximum precipitation. *Journal Hydraulic. Division American Civil Engineering*, 2933, pp. 99-116.
- HERSHFIELD D.M., 1965. Method for estimating probable maximum rainfall. *Journal Water Works Association*, 57, pp. 105-112.

- HERSHFIELD D.M., 1979. Secular Trend in Extreme Rainfalls. *Journal of Applied Meteorology*, 18, pp. 1078-1081.
- KITE G.W., 1977. *Frequency and risk analysis in hydrology*. Fort Collins, Colo., Water Resources Publications, USA.
- LEONARD M., METCALFE A., LAMBERT M., 2008. Frequency analysis of rainfall and streamflow extremes accounting for seasonal and climatic partitions. *Journal of Hydrology*, 348, pp. 135-147.
- LEWIS R.P.W., 1992. Flooding at Carmarthen in October 1987: Historical Precedents and Statistical Methods. *Weather*, 47, pp. 82-89.
- LIN, G.F., WU M.C., CHEN G.R., LIU S.J., 2010. Construction of design hyetographs for locations without observed data. *Hydrological Processes*, 24, pp. 481-491.
- MADSEN H., ARNBJERG-NIELSEN K., MIKKELSEN P.S., 2009. Update of regional intensity–duration–frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities. *Atmospheric Research*, 92, pp. 343-349.
- MAILHOT M., DUCHESNE S., CAYA D., TALBOT G., 2007. Assessment of future change in intensity–duration–frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrology*, 347, pp. 197-210.
- MOHYMONT B., DEMAREE G.R., FAKA D.N., 2004. Establishment of IDF-curves for precipitation in the tropical area of Central Africa - comparison of techniques and results. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4 (3), pp. 375-387.
- NGUYEN V.T.V., NGUYEN T.D., WANG H., 1988. Regional estimation of short duration rainfall extremes. *Water Science and Technology*, 37 (11), pp 15-19.

- OVEREEM A., BUIHAND A., HOLLEMAN I., 2008. Rainfall depth-duration frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology*, 348, pp. 124-134.
- REICH B.M., 1970. Flood series compared to rainfall extremes. *Water Resources Research*, 6, pp. 1655-1667.
- REICH B.M., 1973. How frequently will floods occur. *Water Resources Bulletin*, 9, pp. 187-188.
- ROSENBERG E.A., KEYS P.W., BOOTH D.B., HARTLEY D., BURKEY J., STEINEMANN A.C., LETTENMAIER D.P., 2010. Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State. *Climatic Change*, 102, pp. 319-349.
- RUBÍ, J.F., ZAPATA A.J., MANZANO F., 2011. *Análisis de las precipitaciones extremas en México*. Tesis doctoral. Almería.
- SMN. *Servicio Meteorológico Nacional*. México, DF. 2010. Disponible en la web: smn.cna.gob.mx/productos/emas/.
- SIVAPALAN M., BLÖSCHL G., 1998. Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves. *Journal of Hydrology*, 204, pp. 150-167.
- SZOLGAY J., PARAJKA J., KOHNOVÁ S., HLAVČOVÁ K., 2009. Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation. *Atmospheric Research*, 92, pp. 289–307.
- SVENSON C., CLARKE R.T., JONES D.A., 2007. An experimental comparison of methods for an estimating rainfall intensity-duration-frequency relations from fragmentary records. *Journal of Hydrology*, 341, pp. 79-89.

- TANK, A.K., WIJNGAARD, J., VAN ENGELEN, A., 2002. *Climate of Europe. Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. European Climate Assessment. De Bilt, The Netherlands.
- TÉMEZ J.R., 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras, MOPU, Madrid.
- TRENBERTH K.E., 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42, pp. 327-339.
- TRENBERTH K.E., DAI A., RASMUSSEN R.M., PARSONS D.B., 2003. The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, pp. 1205–1217.
- VÁZQUEZ R., REDAÑO A., LORENTE J., 1987. Curvas IDF. Barcelona-Fabra. *Revista de Obras Públicas*. Feb. 1987, pp. 91-102.
- WALSH K., PITTOCK A.B., 1998. Potential changes in tropical storms, hurricanes, and extreme rainfall events as a result of climate change. *Climatic Change*, 39 (2-3), pp. 199-213.
- WATT W.E., NOZDRYN-PLOTNICKI M.J., 1983. Frequency Analysis of Short-Duration Rainfalls. *Atmosphere-Ocean*, 21 (4), pp. 387-396.
- WENZEL H.G., 1982. Rainfall for urban stormwater design, in Urban Storm. Water Hydrology. Water Resources Monograph, 7, AGU, Washington D.C.
- WIESNER C. 1970. *Hydrometeorology*. Chapman and Hall. Londres.
- WILLMOTT C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, pp. 1309-1313.

- YU P.S., CHEN C.J., 1997. Potential of extending the rainfall intensity–duration–frequency relationship to non-recording raingauges. *Hydrological Processes* 11 (4), pp. 377-390.
- YU P.S., YANG T. C., LIN C.S., 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*, 295, pp. 108-123.
- ZAPATA-SIERRA A.J., MANZANO-AGLUGIARO F., AYUSO-MUÑOZ J.L., 2009. Assessment of methods for obtaining rainfall intensity-duration-frequency ratios for various geographical areas. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7 (3), pp. 699-705.

```

Sub nmáximos()
' busca los na mayores valores de un tabla de datos
' acumula los datos cada n incrementos de t y busca los máximos
' también los mínimos
'
Dim n(6), cab(10), s(26600), t(26600), max(30), min(30), u(1100, 2)
' toma datos
na = Cells(1, 11)
'datos a agrupar
For i = 1 To 6
  n(i) = Cells(1 + i, 11)
Next i

'toma cabeceras
For i = 1 To 9
  cab(i) = Cells(1, 1 + i)
Next i

'recorre cada serie de datos
'
For j = 1 To 8
'contador de impresion
Cells(2, 10) = j
d1 = 0
'lee todos los datos de cada serie y rellena huecos
i = 1
10 dato = Cells(1 + i, 1)
  If (dato = "") Or (dato = " ") Then GoTo 20
  s(i) = Cells(1 + i, j + 1)
  If (s(i) = "") Or (s(i) = " ") Then s(i) = s(i - 1)
  i = i + 1
  If i < 26605 Then
    GoTo 10
  Else

```



```

    GoTo 20
End If
20 nd = i - 1
'
'recorre cada intervalo de acumulación
For k = 1 To 6

Cells(3, 10) = k
'recorre la serie (ciclo principal de acumulacion o promedio)
For l = n(k) To nd
    Sum1 = 0
    'agrupa los datos
    For i = 1 To n(k)
        Sum1 = Sum1 + s(l - n(k) + i)
    Next i
    'distingue entre lluvia y otras variables
    If j = 6 Then
        t(l) = Sum1
    Else
        t(l) = Sum1 / n(k)
    End If
Next l
'rellena los max y min de cada dia
'inicializa
For i = 0 To 1100
    u(i, 1) = 0
    u(i, 2) = 9999999
Next i

'busca max y min diarios
'como los datos son horarios el salto es de 24 datos
a2 = 0
For i1 = n(k) To nd - 24 Step 24
    a2 = a2 + 1

```

```

For i2 = 1 To 24
  If (u(a2, 1) <= t(i1 + i2)) Then
    u(a2, 1) = t(i1 + i2)
  End If
  If (u(a2, 2) >= t(i1 + i2)) Then
    u(a2, 2) = t(i1 + i2)
  End If
Next i2
Next i1

```

'selecciona los primeros valores y los ordena

```

For i = 1 To na + 1
max(i) = u(i, 1)
min(i) = u(i, 2)
Next i
'ordena la serie inicial
For m = 1 To na
For i = 2 To na
  If (max(i - 1) <= max(i)) Then
    c2 = max(i - 1)
    max(i - 1) = max(i)
    max(i) = c2
  End If

```

```

  If (min(i - 1) >= min(i)) Then
    c2 = min(i - 1)
    min(i - 1) = min(i)
    min(i) = c2
  End If

```

```

Next i
Next m

```

'ciclo principal de ordenacion de la serie

```

For l = 1 To a2
Cells(4, 10) = 1

```

'comprueba si el nuevo dato está entre los elegidos

'maximos

If (u(l, 1) >= max(na)) Then

 c3 = u(l, 1)

 For i = 1 To na

 If (max(i) <= c3) Then

 c2 = max(i)

 max(i) = c3

 c3 = c2

 End If

 Next i

End If

'minimos

If (u(l, 2) <= min(na)) Then

 c3 = u(l, 2)

 For i = 1 To na

 If (min(i) >= c3) Then

 c2 = min(i)

 min(i) = c3

 c3 = c2

 End If

 Next i

End If

Next l

'selecciona máximos y mínimos

'escribe cabecera

 Cells(d1 + 1, 11 + j) = cab(j)

 Cells(d1 + 1, 21 + j) = cab(j)

'escribe na máximos y minimos

For i = 1 To na

 Cells(d1 + 1 + i, 11 + j) = max(i)

 Cells(d1 + 1 + i, 21 + j) = min(i)

Next i

```

    d1 = d1 + na + 1
Next k
Next j
End Sub
Sub buscamedia()
'busca la media en diferentes períodos de tiempo
'de diversas variables en una tabla
'
Dim n, cab(10), s(9000), media(500)
'toma datos
'n es el número de valores que promediará
n = Cells(2, 11)
'toma cabeceras
For i = 1 To 9
    cab(i) = Cells(1, i)
Next i
'escribe cabeceras
For i = 1 To 9
    Cells(1, 11 + i) = cab(i)
Next i
'recorre cada serie de datos
'
For j = 1 To 9
'lee todos los datos de cada serie
i = 1
10 dato = Cells(1 + i, 1)
    If dato = "" Then GoTo 20
    s(i) = Cells(1 + i, j + 1)
    i = i + 1
    If i < 9001 Then
        GoTo 10
    Else
        GoTo 20
    End If

```

```

20 nd = i - 1
fecha0 = Cells(2, 1)
'
'recorre la serie
k = 0
For l = 1 To nd Step n
Sum1 = 0
k = k + 1
'agrupa los datos
m = n
For i = 1 To n
If s(l + i - 1) = "" Then
    m = m - 1
Else
    Sum1 = Sum1 + s(l + i - 1)
End If
Next i
' calcula promedio
If m < 1 Then
Cells(1 + k, 12 + j) = ""
Else
If j = 6 Then
Cells(1 + k, 12 + j) = Sum1
Else
Cells(1 + k, 12 + j) = Sum1 / m
End If
End If
Cells(1 + k, 12) = fecha0 + k - 1
Next l
Next j
End Sub
Sub buscamáximos()
' busca los mayores valores de un tabla de datos
' acumula los datos cada n incrementos de t y busca el máximo

```

```

'también los mínimos
'
Dim n(6), cab(10), s(9000)
'toma datos
For i = 1 To 6
  n(i) = Cells(1 + i, 11)
Next i
'toma cabeceras
For i = 1 To 9
  cab(i) = Cells(1, 1 + i)
Next i
'escribe cabeceras
For i = 1 To 9
  Cells(1, 11 + i) = cab(i)
  Cells(10, 11 + i) = cab(i)
Next i
'recorre cada serie de datos
'
For j = 1 To 8
'lee todos los datos de cada serie y rellena huecos
i = 1
10 dato = Cells(1 + i, 1)
  If dato = "" Then GoTo 20
  s(i) = Cells(1 + i, j + 1)
  If s(i) = "" Then s(i) = s(i - 1)
  i = i + 1
  If i < 9005 Then
    GoTo 10
  Else
    GoTo 20
  End If
20 nd = i - 1
'
'recorre cada intervalo de acumulación

```

```
For k = 1 To 6
  maxi = s(1)
  mini = s(1)
  'recorre la serie
  For l = n(k) To nd
    Sum1 = 0
    Sum2 = 0
    'agrupa los datos
    For i = 1 To n(k)
      Sum1 = Sum1 + s(l - n(k) + i)
      Sum2 = Sum2 + s(l - n(k) + i)
    Next i
    If j = 6 Then
      acu1 = Sum1
      acu2 = Sum2
    Else
      acu1 = Sum1 / n(k)
      acu2 = Sum2 / n(k)
    End If
    If acu1 > maxi Then
      maxi = acu1
    End If
    If acu2 < mini Then
      mini = acu2
    End If
  Next l
  Cells(1 + k, 11 + j) = maxi
  Cells(10 + k, 11 + j) = mini
Next k
Next j
End Sub
```

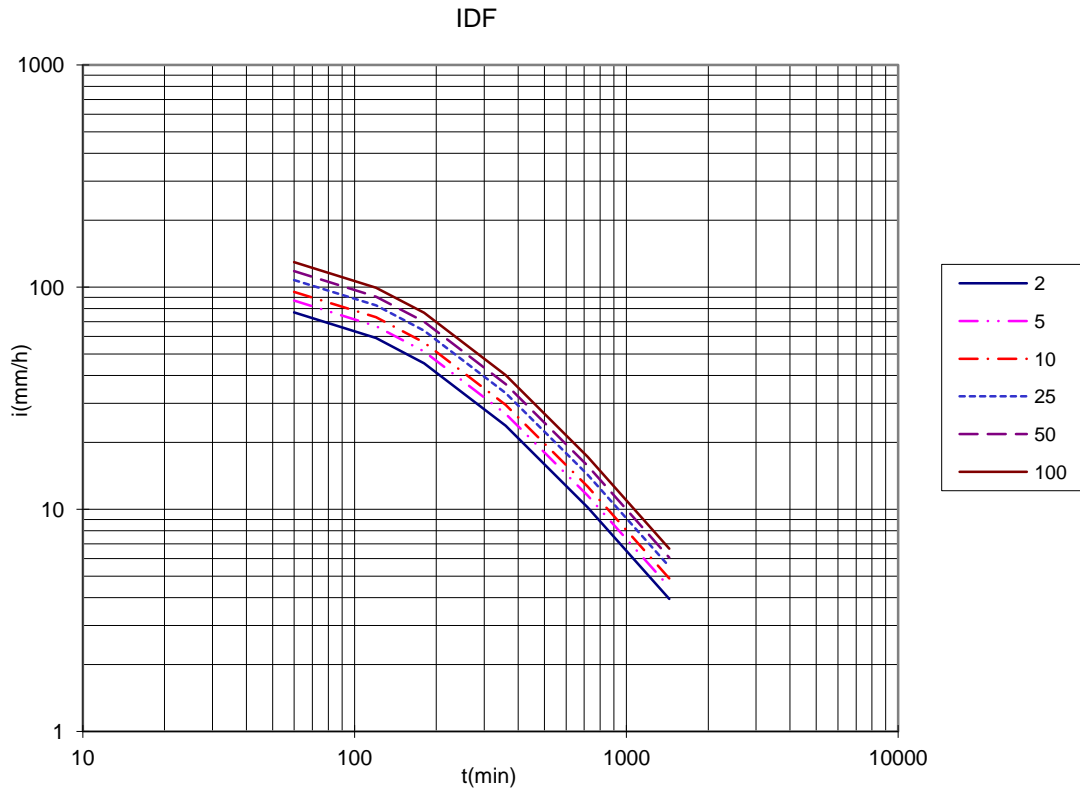


Figura 69: Curvas IDF de la EMA Aguamilpa.

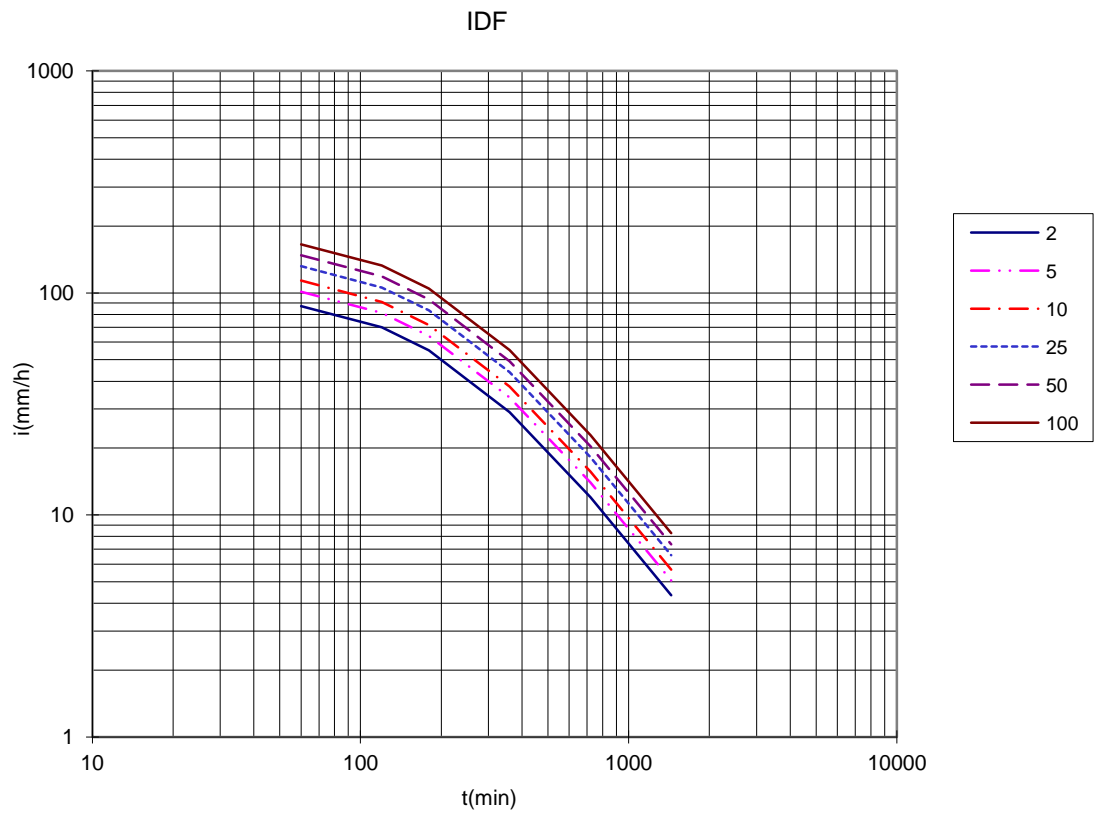


Figura 70: Curvas IDF de la EMA Angostura.

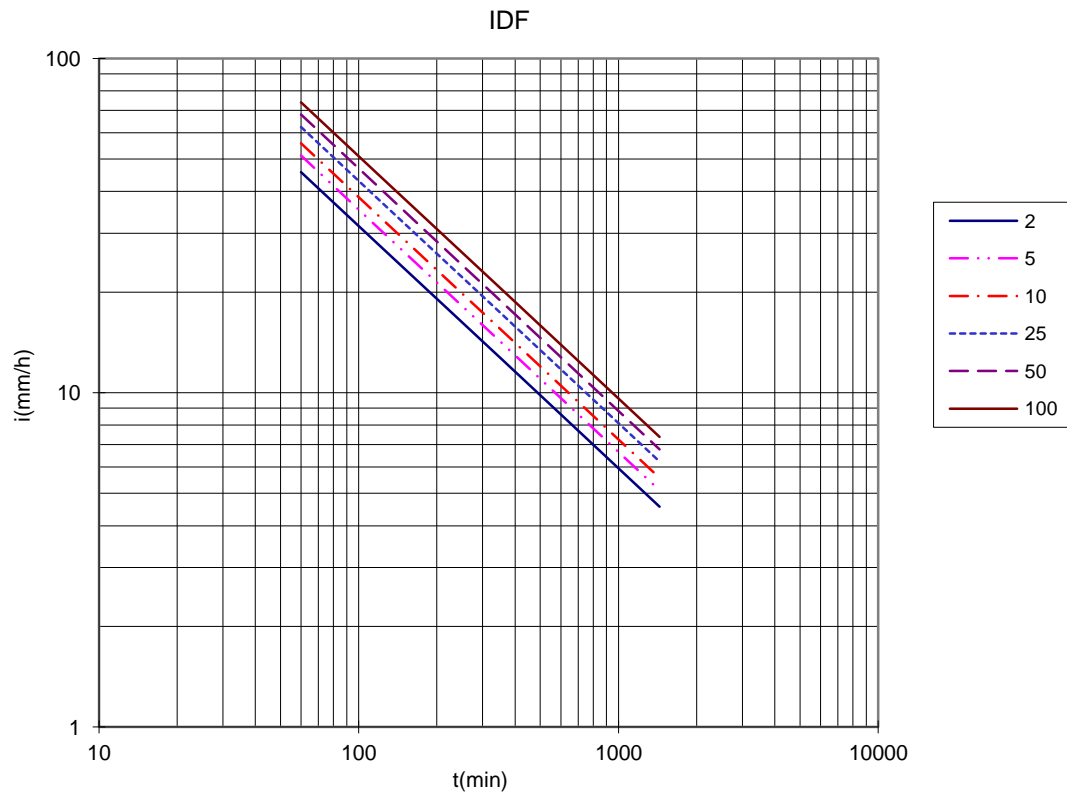


Figura 71: Curvas IDF de la EMA Arteaga.

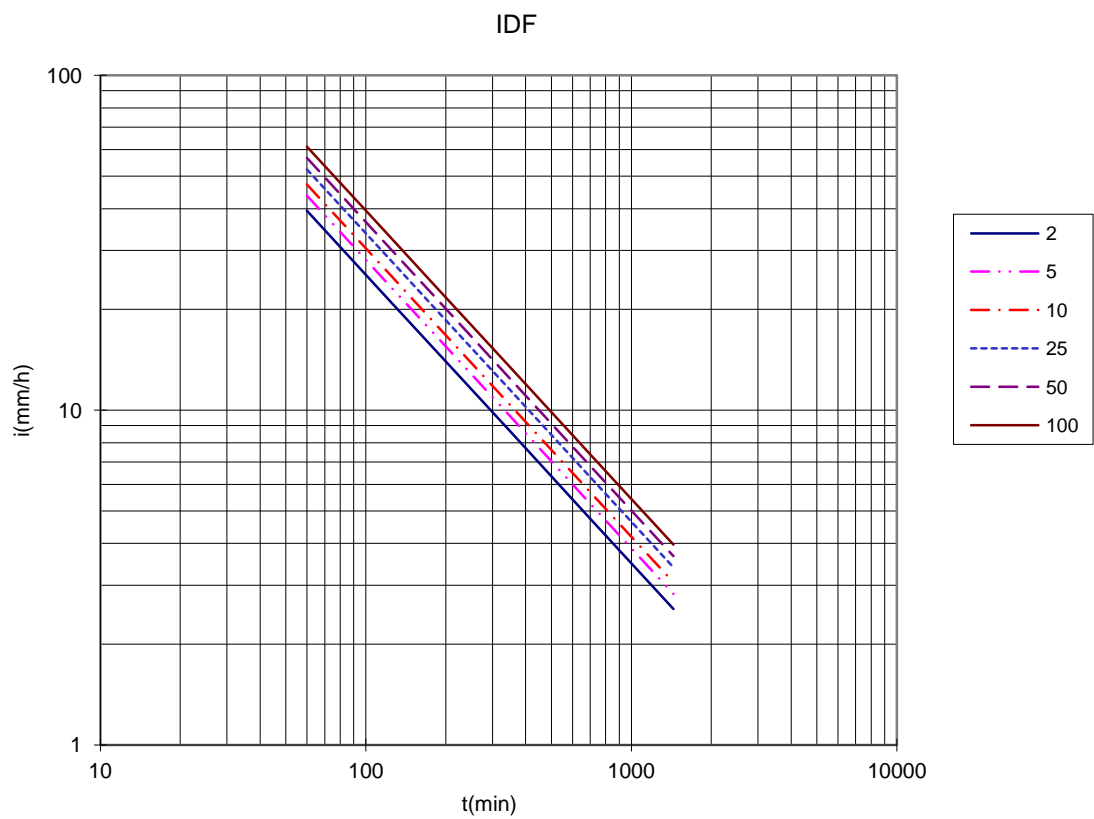


Figura 72: Curvas IDF de la EMA Atenango del río.

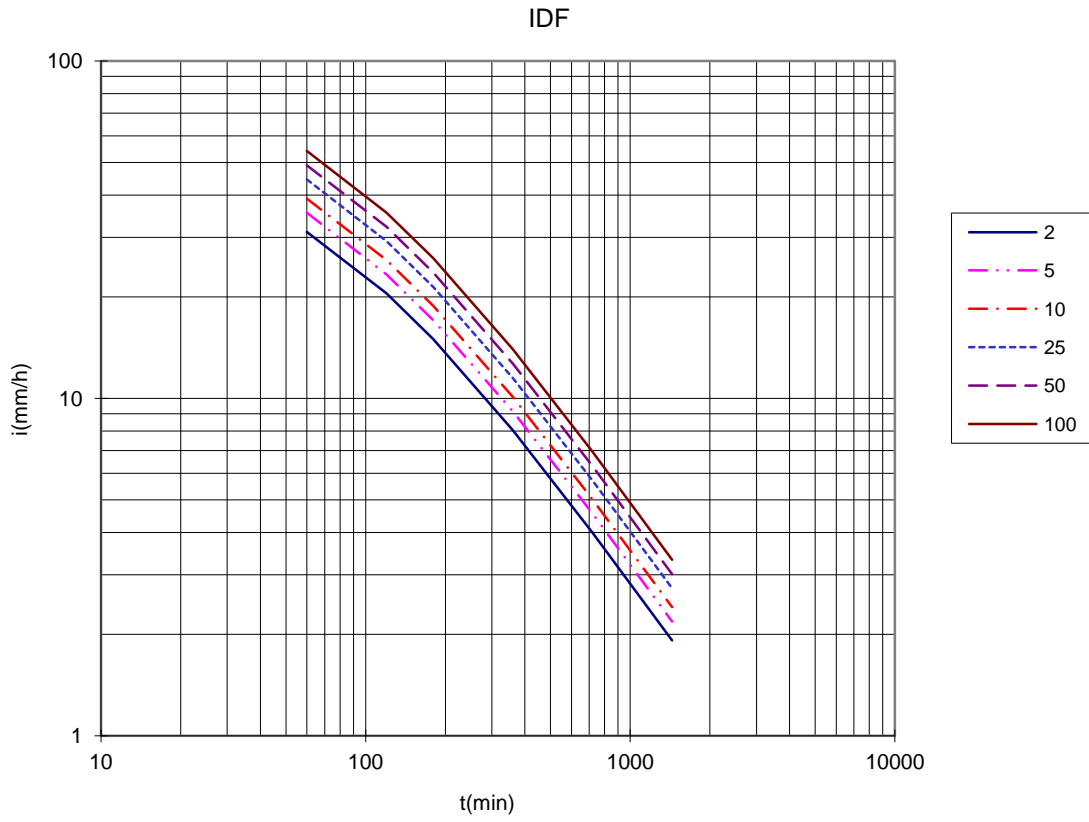


Figura 73: Curvas IDF de la EMA Bacurato.

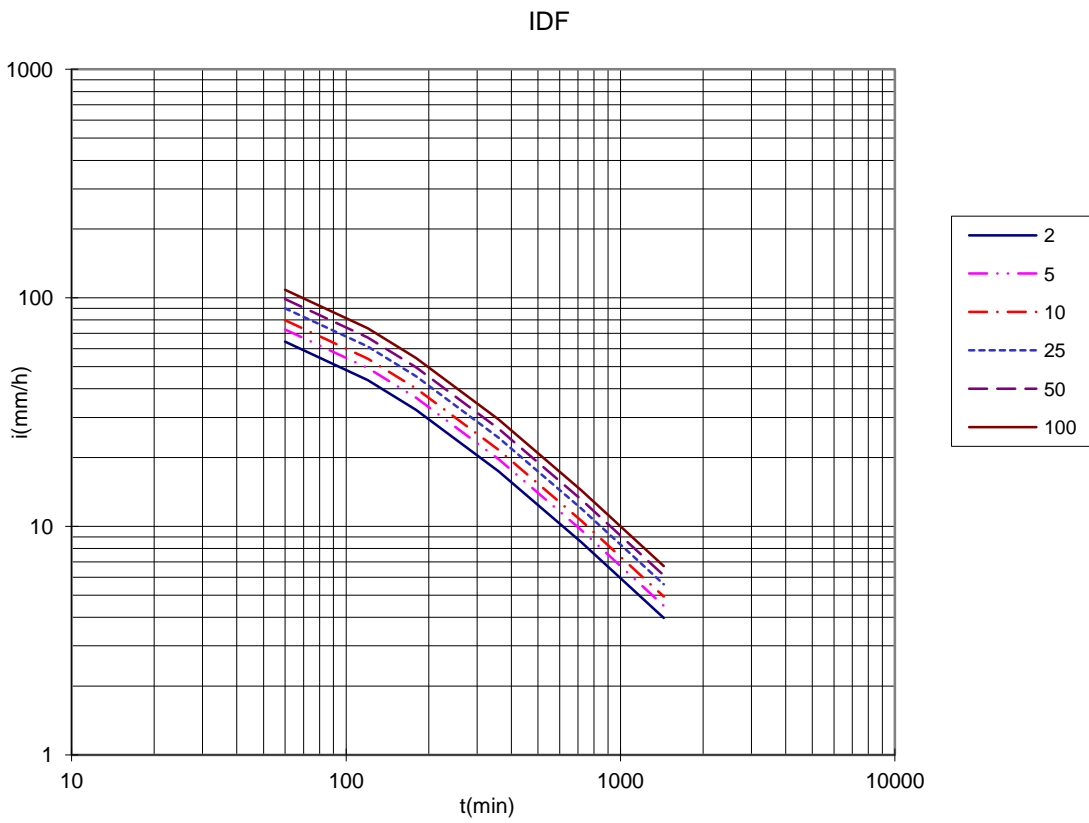


Figura 74: Curvas IDF de la EMA Caimanera.

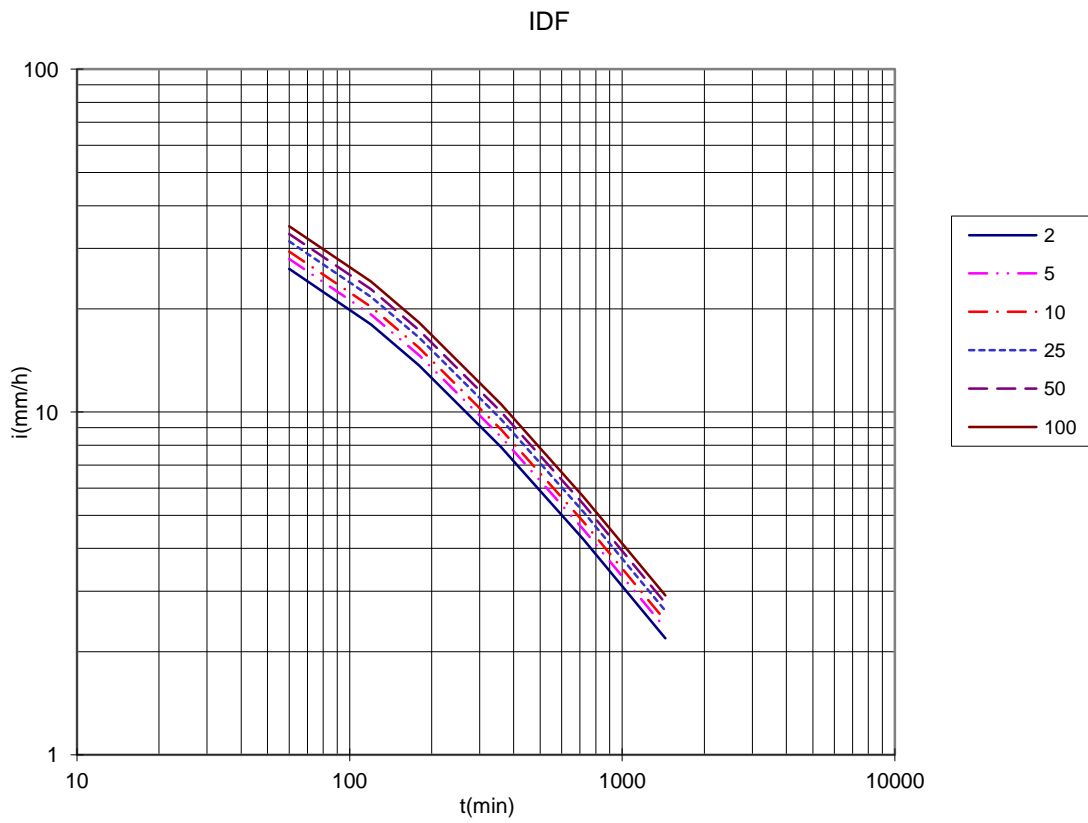


Figura 75: Curvas IDF de la EMA Colorines.

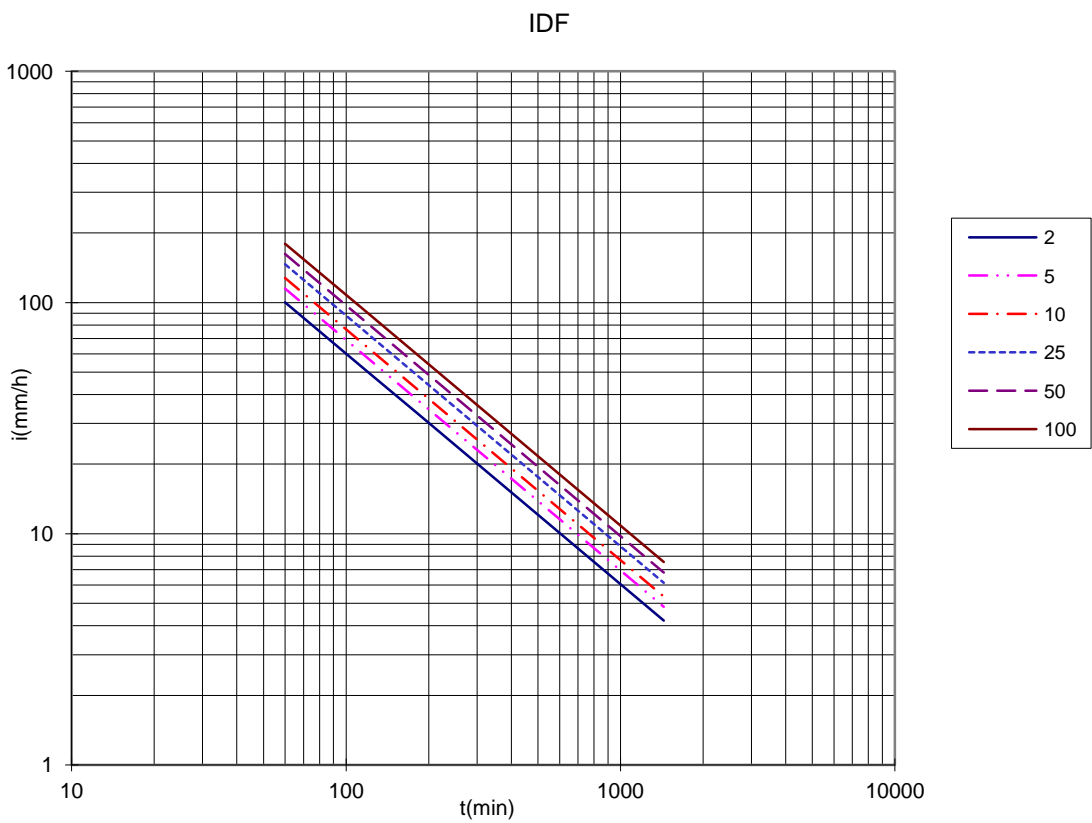


Figura 76: Curvas IDF de la EMA Comedero.

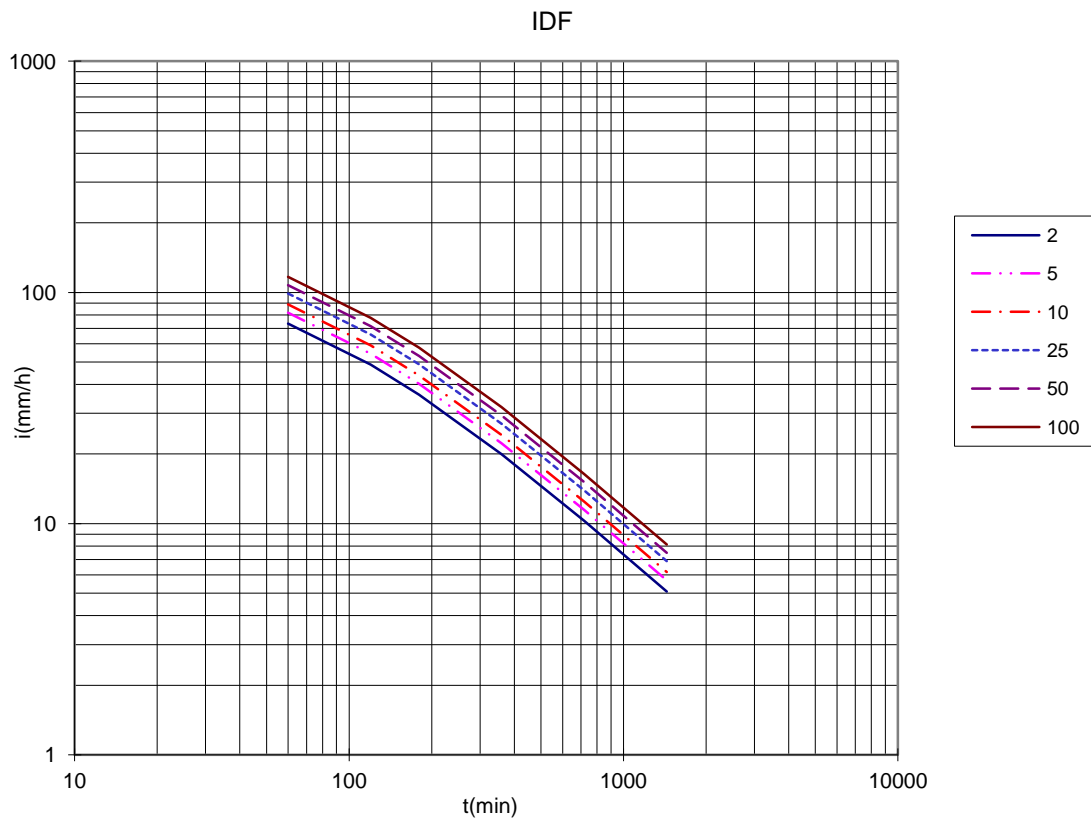


Figura 77: Curvas IDF de la EMA Chicoasén.

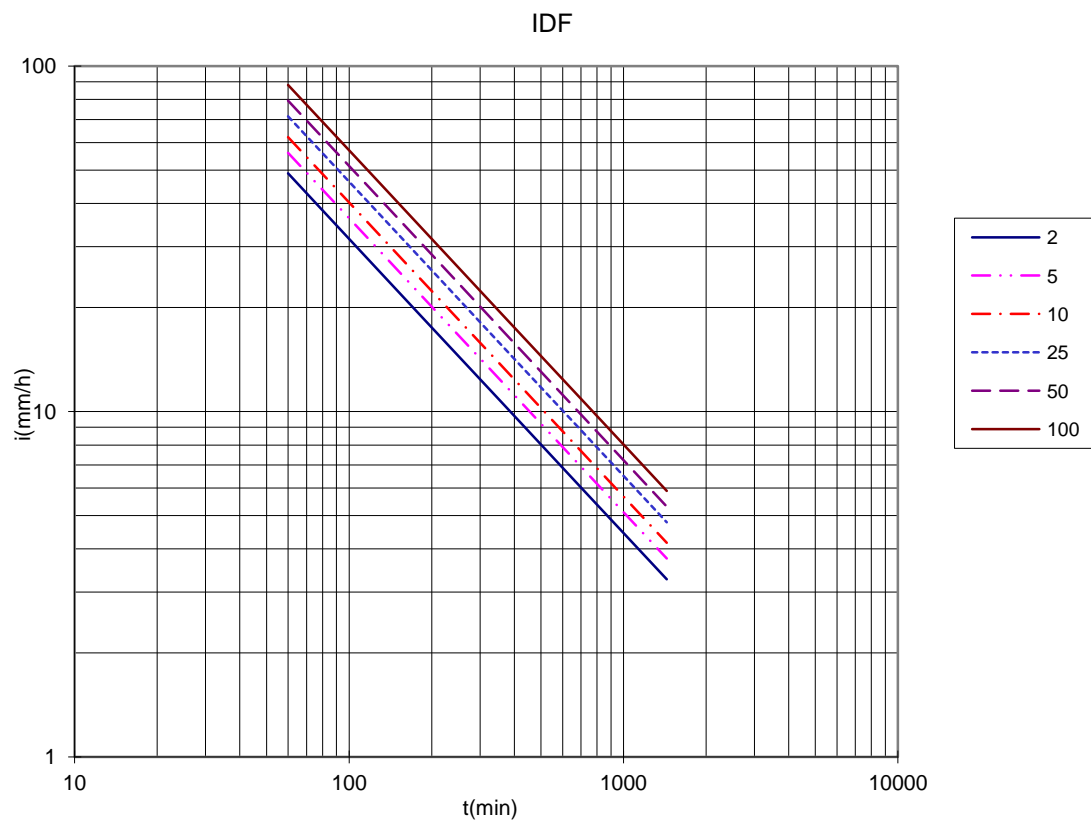


Figura 78: Curvas IDF de la EMA El Cubil.

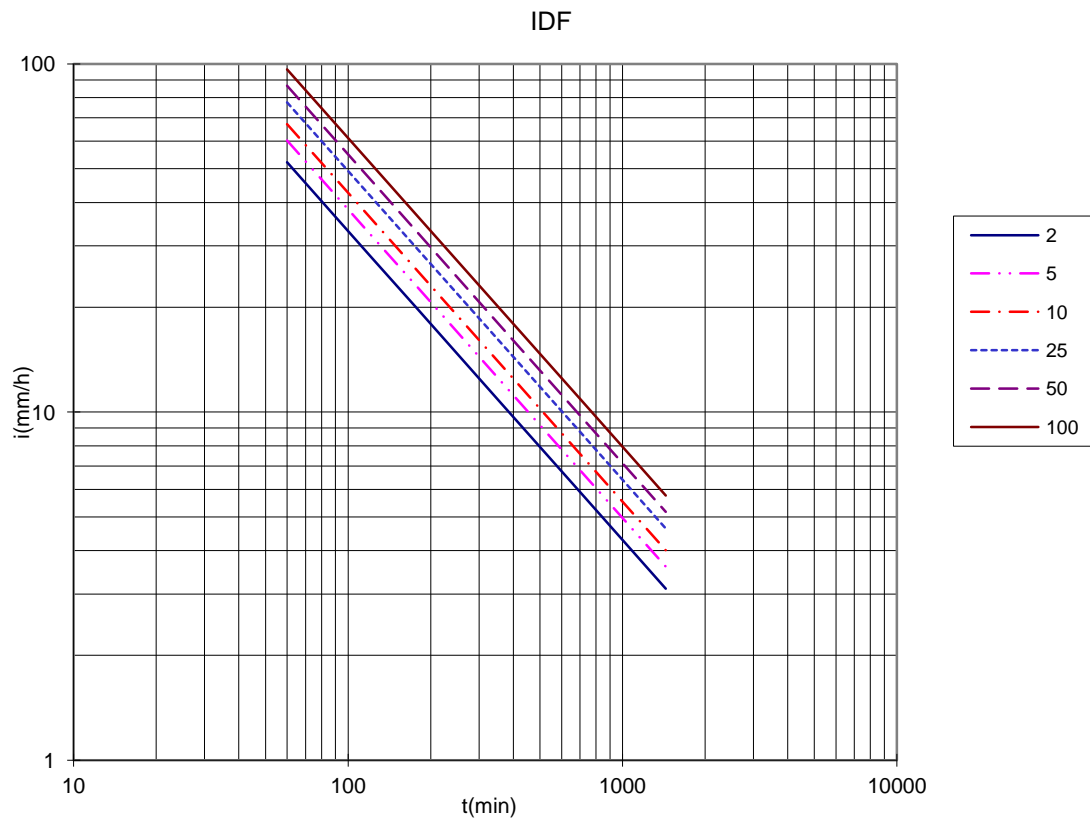


Figura 79: Curvas IDF de la EMA El caracol.

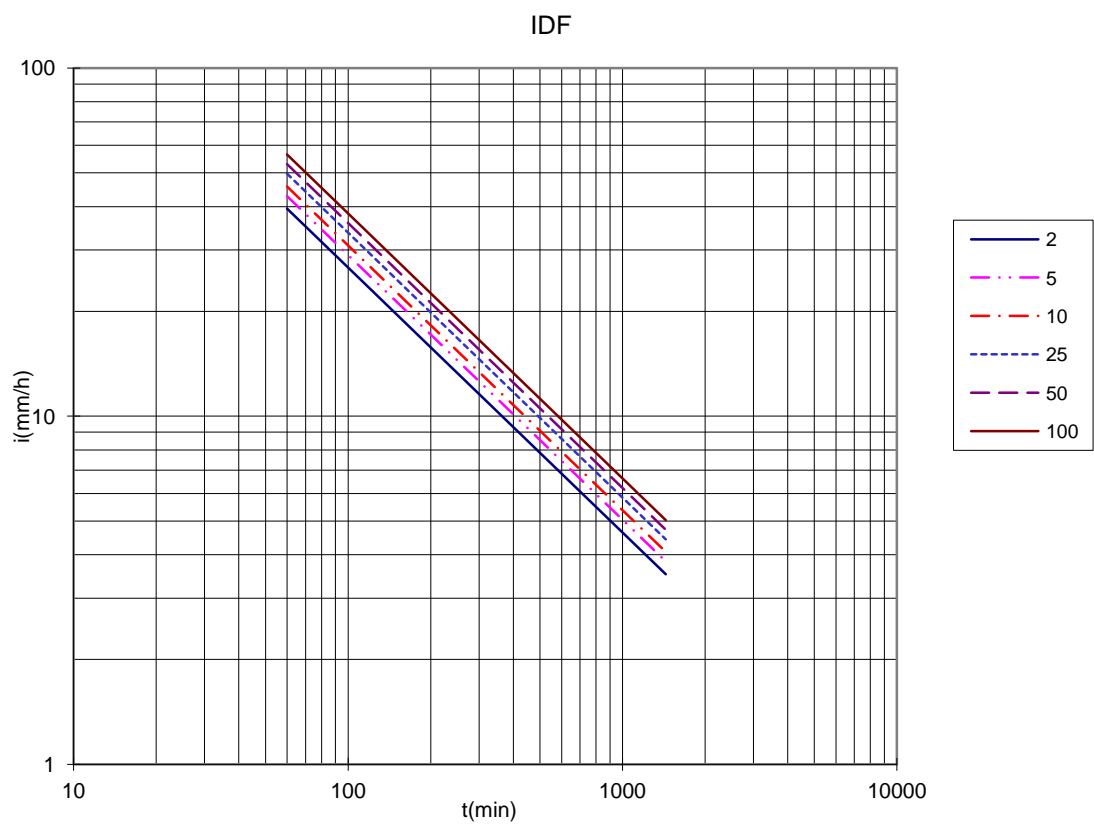


Figura 80: Curvas IDF de la EMA El Devanador.

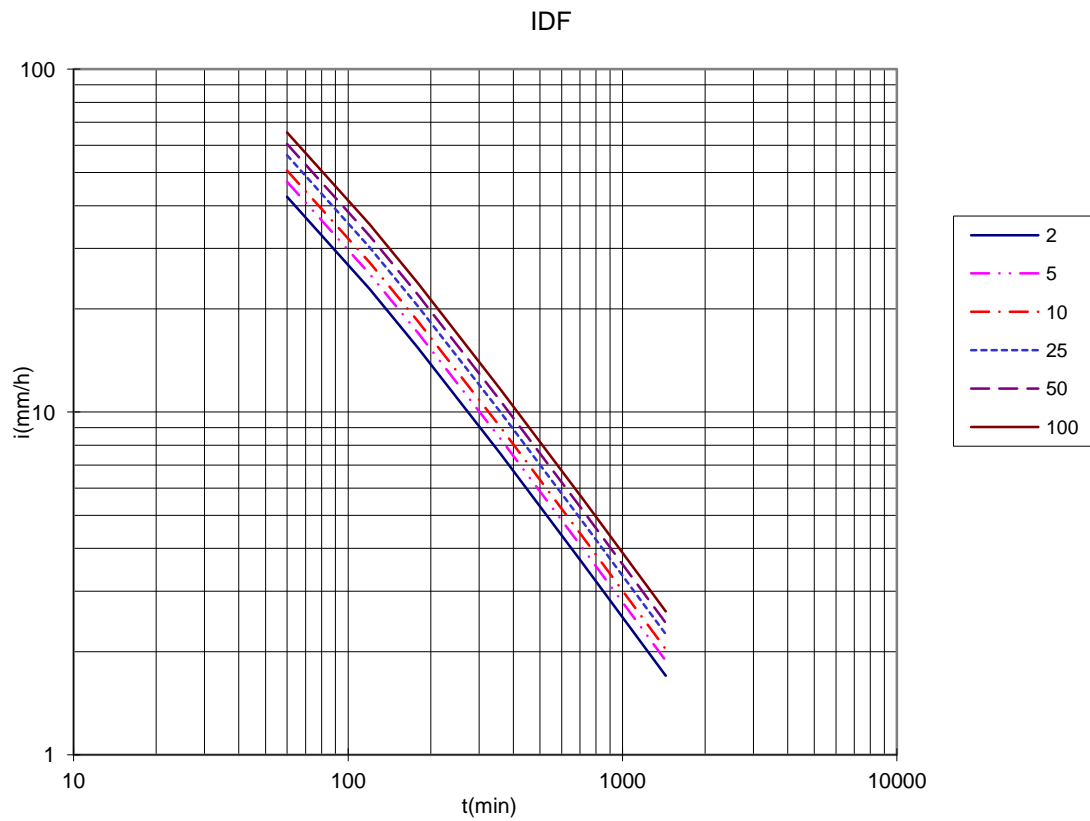


Figura 81: Curvas IDF de la EMA El Fraile.

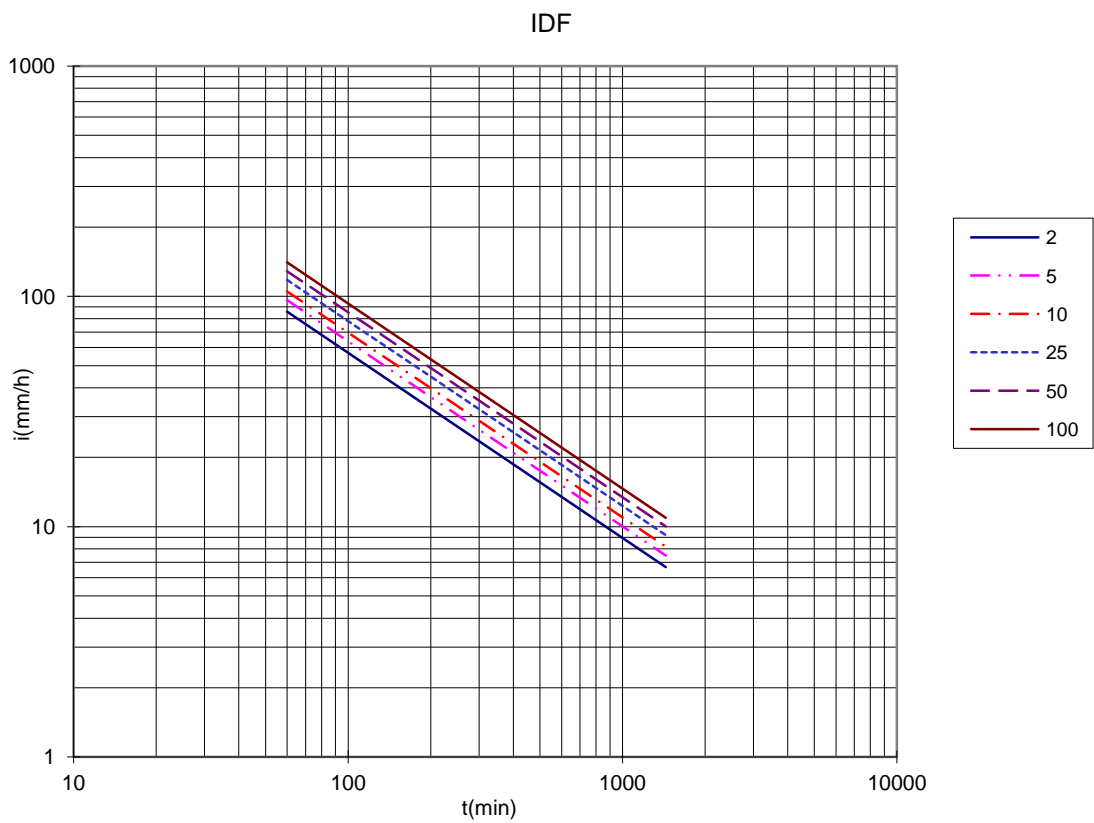


Figura 82: Curvas IDF de la EMA Huites.

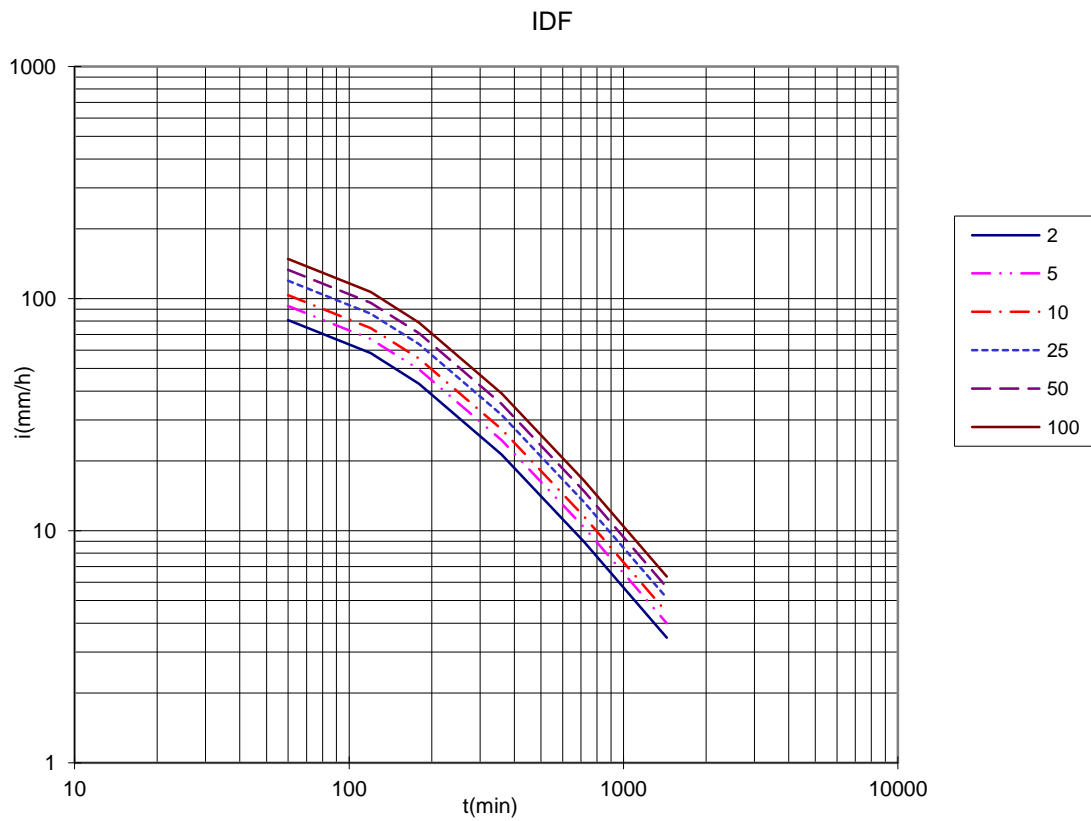


Figura 83: Curvas IDF de la EMA Humaya.

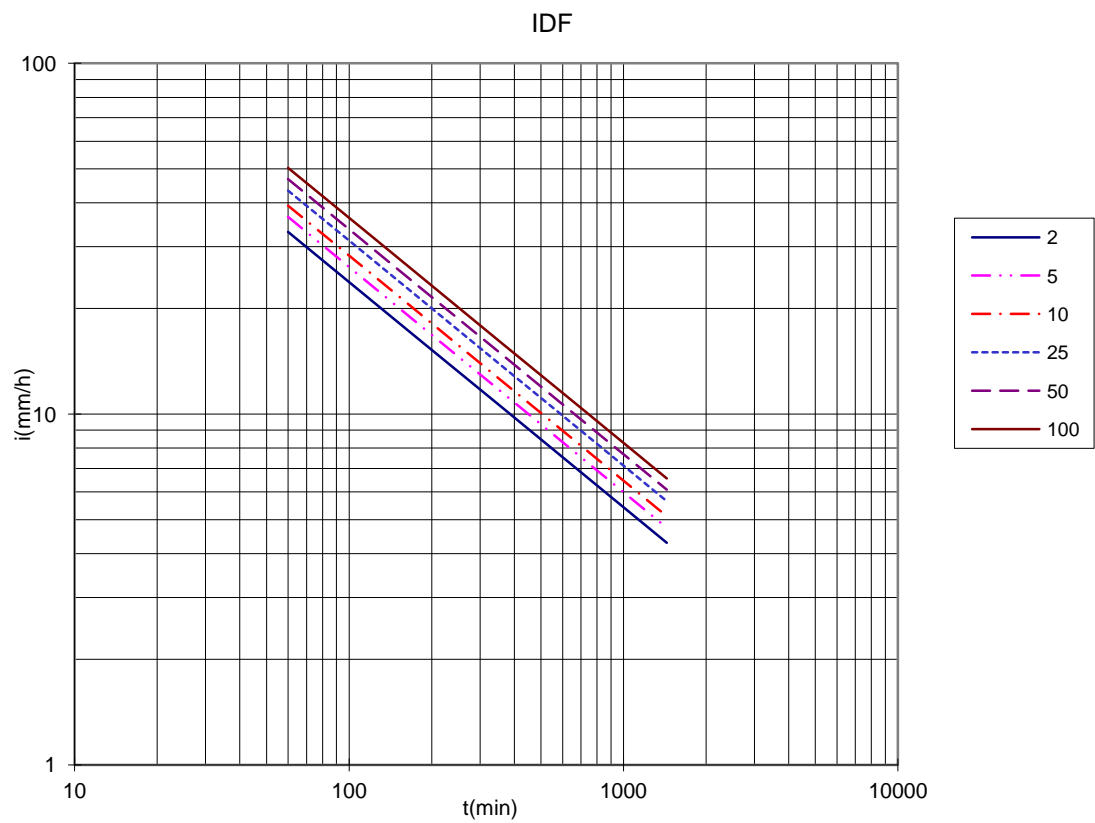


Figura 84: Curvas IDF de la EMA Infiernillo.

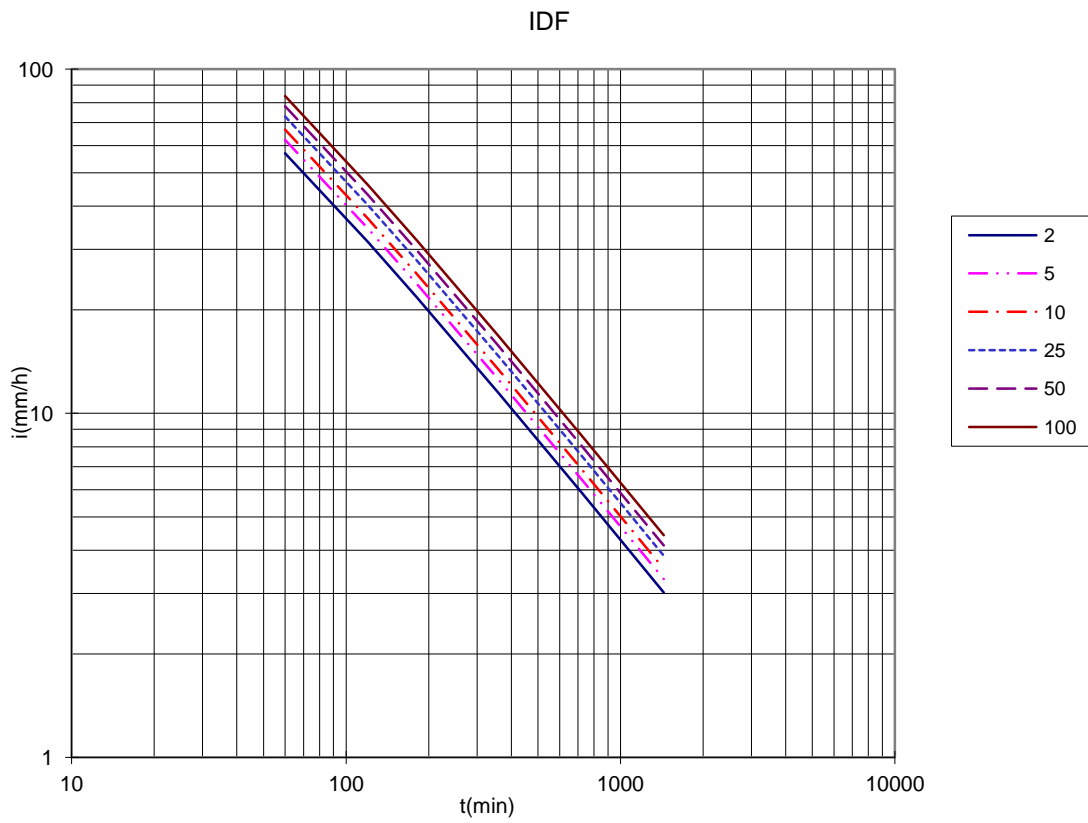


Figura 85: Curvas IDF de la EMA Ixcamilpa.

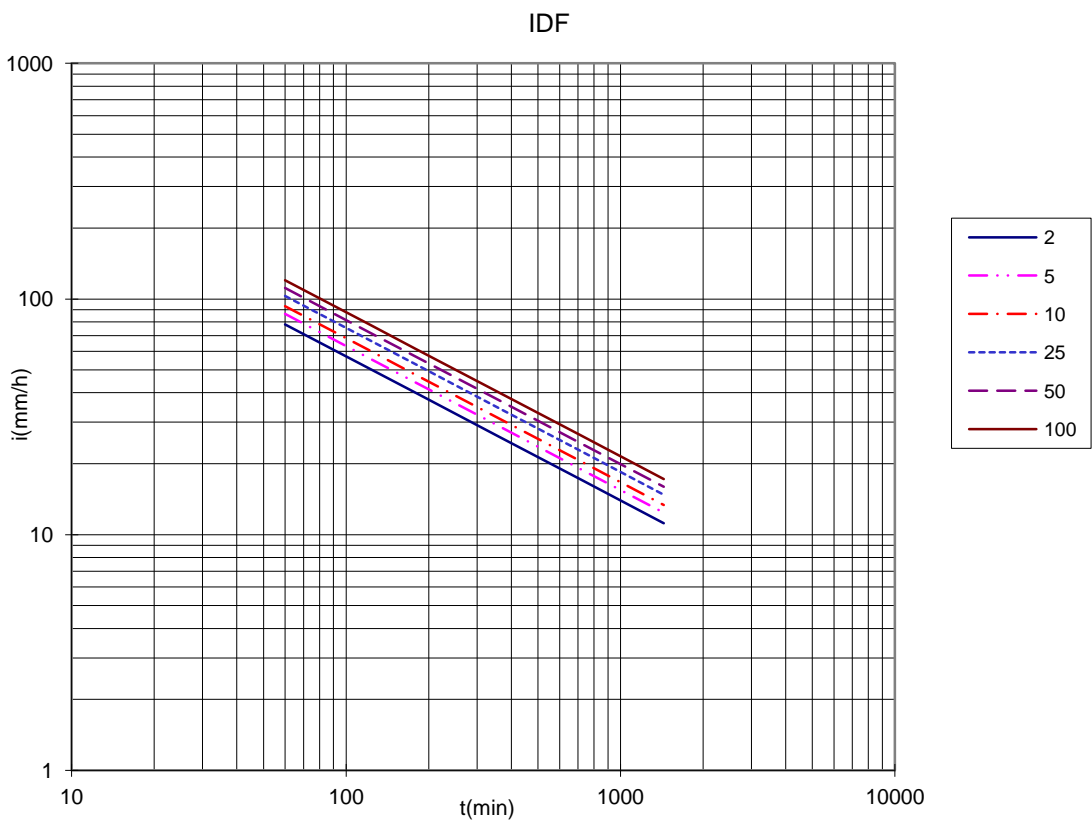


Figura 86: Curvas IDF de la EMA La Villita.

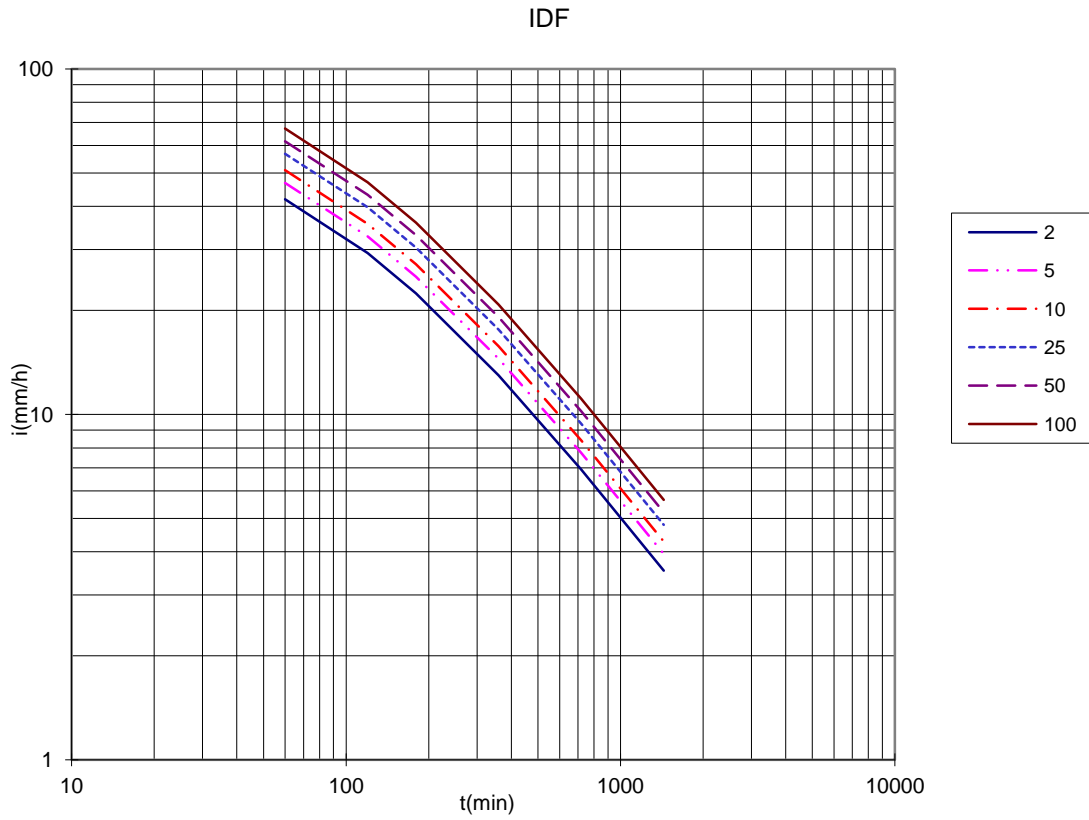


Figura 87: Curvas IDF de la EMA Los Palillos.

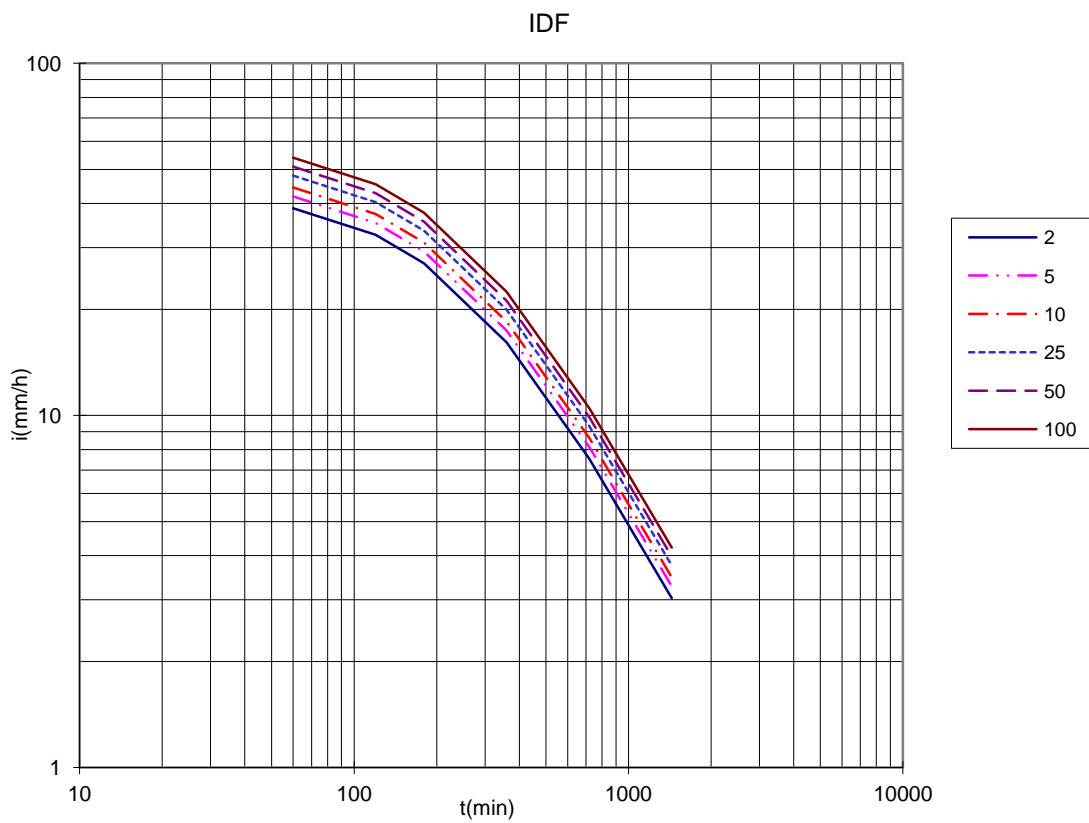


Figura 88: Curvas IDF de la EMA Malpaso.

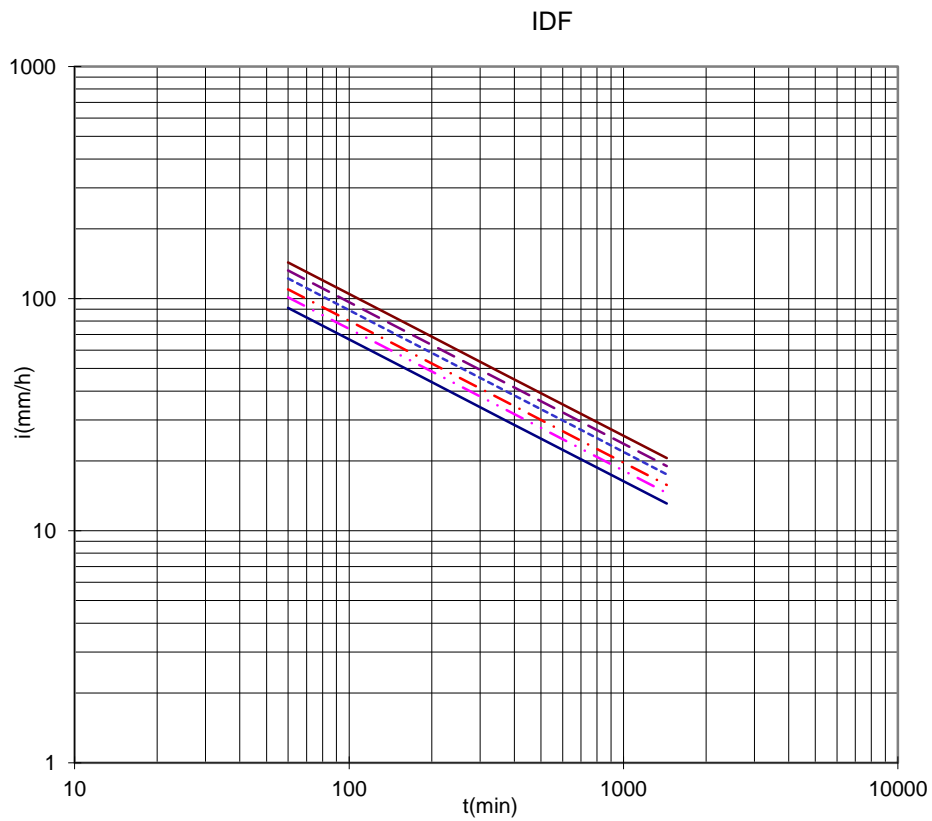


Figura 89: Curvas IDF de la EMA Mazatepec.

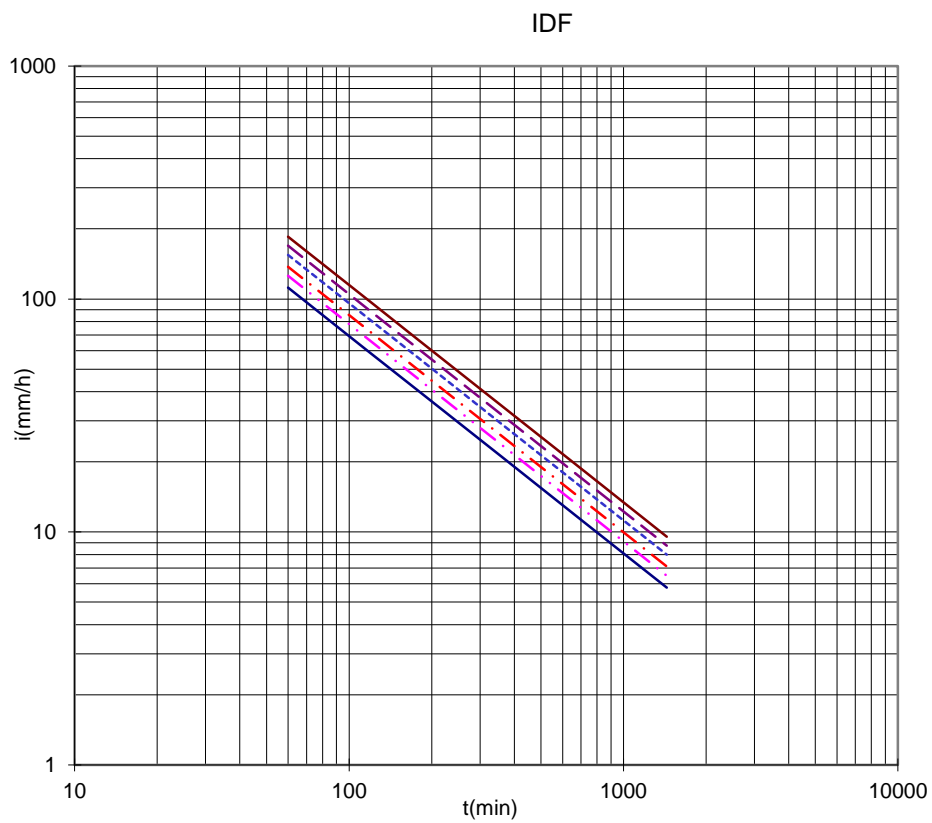


Figura 90: Curvas IDF de la EMA Mocúzari.

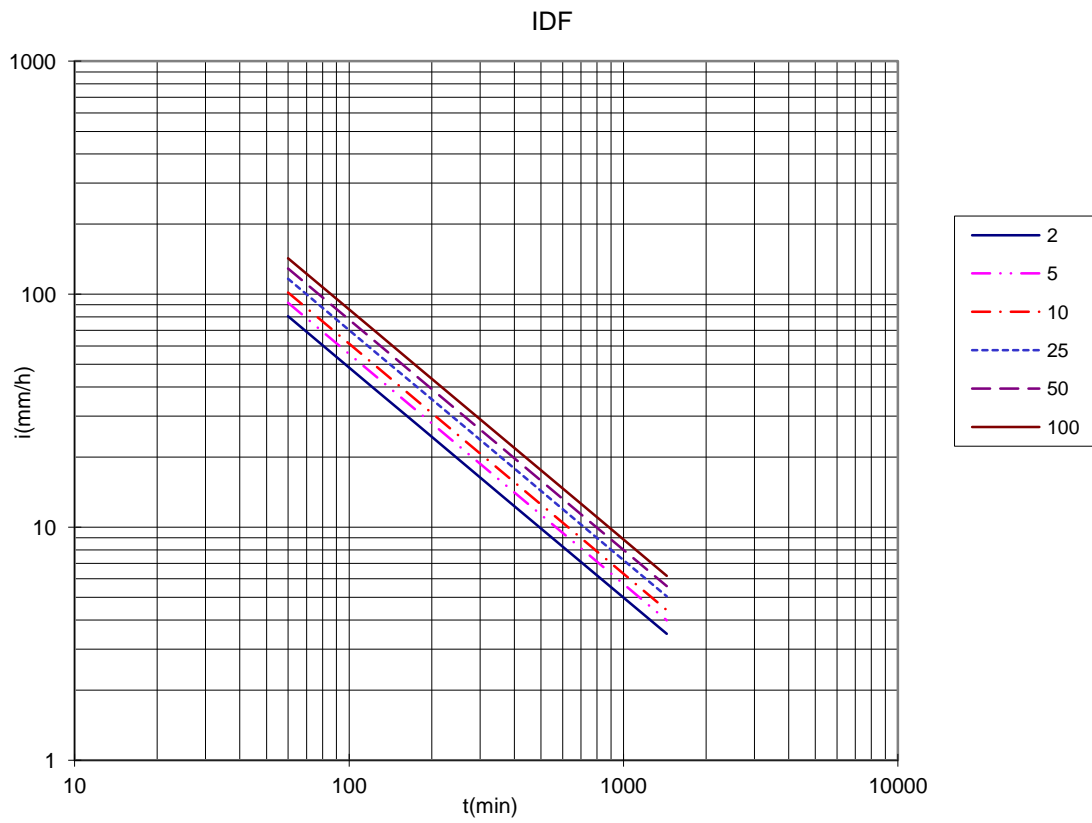


Figura 91: Curvas IDF de la EMA Moctezuma.

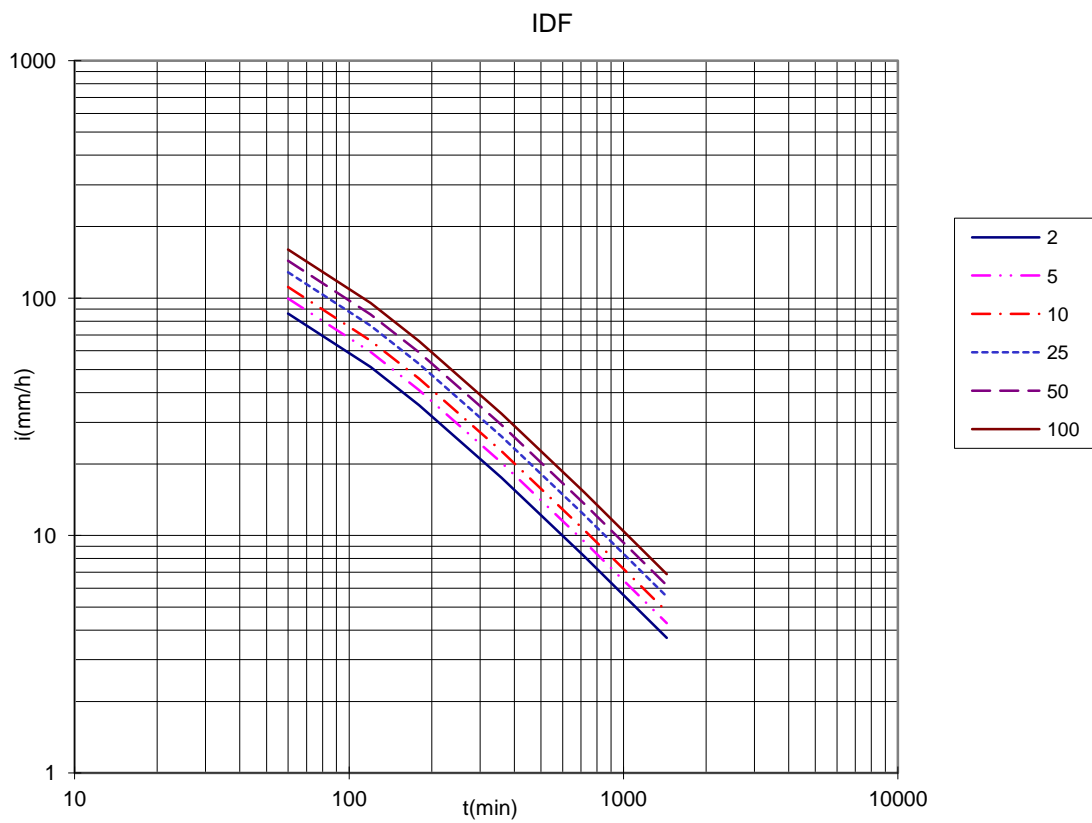


Figura 92: Curvas IDF de la EMA Novillo.

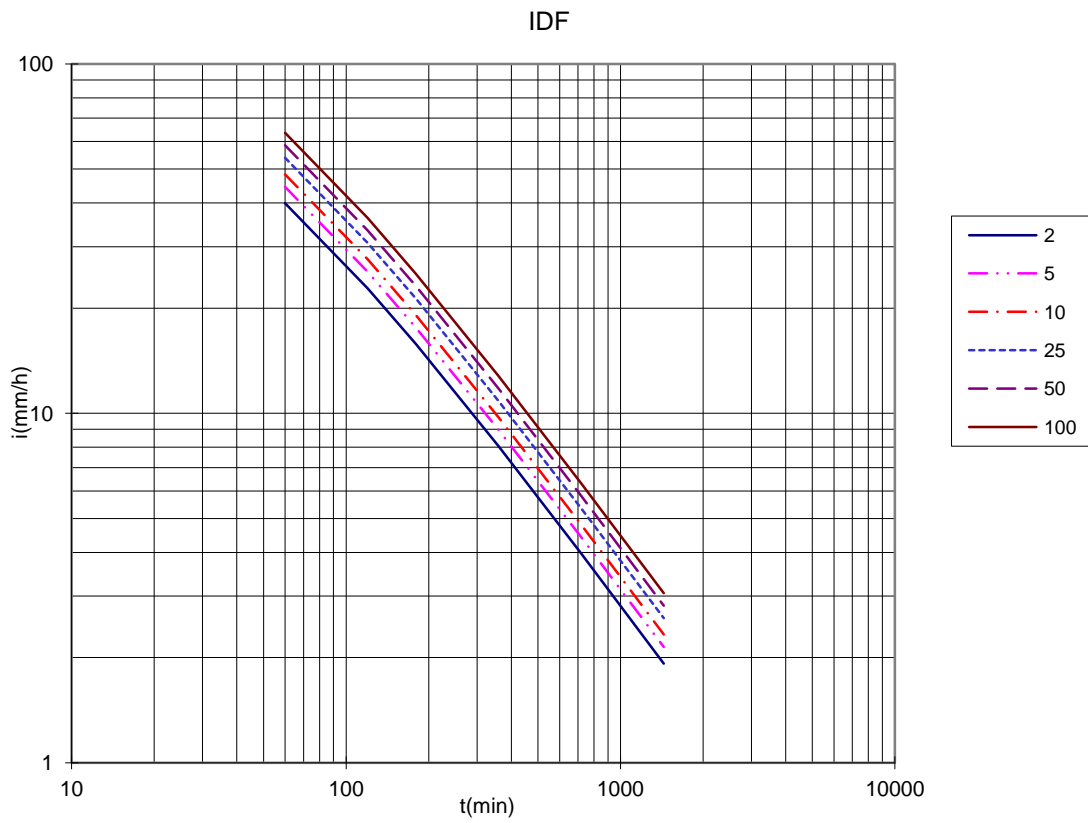


Figura 93: Curvas IDF de la EMA Cristóbal Obregón.

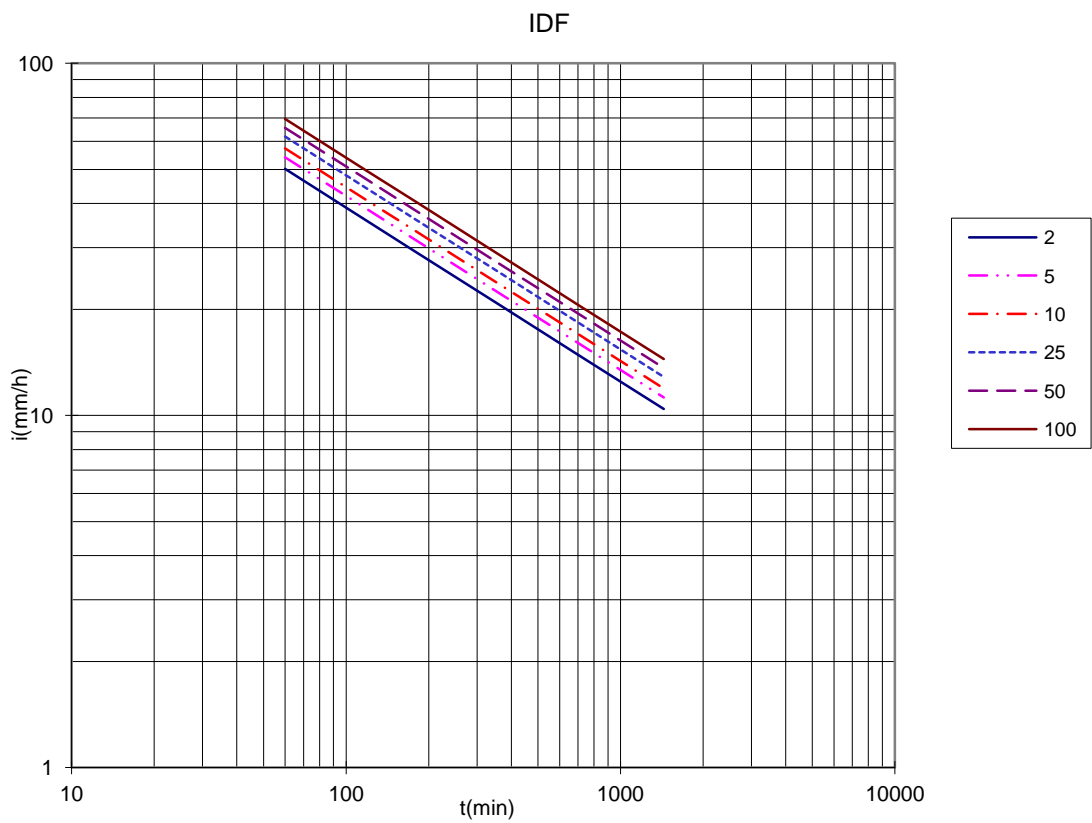


Figura 94: Curvas IDF de la EMA Ocotepc.

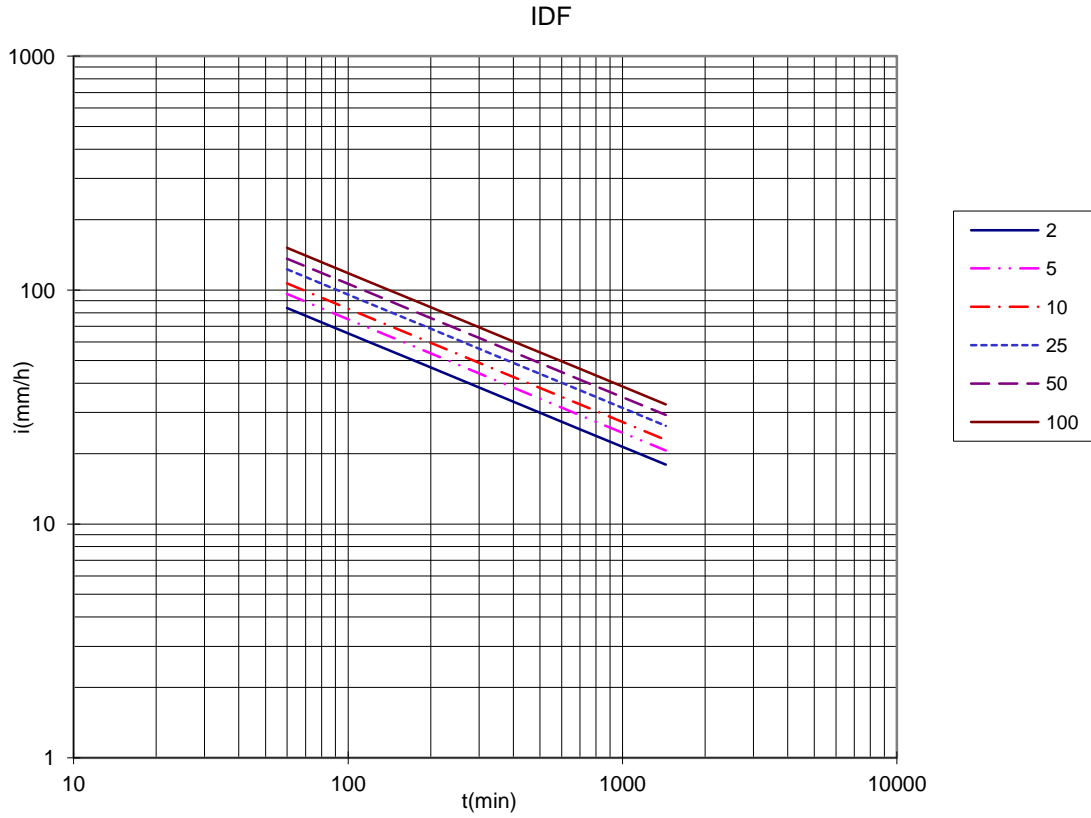


Figura 95: Curvas IDF de la EMA Oviachic.

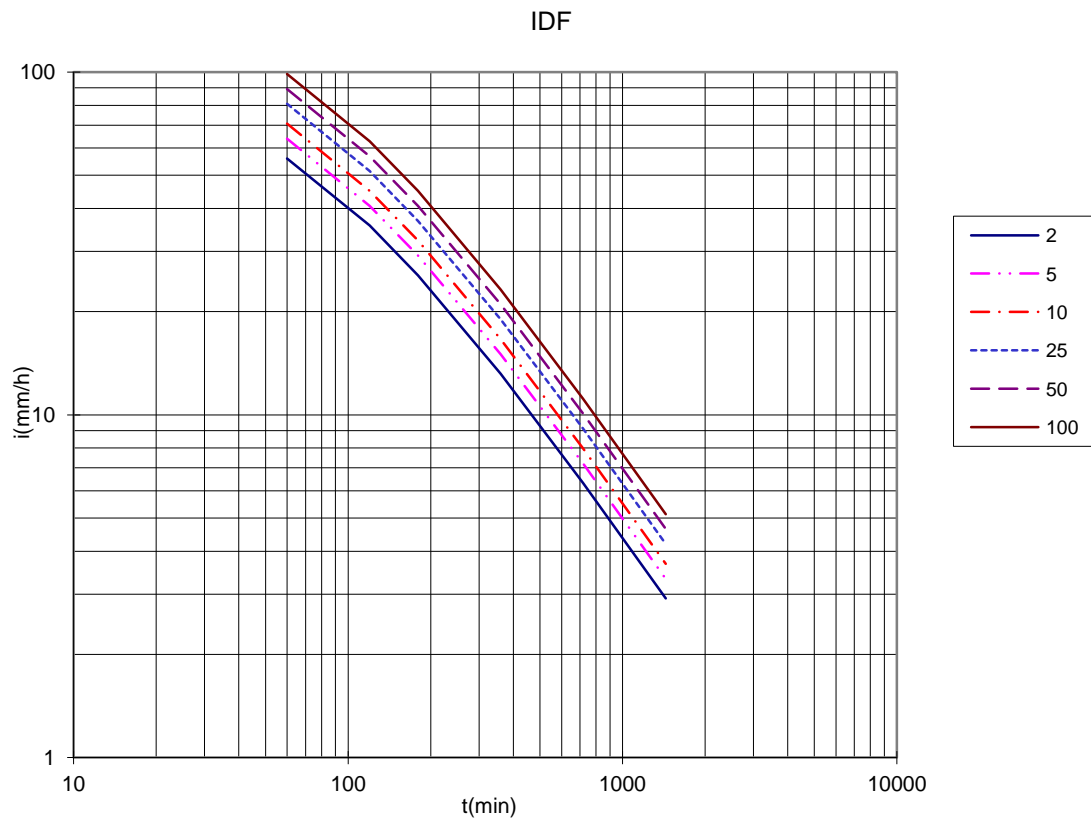


Figura 96: Curvas IDF de la EMA Panches.

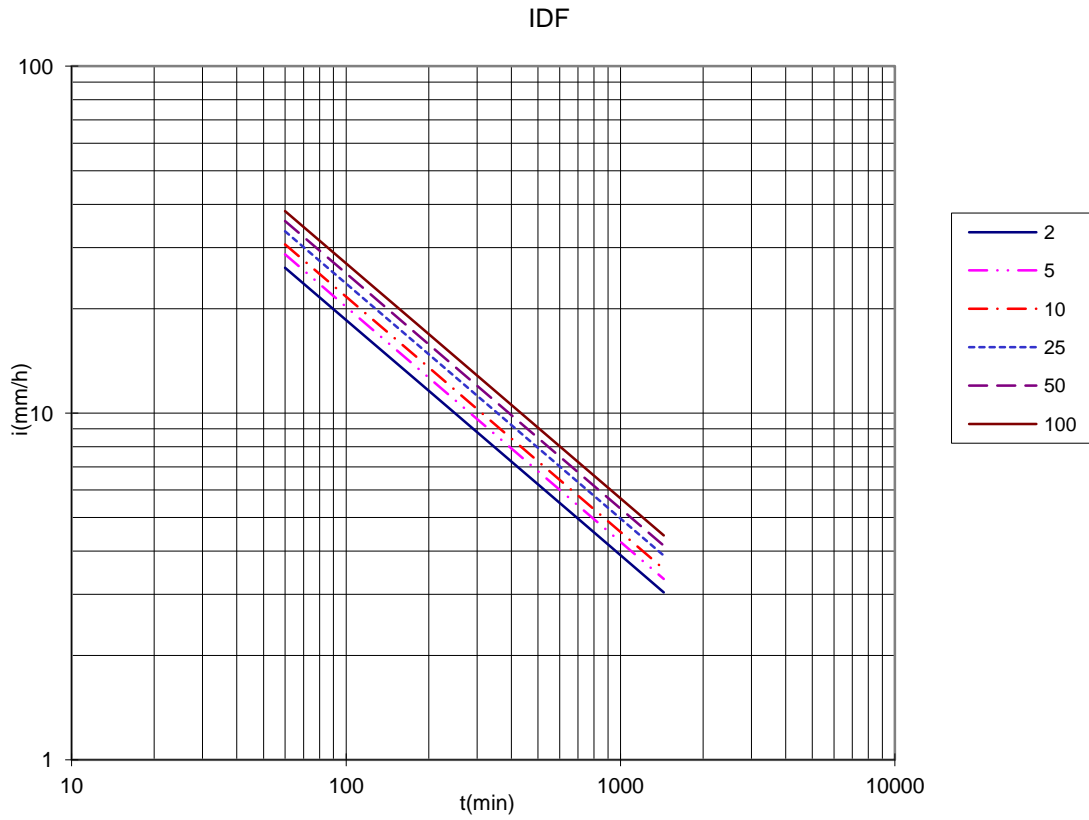


Figura 97: Curvas IDF de la EMA Papalutla

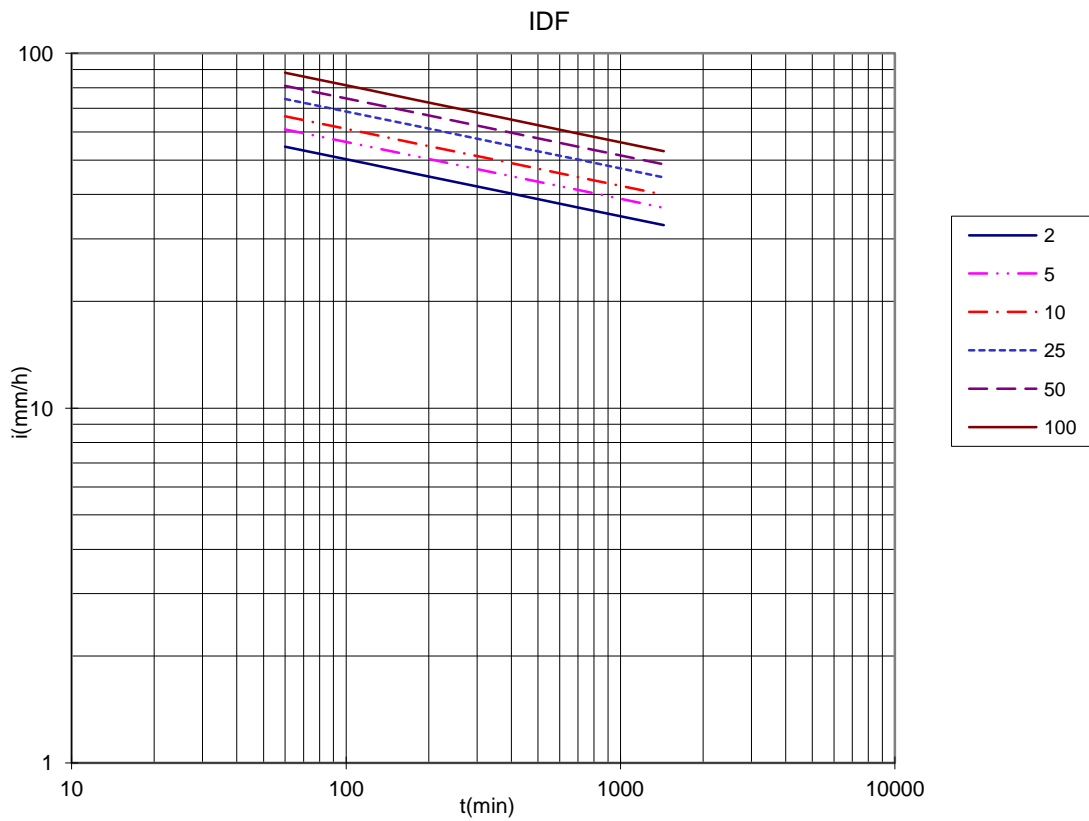


Figura 98: Curvas IDF de la EMA Peñitas.

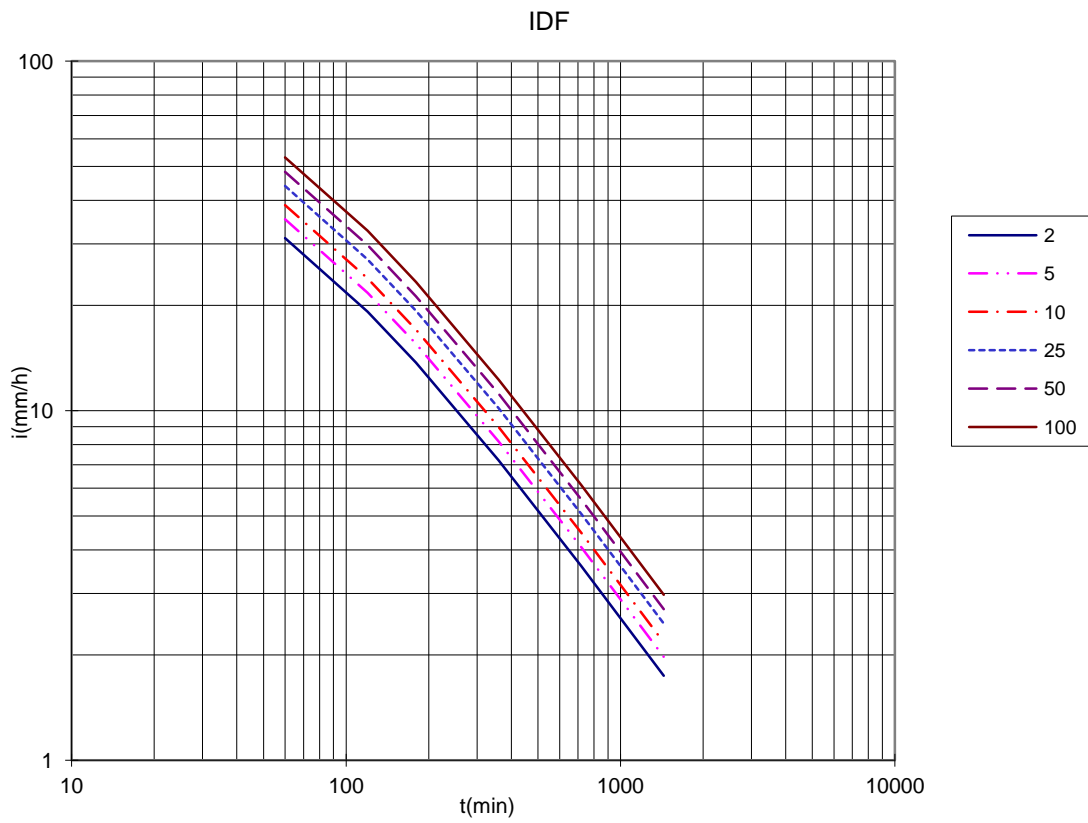


Figura 99: Curvas IDF de la EMA Paso Nácori.

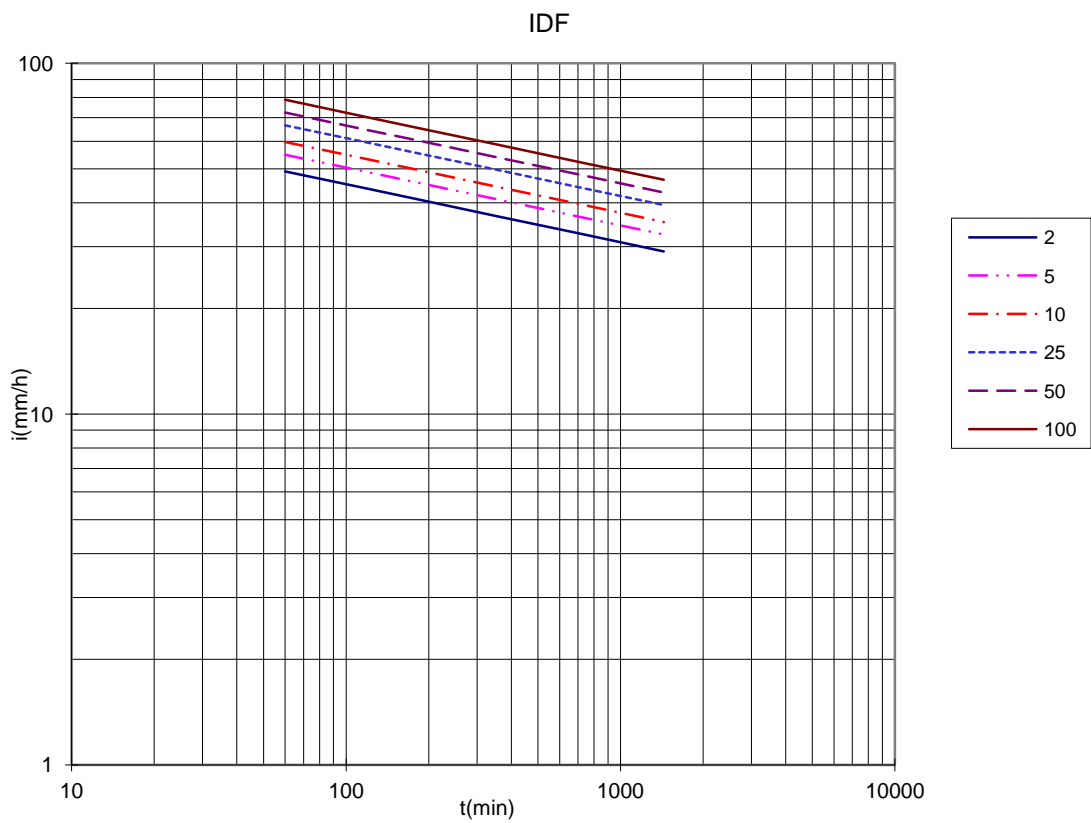


Figura 100: Curvas IDF de la EMA Rómulo Calzada.

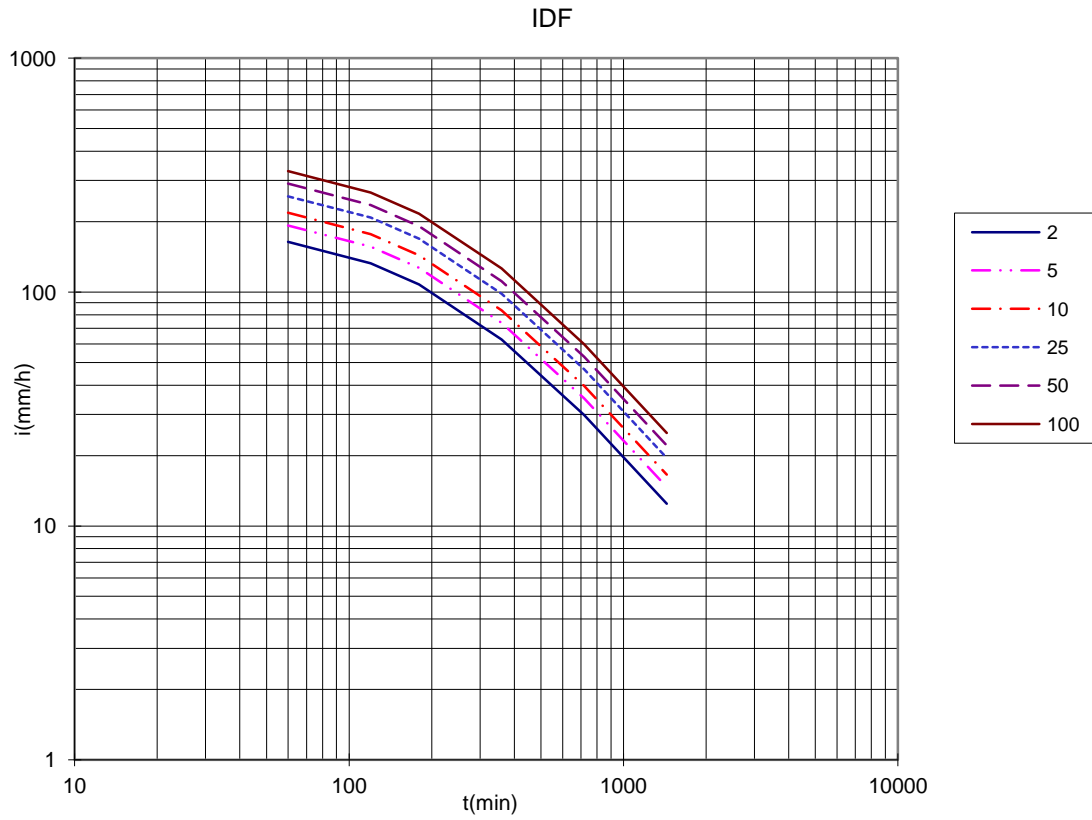


Figura 101: Curvas IDF de la EMA 27 de Septiembre.

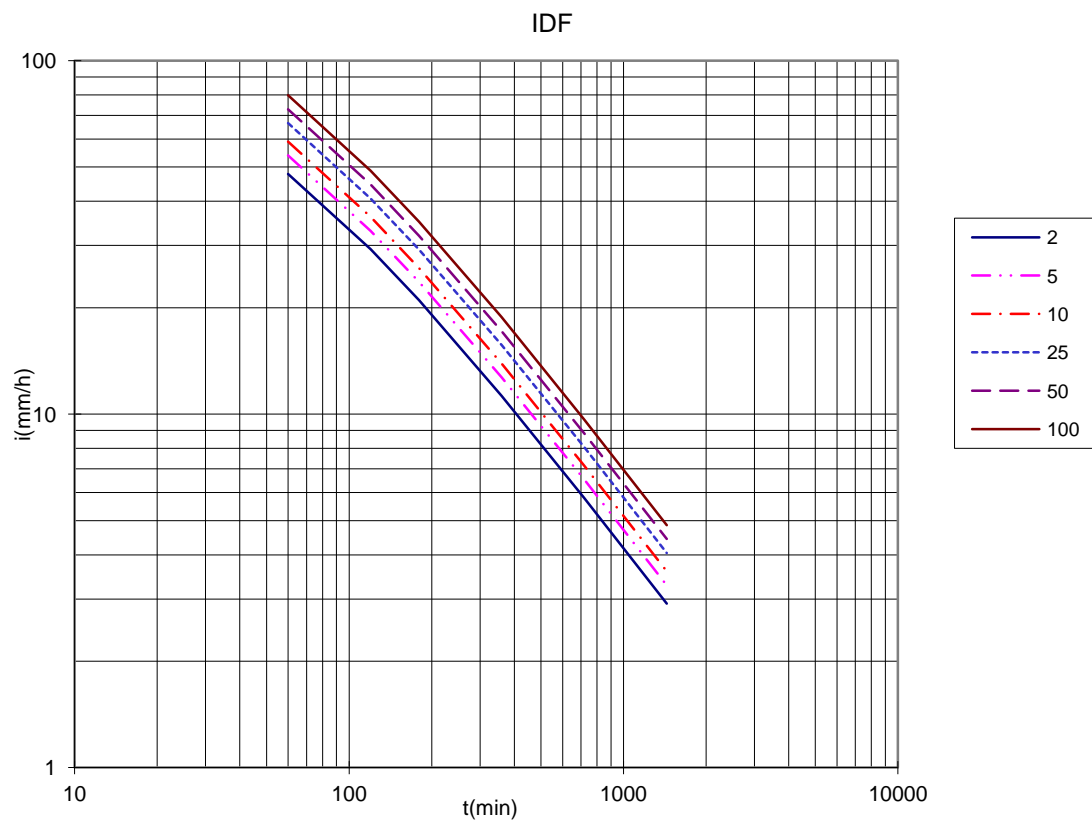


Figura 102: Curvas IDF de la EMA San Antonio.

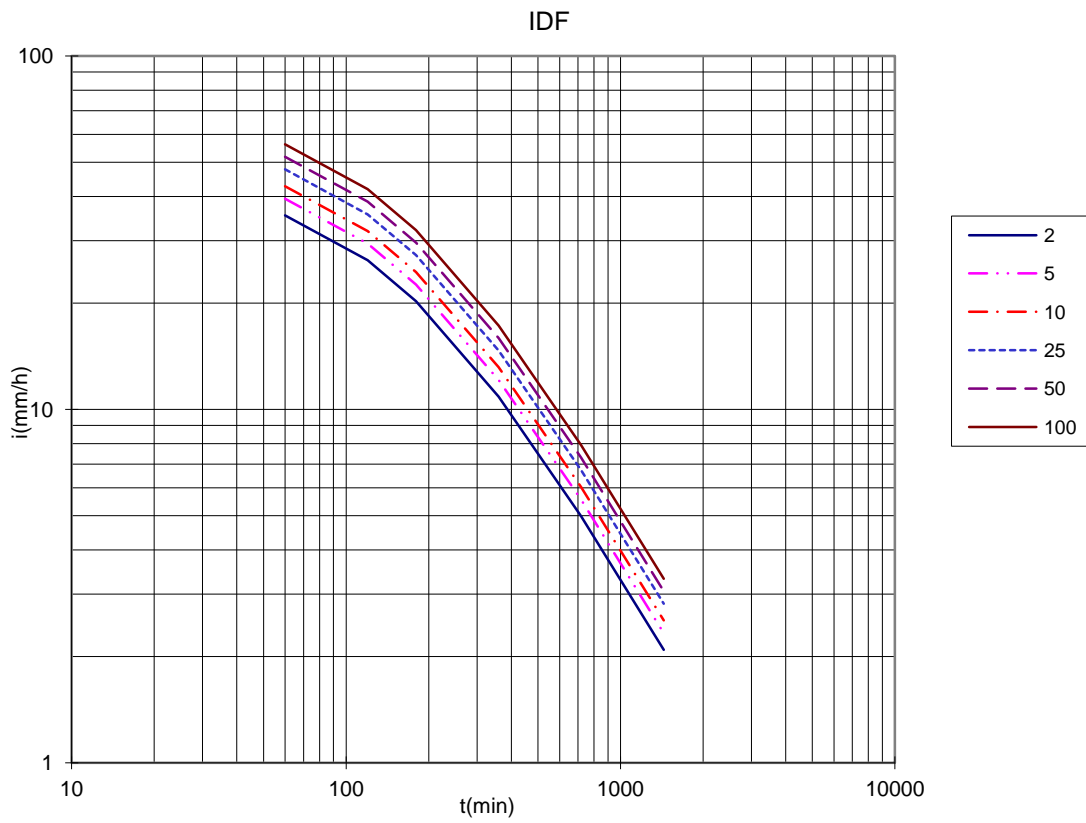


Figura 103: Curvas IDF de la EMA San Cristóbal de las Casas.

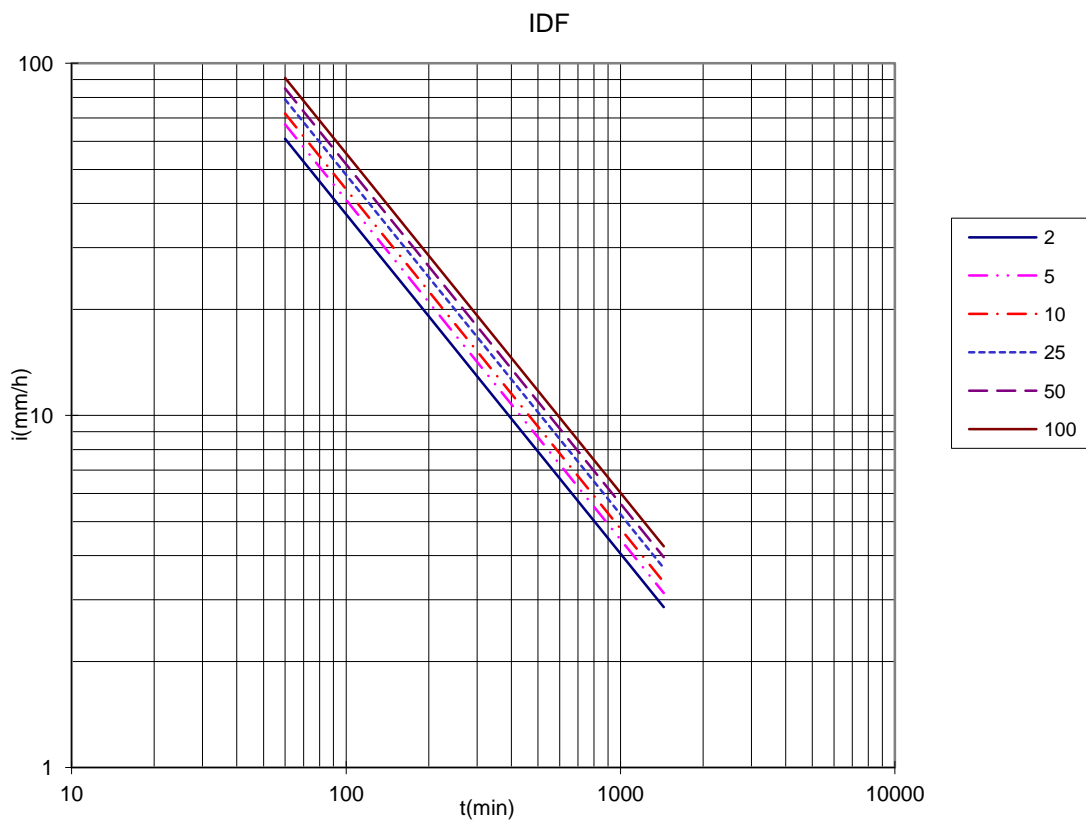


Figura 104: Curvas IDF de la EMA San Cristóbal.

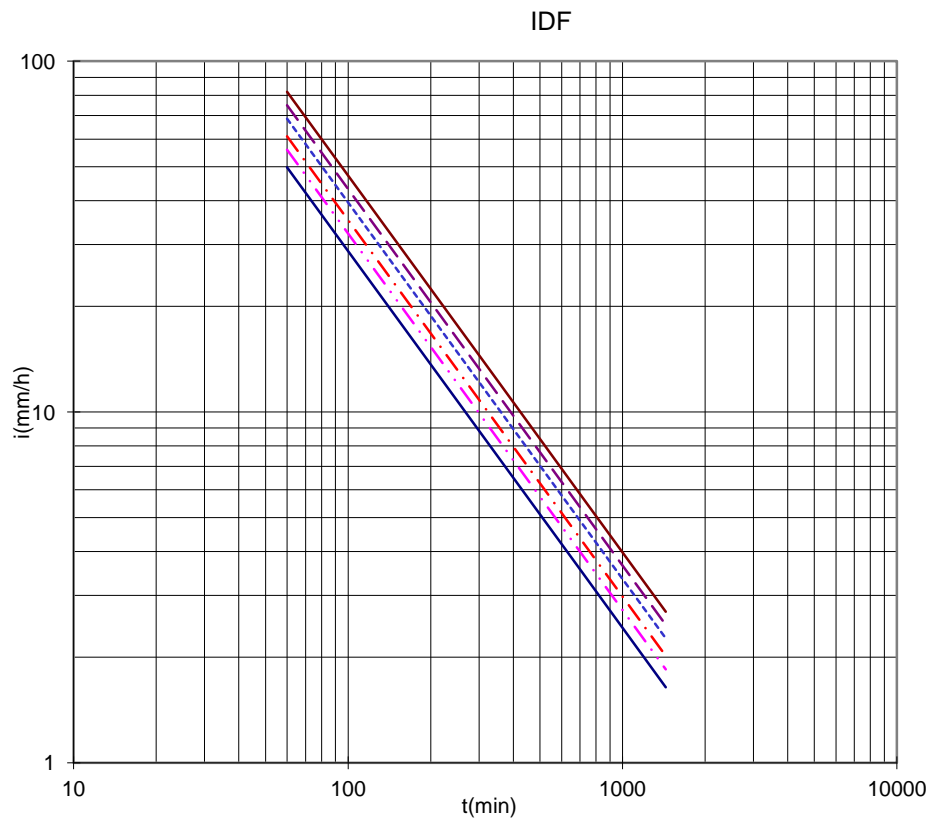


Figura 105: Curvas IDF de la EMA San Juan.

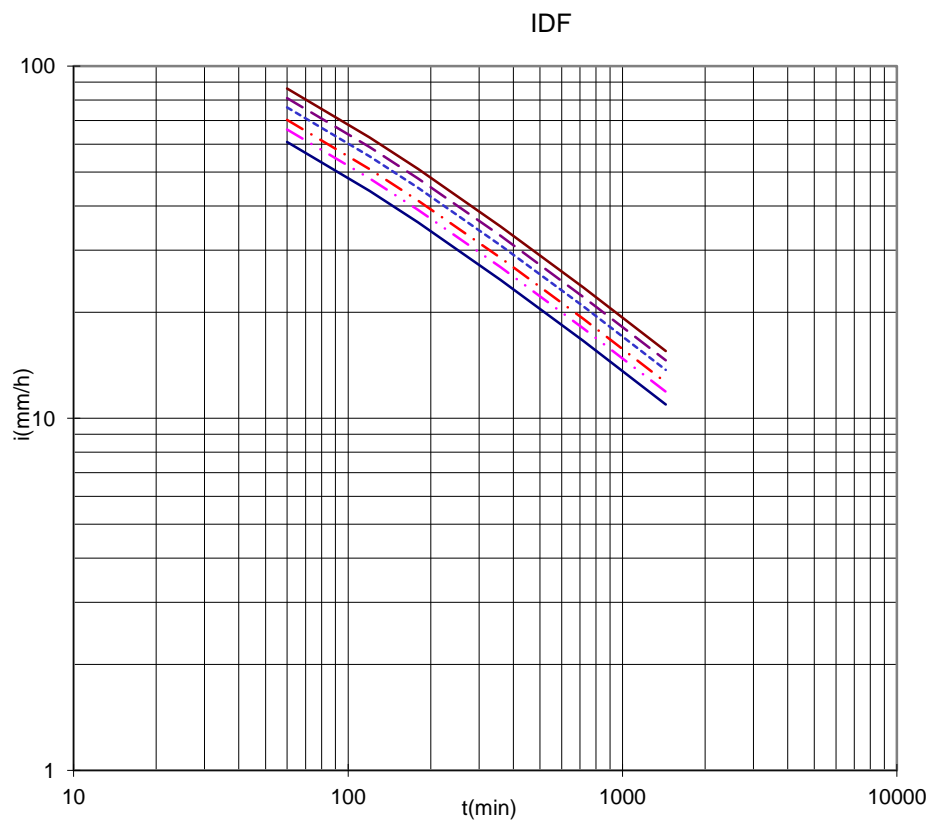


Figura 106: Curvas IDF de la EMA Sayula.

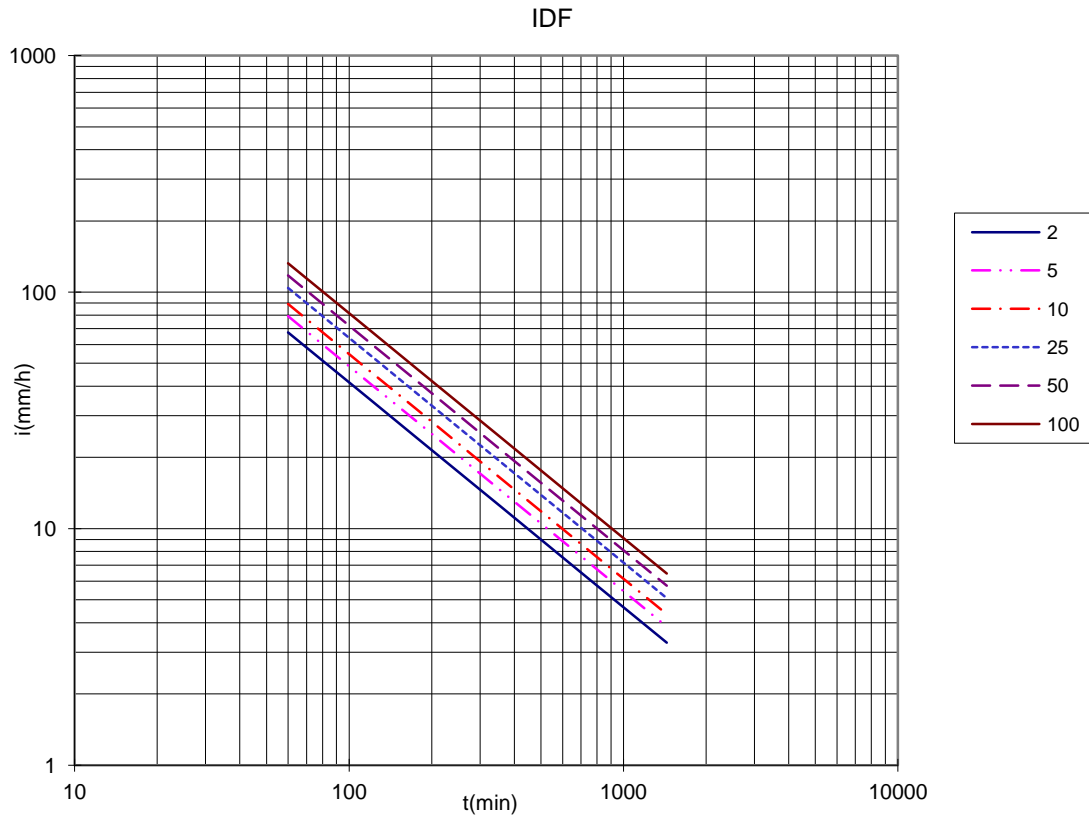


Figura 107: Curvas IDF de la EMA Santo Domingo.

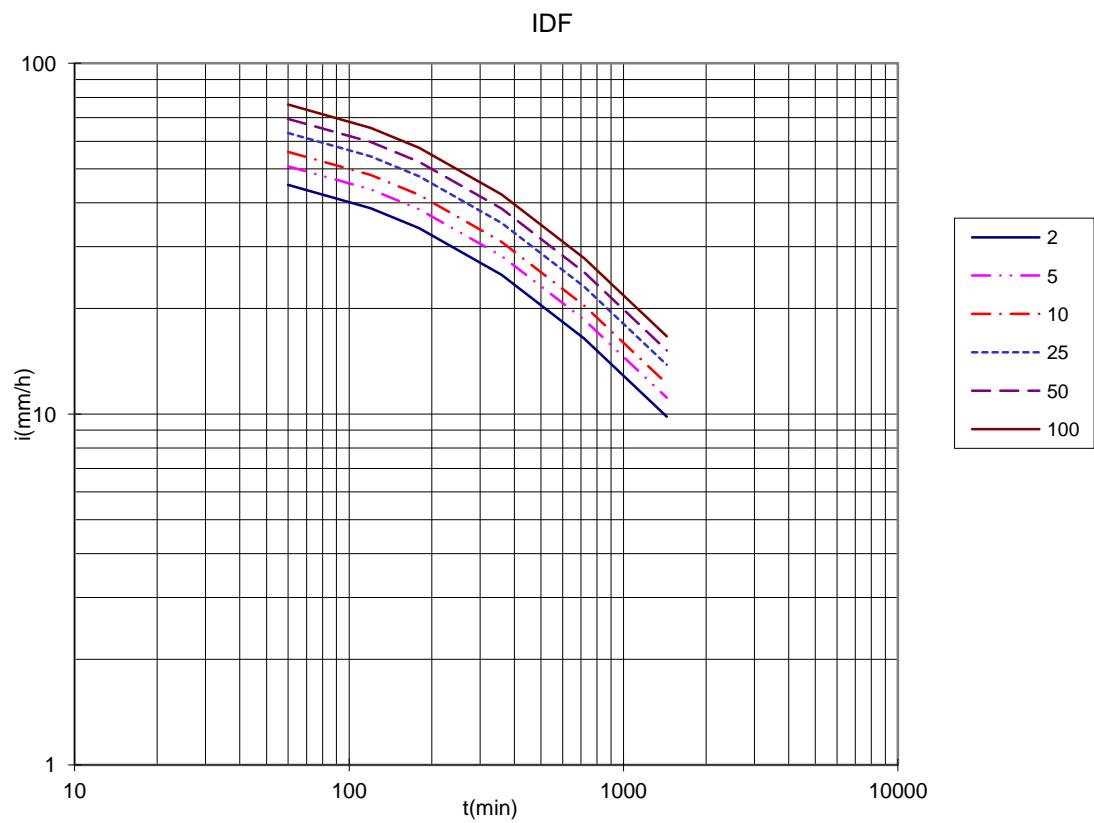


Figura 108: Curvas IDF de la EMA Sierra Morena.

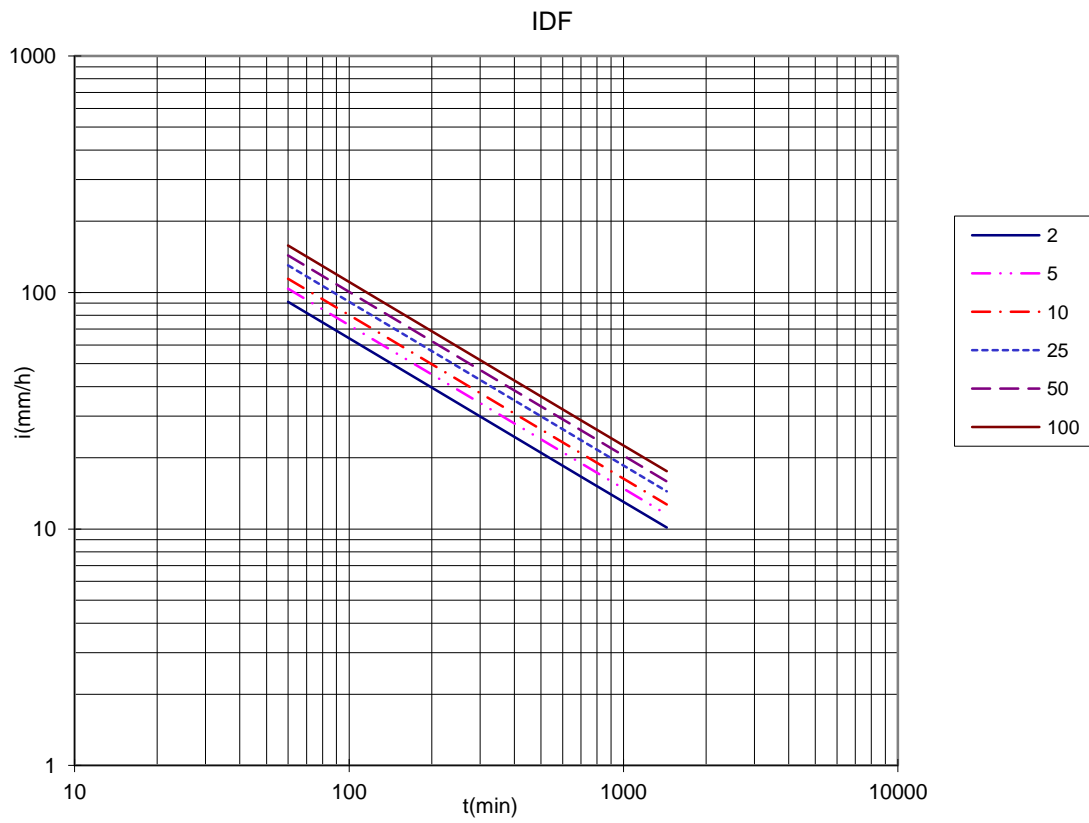


Figura 109: Curvas IDF de la EMA Sanalona.

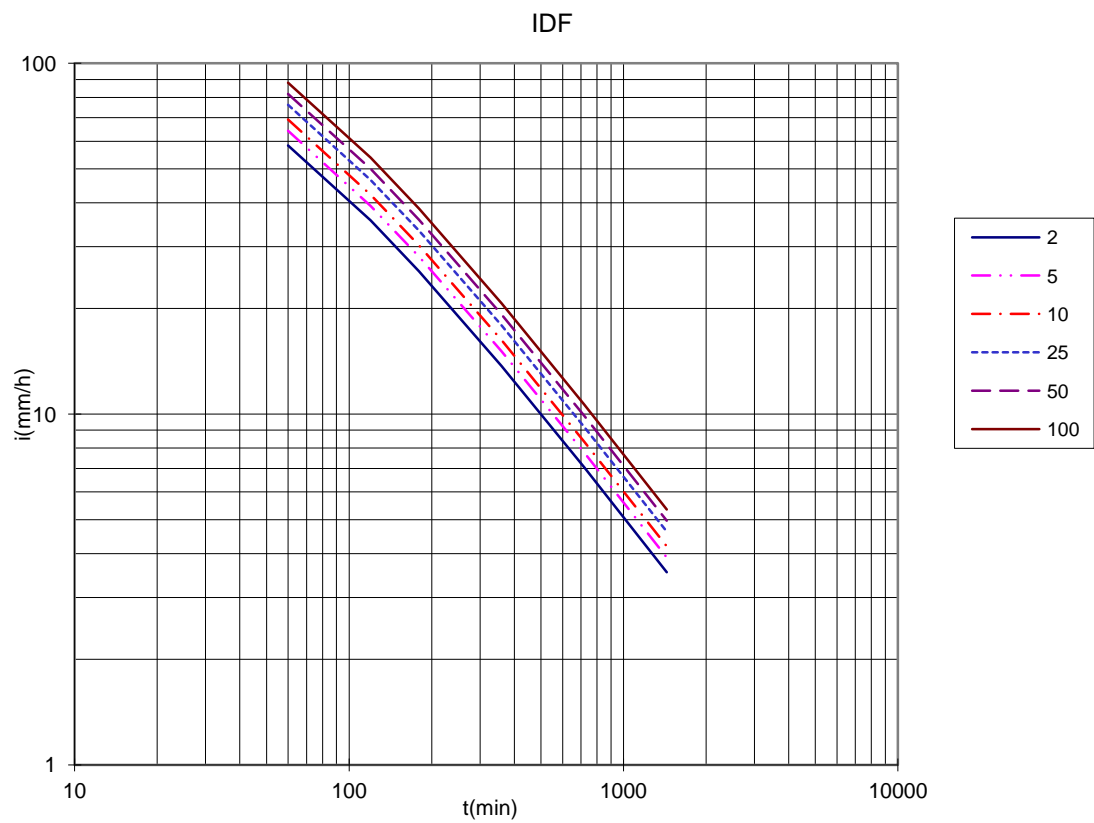


Figura 110: Curvas IDF de la EMA Santa Rosa.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	76	146	151	161	161	162	11,35
08/09	73	90	90	99	104	151	11,59
08/09	56	73	73	91	91	104	12,76
08/09	55	64	68	73	81	101	13,03
08/09	45	61	61	72	80	92	11,71
08/09	39	56	61	61	73	91	10,35
08/09	37	55	58	61	73	82	10,87
08/09	32	43	56	57	61	80	9,60
08/09	31	43	50	56	61	80	9,39
08/09	29	42	43	51	61	73	9,50
						K media	11,02

Tabla 20: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Aguamilpa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	106	203	203	203	203	203	12,54
08/09	50	58	60	61	66	203	5,94
08/09	50	55	60	60	61	78	15,27
08/09	30	52	52	52	52	74	9,53
08/09	29	40	42	43	51	68	10,24
08/09	27	37	40	42	50	66	9,62
08/09	23	37	37	42	43	61	9,11
08/09	23	33	36	39	39	60	9,12
08/09	23	32	34	37	37	58	9,44
08/09	22	29	32	36	37	56	9,18
						K media	10,00

Tabla 21: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Angostura, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	53	63	64	91	112	167	7,66
08/09	37	47	50	54	62	116	7,63
08/09	30	40	48	52	55	69	10,36
08/09	28	39	41	45	52	62	10,97
08/09	26	37	40	44	51	62	10,01
08/09	24	35	35	42	45	56	10,38
08/09	23	31	35	35	45	51	10,70
08/09	22	28	32	34	42	45	11,97
08/09	21	28	31	33	42	45	11,39
08/09	20	27	30	33	38	44	10,85
						K media	10,19

Tabla 22: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Arteaga, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	40	45	45	58	63	78	12,22
08/09	34	43	45	46	59	74	11,03
08/09	32	36	41	45	51	66	11,52
08/09	29	33	35	41	46	63	10,94
08/09	26	32	34	40	45	54	11,80
08/09	22	29	34	36	36	50	10,38
08/09	21	28	31	34	34	46	10,85
08/09	20	24	28	33	34	38	12,60
08/09	17	23	28	33	34	36	11,60
08/09	17	23	28	32	32	36	11,49
						K media	11,44

Tabla 23: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Atenango del río, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	30	40	40	49	49	57	12,74
08/09	25	36	38	44	44	49	12,29
08/09	24	32	37	37	37	49	11,95
08/09	23	29	30	35	35	44	12,22
08/09	13	22	22	22	22	44	7,08
08/09	13	17	21	21	22	37	8,24
08/09	11	14	15	21	21	35	7,64
08/09	11	14	14	19	21	33	8,20
08/09	9	12	14	17	20	30	7,18
08/09	8	11	13	14	14	29	6,12
						K media	9,37

Tabla 24: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Bacurato, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	63	97	99	104	107	107	14,08
08/09	59	76	77	92	104	104	13,65
08/09	54	64	66	92	92	92	13,97
08/09	41	51	54	84	84	84	11,73
08/09	33	40	46	68	69	73	10,99
08/09	29	37	46	56	69	72	9,80
08/09	28	34	40	54	56	64	10,64
08/09	27	33	39	42	49	63	10,30
08/09	25	31	38	40	45	62	9,59
08/09	24	31	33	40	42	61	9,60
						K media	11,44

Tabla 25: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Caimanera, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	27	34	44	44	44	80	8,20
08/09	27	34	36	41	44	72	8,93
08/09	24	31	35	37	42	58	9,74
08/09	23	31	34	37	39	53	10,60
08/09	23	30	31	36	39	47	11,74
08/09	22	26	27	36	39	45	11,52
08/09	21	25	27	34	39	45	11,54
08/09	21	25	25	32	36	44	11,57
08/09	21	25	25	30	34	44	11,21
08/09	20	25	25	30	33	43	11,03
						K media	10,61

Tabla 26: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Colorines, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	96	96	96	96	96	105	21,88
08/09	96	96	96	96	96	96	24,00
08/09	62	67	96	96	96	96	15,38
08/09	49	64	96	96	96	96	12,23
08/09	32	57	67	71	79	96	8,05
08/09	27	37	64	65	71	86	7,47
08/09	26	34	61	63	65	79	7,83
08/09	25	31	48	53	63	73	8,39
08/09	24	31	38	40	57	69	8,38
08/09	24	29	36	38	40	66	8,77
						K media	12,24

Tabla 27: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Comedero, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	81	103	123	127	127	143	13,57
08/09	68	92	92	92	119	119	13,59
08/09	52	68	68	75	96	116	10,70
08/09	51	54	63	70	77	96	12,81
08/09	45	54	60	68	69	94	11,44
08/09	43	52	56	66	67	92	11,17
08/09	42	51	55	57	57	79	12,73
08/09	42	48	52	55	55	71	14,13
08/09	38	47	52	53	53	70	12,98
08/09	35	45	46	46	52	69	12,10
						K media	12,52

Tabla 28: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Chicoasen, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	61	64	67	70	70	70	21,01
08/09	27	36	61	69	70	70	9,30
08/09	21	31	36	37	42	44	11,29
08/09	21	28	32	35	42	43	11,44
08/09	19	26	31	33	40	42	10,57
08/09	19	22	27	32	32	40	11,21
08/09	15	21	25	30	31	39	9,37
08/09	15	20	21	28	31	33	11,26
08/09	14	19	20	25	28	32	10,39
08/09	12	19	20	24	25	32	8,78
						K media	11,46

Tabla 29: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Cubil, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	62	67	70	72	76	97	15,27
08/09	36	38	39	72	73	96	8,86
08/09	26	36	38	39	39	60	10,24
08/09	20	30	32	39	39	43	11,30
08/09	13	30	31	33	37	42	7,45
08/09	13	26	30	33	36	38	8,06
08/09	12	17	27	33	34	37	7,66
08/09	12	15	18	33	34	37	7,46
08/09	11	15	17	30	33	37	7,28
08/09	10	14	15	22	29	35	6,95
						K media	9,05

Tabla 30: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Caracol, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	40	51	56	75	76	84	11,54
08/09	38	43	44	47	54	67	13,48
08/09	33	40	43	47	51	67	11,73
08/09	30	38	39	44	51	63	11,51
08/09	29	36	39	43	48	54	12,69
08/09	28	35	38	43	45	52	13,14
08/09	27	35	37	41	44	51	12,51
08/09	27	33	36	40	44	51	12,54
08/09	23	31	35	39	44	50	11,14
08/09	23	31	35	39	43	49	11,29
						K media	12,16

Tabla 31: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Devanador, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	41	50	50	50	54	54	17,91
08/09	39	47	47	49	49	54	17,12
08/09	30	41	41	42	43	54	13,29
08/09	29	41	41	41	41	49	14,22
08/09	27	37	39	41	41	43	15,12
08/09	25	36	39	40	40	43	14,14
08/09	21	34	38	38	38	42	12,06
08/09	18	34	36	37	37	41	10,52
08/09	18	30	34	36	36	41	10,30
08/09	17	27	30	35	35	40	10,10
						K media	13,48

Tabla 32: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA El Fraile, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	96	96	112	155	160	160	14,40
08/09	72	87	97	125	134	160	10,76
08/09	60	74	96	120	120	137	10,42
08/09	48	70	76	96	96	134	8,56
08/09	43	68	73	96	96	134	7,77
08/09	40	52	73	78	95	121	7,87
08/09	39	51	55	78	79	101	9,28
08/09	38	51	54	76	76	101	9,07
08/09	35	51	54	64	68	100	8,34
08/09	33	50	53	57	64	83	9,36
						K media	9,58

Tabla 33: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Huites, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	81	144	144	144	145	145	13,52
08/09	72	83	83	83	83	144	11,97
08/09	52	64	69	69	69	83	15,06
08/09	43	55	58	62	62	83	12,48
08/09	37	45	45	45	46	70	12,90
08/09	27	33	34	37	45	70	9,28
08/09	20	29	33	35	41	62	7,71
08/09	20	27	32	34	39	52	9,02
08/09	18	26	29	29	29	47	8,99
08/09	17	25	26	27	29	46	8,99
						K media	10,99

Tabla 34: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Humaya, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	33	42	51	69	98	100	7,79
08/09	31	38	43	57	57	57	13,13
08/09	29	34	42	56	57	57	12,45
08/09	25	33	34	47	52	52	11,24
08/09	24	27	33	45	52	52	11,22
08/09	22	27	30	43	45	47	11,13
08/09	21	27	29	33	33	45	10,86
08/09	17	26	28	30	30	44	9,41
08/09	17	25	28	29	29	37	11,06
08/09	16	24	27	29	29	35	10,57
						K media	10,89

Tabla 35: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Infiernillo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	64	70	73	75	85	90	17,04
08/09	43	58	60	61	63	86	12,10
08/09	41	57	59	60	60	78	12,63
08/09	40	54	57	60	60	76	12,52
08/09	40	50	53	60	60	69	13,75
08/09	40	49	50	53	56	64	14,80
08/09	38	48	50	51	51	63	14,58
08/09	34	43	50	50	50	62	13,00
08/09	33	42	47	50	50	60	13,21
08/09	31	40	47	49	50	60	12,16
						K media	13,58

Tabla 36: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Ixcamilpa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	91	112	113	174	253	310	7,06
08/09	60	91	112	114	235	243	5,93
08/09	51	83	107	114	133	169	7,29
08/09	51	81	101	110	131	145	8,38
08/09	48	73	85	109	124	135	8,55
08/09	47	69	81	102	114	133	8,53
08/09	45	69	77	97	114	128	8,45
08/09	41	67	72	97	114	128	7,79
08/09	41	57	70	97	112	122	8,10
08/09	40	56	68	91	109	119	8,09
						K media	7,82

Tabla 37: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA La Villita, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	41	61	76	77	87	105	9,30
08/09	41	55	61	66	68	103	9,47
08/09	34	43	43	51	66	101	8,09
08/09	31	38	43	49	59	97	7,68
08/09	25	36	36	43	49	67	8,94
08/09	23	32	34	43	43	66	8,18
08/09	22	32	32	43	43	62	8,52
08/09	21	30	31	40	43	54	9,38
08/09	20	26	31	36	39	52	9,05
08/09	19	25	27	34	37	49	9,43
						K media	8,80

Tabla 38: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Los Palillos, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	39	67	73	83	85	103	9,05
08/09	39	58	72	81	83	91	10,12
08/09	36	55	72	78	82	90	9,56
08/09	35	52	64	77	79	86	9,90
08/09	35	49	60	74	77	85	9,70
08/09	34	47	56	71	74	85	9,70
08/09	34	44	56	66	71	83	9,87
08/09	30	42	55	56	61	83	8,58
08/09	29	40	40	48	60	82	8,48
08/09	27	37	38	48	59	82	7,89
						K media	9,28

Tabla 39: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Malpaso, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	87	125	159	189	287	301	6,90
08/09	81	103	104	178	181	301	6,47
08/09	77	89	96	142	177	254	7,27
08/09	77	89	89	125	171	252	7,33
08/09	60	83	86	118	134	181	7,98
08/09	58	82	84	104	129	181	7,71
08/09	52	71	82	103	105	172	7,21
08/09	42	66	72	87	105	141	7,07
08/09	40	66	71	84	104	135	7,05
08/09	39	57	70	77	104	135	6,98
						K media	7,20

Tabla 40: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Mazatepec, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	126	128	128	142	160	174	17,35
08/09	88	93	122	129	130	161	13,22
08/09	69	89	96	110	112	161	10,38
08/09	68	85	89	89	101	149	11,01
08/09	63	74	74	78	97	140	10,80
08/09	62	67	71	74	89	130	11,44
08/09	46	64	64	64	79	116	9,58
08/09	44	62	63	63	76	111	9,39
08/09	43	62	62	63	74	90	11,48
08/09	38	53	53	62	66	89	10,37
						K media	11,50

Tabla 41: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Mocúzari, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	96	96	96	96	163	326	7,06
08/09	57	58	58	82	163	326	4,20
08/09	40	48	54	82	163	326	2,97
08/09	31	42	48	82	163	326	2,26
08/09	29	40	43	82	163	326	2,12
08/09	25	38	42	82	163	326	1,84
08/09	23	38	41	82	163	326	1,71
08/09	22	37	41	82	163	326	1,64
08/09	22	31	41	82	150	200	2,67
08/09	22	27	41	82	113	150	3,55
						K media	3,00

Tabla 42: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Moctezuma, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	109	133	133	133	133	133	19,73
08/09	51	52	53	62	64	133	9,14
08/09	38	49	50	62	64	76	11,89
08/09	33	42	45	55	56	74	10,74
08/09	27	35	35	49	55	64	10,23
08/09	26	32	35	46	53	64	9,62
08/09	24	28	31	45	49	60	9,76
08/09	24	27	29	41	48	56	10,53
08/09	24	26	29	37	46	55	10,57
08/09	24	25	28	35	39	53	10,66
						K media	11,29

Tabla 43: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Novillo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	46	50	50	51	54	62	17,88
08/09	32	41	46	50	50	62	12,39
08/09	25	34	39	42	50	61	10,08
08/09	23	33	34	41	46	55	10,10
08/09	23	29	32	41	43	53	10,38
08/09	22	26	30	40	42	50	10,43
08/09	21	25	28	36	41	50	10,19
08/09	21	23	28	35	36	49	10,11
08/09	20	23	28	30	35	48	10,05
08/09	19	23	26	30	33	48	9,55
						K media	11,12

Tabla 44: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Cristóbal Obregón, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	55	73	82	122	210	332	4,00
08/09	48	58	80	118	206	264	4,37
08/09	40	57	79	111	181	246	3,95
08/09	40	56	69	109	171	234	4,14
08/09	38	54	68	109	168	228	4,04
08/09	37	52	67	108	151	210	4,24
08/09	36	49	64	94	144	204	4,23
08/09	35	49	62	93	137	199	4,18
08/09	33	49	59	93	131	193	4,14
08/09	31	48	59	92	125	193	3,87
						K media	4,12

Tabla 45: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Ocoatepec, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	97	104	154	303	399	425	5,48
08/09	69	97	97	97	104	417	3,99
08/09	66	91	91	97	97	97	16,26
08/09	40	56	56	91	97	97	9,92
08/09	40	46	46	56	92	97	9,80
08/09	37	42	43	47	60	93	9,46
08/09	28	39	41	47	56	87	7,85
08/09	26	36	39	46	54	78	7,88
08/09	24	34	37	41	53	71	8,12
08/09	22	31	34	39	51	68	7,63
						K media	8,64

Tabla 46: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Oviachic, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	67	88	90	90	90	90	17,93
08/09	37	50	55	64	66	90	9,78
08/09	35	39	40	64	64	69	12,23
08/09	27	32	38	43	60	67	9,72
08/09	25	31	34	39	44	61	9,88
08/09	25	29	33	37	42	55	10,84
08/09	20	28	31	34	41	44	10,97
08/09	20	26	30	34	35	44	10,76
08/09	19	21	29	33	33	42	10,53
08/09	18	20	26	33	33	42	10,13
						K media	11,28

Tabla 47: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Panches, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	29	31	43	60	62	66	10,43
08/09	25	31	35	50	51	54	10,85
08/09	19	29	34	38	39	51	8,67
08/09	17	29	30	38	38	49	8,25
08/09	17	27	29	35	36	45	8,85
08/09	16	26	29	33	35	45	8,57
08/09	16	25	29	32	33	41	9,37
08/09	16	24	29	31	32	38	10,03
08/09	16	24	28	31	31	36	10,25
08/09	16	21	28	29	30	35	10,51
						K media	9,58

Tabla 48: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Papalutla, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	80	101	109	176	352	703	2,72
08/09	46	64	88	176	352	703	1,56
08/09	44	59	88	176	352	703	1,50
08/09	43	59	88	176	352	703	1,48
08/09	32	59	88	176	352	703	1,08
08/09	31	59	88	176	266	615	1,22
08/09	30	59	88	116	264	266	2,71
08/09	29	59	74	88	126	158	4,44
08/09	29	53	72	82	126	158	4,44
08/09	29	49	50	76	121	145	4,86
						K media	2,60

Tabla 49: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Peñitas, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	37	38	45	49	49	49	18,38
08/09	21	32	39	39	39	49	10,17
08/09	20	30	31	32	35	46	10,09
08/09	17	28	28	29	34	45	9,17
08/09	14	21	24	28	32	45	7,60
08/09	14	17	22	26	30	41	7,96
08/09	13	17	20	25	28	39	7,75
08/09	12	15	17	24	26	36	8,22
08/09	12	15	15	21	25	35	8,11
08/09	12	12	14	19	22	34	8,30
						K media	9,58

Tabla 50: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Paso Nácori, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	67	87	120	239	479	623	2,60
08/09	50	80	107	108	325	604	1,99
08/09	49	65	81	106	151	192	6,10
08/09	49	60	68	89	151	192	6,09
08/09	44	58	66	89	131	160	6,53
08/09	43	58	63	88	120	142	7,29
08/09	43	54	62	86	108	142	7,17
08/09	42	52	57	81	101	130	7,69
08/09	40	49	54	81	101	123	7,81
08/09	39	47	53	80	99	118	7,86
						K media	6,11

Tabla 51: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Rómulo Calzada, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	216	380	424	473	482	498	10,40
08/09	64	70	70	88	88	487	3,15
08/09	51	64	64	72	83	103	11,93
08/09	38	53	56	64	73	88	10,42
08/09	35	51	53	62	66	88	9,59
08/09	31	45	51	61	64	84	8,90
08/09	31	39	49	52	62	84	8,81
08/09	27	35	47	51	53	73	8,79
08/09	26	34	43	49	52	72	8,58
08/09	25	31	39	42	51	68	8,94
						K media	8,95

Tabla 52: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA 27 de Septiembre, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	48	67	76	79	79	85	13,44
08/09	47	48	48	50	50	79	14,26
08/09	34	34	38	49	50	60	13,46
08/09	30	31	34	48	48	50	14,55
08/09	26	31	31	44	48	48	12,79
08/09	25	30	31	39	46	48	12,20
08/09	23	29	30	34	44	48	11,50
08/09	20	26	29	32	36	46	10,18
08/09	19	25	26	31	34	46	10,00
08/09	17	25	25	30	33	45	9,17
						K media	12,16

Tabla 53: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Antonio, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	39	57	65	67	67	68	13,60
08/09	31	51	52	54	57	68	11,08
08/09	26	36	48	53	54	67	9,31
08/09	23	35	41	49	53	63	8,75
08/09	23	30	38	41	51	60	8,98
08/09	22	29	32	41	48	60	8,68
08/09	21	28	30	39	47	58	8,47
08/09	19	25	29	39	46	57	7,75
08/09	18	23	28	36	44	54	8,03
08/09	17	23	26	35	44	53	7,89
						K media	9,25

Tabla 54: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Cristóbal de las Casas, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	67	70	72	76	80	87	18,55
08/09	50	59	67	72	77	80	15,06
08/09	45	58	63	72	75	77	14,00
08/09	38	55	61	70	75	77	11,91
08/09	37	54	58	69	72	75	12,02
08/09	34	52	57	69	72	74	10,98
08/09	34	51	54	63	69	74	10,97
08/09	34	46	54	60	69	73	11,09
08/09	33	44	54	59	64	72	11,09
08/09	32	44	49	59	60	69	11,16
						K media	12,68

Tabla 55: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Cristóbal, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	50	51	51	51	51	55	21,95
08/09	43	44	44	49	50	54	19,25
08/09	35	40	40	44	44	50	16,86
08/09	32	39	39	39	39	50	15,52
08/09	27	38	38	39	39	50	13,01
08/09	21	32	35	38	39	49	10,30
08/09	21	29	32	38	38	44	11,35
08/09	19	25	28	35	36	40	11,58
08/09	18	24	28	33	35	40	10,82
08/09	17	24	27	32	34	39	10,43
						K media	14,11

Tabla 56: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA San Juan, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	65	91	108	151	208	306	5,10
08/09	56	88	101	113	156	231	5,78
08/09	52	76	94	110	141	208	6,04
08/09	52	73	88	108	141	183	6,84
08/09	47	68	85	108	115	183	6,22
08/09	47	65	72	94	114	150	7,45
08/09	44	61	71	94	113	142	7,37
08/09	42	59	69	91	113	142	7,17
08/09	41	54	68	91	107	137	7,13
08/09	41	53	65	90	105	134	7,28
						K media	6,64

Tabla 57: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sayula, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	85	86	88	92	105	105	19,39
08/09	36	47	51	90	92	93	9,25
08/09	23	29	32	49	73	86	6,53
08/09	21	24	28	42	70	84	5,92
08/09	12	20	25	40	69	83	3,42
08/09	10	15	21	36	58	82	2,88
08/09	8	14	19	36	54	77	2,37
08/09	7	14	17	34	54	73	2,38
08/09	7	13	16	29	50	66	2,47
08/09	5	10	15	29	38	66	1,86
						K media	5,65

Tabla 58: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Santo Domingo, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	57	90	111	161	188	214	6,33
08/09	37	43	96	140	175	186	4,74
08/09	33	41	54	62	89	138	5,66
08/09	31	41	47	56	80	123	6,05
08/09	27	40	42	56	56	97	6,68
08/09	26	38	41	50	51	70	8,97
08/09	26	38	39	50	50	58	10,61
08/09	24	31	38	47	47	56	10,34
08/09	24	31	38	44	45	53	10,96
08/09	23	31	37	42	44	52	10,90
						K media	8,12

Tabla 59: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sierra Morena, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	94	108	108	149	299	598	3,76
08/09	89	93	93	149	299	503	4,23
08/09	68	68	75	112	204	450	3,63
08/09	56	56	75	93	144	288	4,67
08/09	45	50	68	76	144	288	3,78
08/09	40	50	56	72	144	288	3,33
08/09	31	46	49	72	113	113	6,56
08/09	26	45	47	72	108	108	5,67
08/09	25	42	47	72	93	100	6,04
08/09	25	37	46	68	84	95	6,33
						K media	4,80

Tabla 60: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Sanalona, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.

	60'	120'	180'	360'	720'	1440'	k
08/09	61	72	79	79	79	83	17,75
08/09	56	66	70	79	79	80	16,97
08/09	45	54	60	71	71	79	13,68
08/09	45	49	56	66	71	71	15,13
08/09	42	48	52	62	68	68	14,85
08/09	40	45	48	53	63	63	15,16
08/09	37	44	46	50	53	54	16,42
08/09	35	35	45	46	50	50	16,53
08/09	35	35	39	45	46	50	16,73
08/09	31	35	36	44	45	49	15,24
						K media	15,84

Tabla 61: Precipitaciones máximas (mm) de la EMA Santa Rosa, para las distintas duraciones, durante los años 2008 y 2009, y el valor del parámetro K.