



DESASTRES ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

**Joel F. Audefroy
Raymundo Padilla Lozoya**
Coordinadores



DESASTRES ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

**Joel F. Audefroy
Raymundo Padilla Lozoya**
Coordinadores

551.57 Audefroy, Joel F.
A84 Desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos / Joel Francis Audefroy y Raymundo Padilla Lozoya, Coordinadores. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2018.

260 p.

ISBN 978-607-9368-99-9

1. Hidrometeorología 2. Desastres 3. Reducción de riesgo de desastre
4. Vulnerabilidad.

Coordinadores:

Joel F. Audefroy
Raymundo Padilla Lozoya

Edición:

Gema Alín Martínez Ocampo
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Diseño:

Gema Alín Martínez Ocampo

Ilustración de portada:

Joel F. Francis Audefroy

Foto de contraportada:

"*Balneario El Paraíso, Colima, invade el mar*"
Cortesía de Raymundo Padilla Lozoya

Primera edición: 2018

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
México
www.imta.gob.mx

REDESClim

Centro de Ciencias de la Tierra
Calle Francisco J. Moreno 207
Col. E. Zapata
CP 91090, Xalapa, Ver.
México
<http://www.REDESClim.org.mx/>

ISBN 978-607-9368-99-9

Fotografías de entrada de capítulo:

<https://www.freepik.es/> • www.freeimages.com y <https://pixabay.com/es/>
A excepción del capítulo 9: Cortesía de Gema Alín Martínez Ocampo

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los coordinadores.

Hecho en México

Comité Científico Nacional:

Juan Manuel Rodríguez Estevez

(El Colegio de la Frontera Norte)

Martha Micheline Cariño Olvera

(Universidad Autónoma de Baja California Sur)

Walter Zúñiga Castillo

(Instituto Municipal de Investigación
y Planeación de Ensenada)

Raymundo Mayorga Cervantes

(Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura,
Intituto Politécnico Nacional)

Luis M. Farfán Molina

(Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada)

Salvador Adame Martínez

(Universidad Autónoma del Estado de México)

Laura Elena Ruiz Meza

(Universidad Nacional Autónoma de México)

Naxhelli Ruiz Rivera

(Universidad Nacional Autónoma de México)

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
RESPUESTAS INSTITUCIONALES Y POLÍTICAS FRENTE A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS	13
PRIMERA PARTE	
1. POLÍTICAS DE PREVENCIÓN DE DESASTRES ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN MÉXICO (2004-2013) <i>Urania López Cerdán y Ana Cecilia Travieso Bello</i>	15
1.1. Resumen	
1.2. Introducción	16
1.3. Métodos	17
1.4. Resultados y discusión	18
1.5. Conclusiones	28
1.6. Agradecimientos	29
1.7. Referencias	29
2. PERFIL DEL SERVIDOR PÚBLICO AMBIENTAL EN VERACRUZ <i>Carolina A. Ochoa- Martínez, Gladis Yañez-Garrido, Sara Ibarra-Zavaleta, Carlos M. Welsh-Rodríguez, Juan Carlos López Acosta</i>	33
2.1. Resumen	33
2.2. Introducción	34
2.3. Vulnerabilidad y Cambio Climático	35
2.4. Resultados y discusión	41
2.5. Conclusiones	47
2.6. Referencias	48
3. GOBERNANZA Y POLÍTICA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO: LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO <i>Miguel Moreno Plata</i>	51
3.1. Resumen	
3.2. Introducción	52
3.3. La gobernanza y los problemas socio-ambientales contemporáneos	53
3.4. El pluralismo jurídico, la gobernanza ambiental y del cambio climático	57
3.5. Los arreglos institucionales y la gobernanza climática en México	61
3.6. Conclusiones	67
3.7. Referencias	68

SEGUNDA PARTE

MONITOREO Y ANÁLISIS DE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS	71
4. VALORACIÓN DEL RIESGO EN UN MODELO MULTINIVEL DE SUMINISTROS ANTE CONTEXTOS DE DESASTRE ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEREOLÓGICOS	73
<i>Jesús Escalante Euán Josep, Casanovas-García, Luis Carlos G. Cantón, Castillo Alan García, Lira Marcelino García Benítez</i>	
4.1. Resumen	73
4.2. Antecedentes	74
4.3. Introducción	75
4.4. Revisión de la literatura	79
4.5. Modelos para la cuantificación del riesgo	79
4.6. Metodología	80
4.7. Resultados	82
4.8. Conclusiones	87
4.9. Referencias	87
5. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS TEMPERATURAS Y LLUVIAS EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL LOCAL Y REGIONAL.	91
<i>Gutiérrez-Ruacho, Oscar Gerardo; Brito-Castillo, Luis; Ortega-Rosas, Carmen Isela, Villarruel-Sahagún, Leopoldo; Macías-Duarte, Alberto; Jiménez-Lagunes, Alejandro</i>	
5.1. Resumen	91
5.2. Introducción	92
5.3. Metodología	94
5.4. Resultados y discusión	101
5.5. Referencias	117
6. CLIMA URBANO: MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR Y SU INCORPORACIÓN AL PROCESO DE PLANEACIÓN URBANA. EL CASO DE MEXICALI, B.C.	121
<i>Jorge Villanueva-Solis</i>	
6.1. Resumen	121
6.2. Introducción	122
6.3. Método e información	126
6.4. Resultados	136
6.5. Conclusiones	144
6.6. Referencias	145

TERCERA PARTE

RESPUESTAS SOCIALES A EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN ZONAS COSTERAS	149
7. PRÁCTICAS HISTÓRICAS DE ALERTAMIENTO Y PROTECCIÓN ANTE HURACANES EN BAJA CALIFORNIA SUR	151
<i>Raymundo Padilla Lozoya</i>	
7.1. Resumen	151
7.2. Introducción a la conceptualización de las prácticas	152
7.3. Metodología	154
7.4. Resultados	160
7.5. Observación y percepción del medio ambiente	163
7.6. Conclusiones	168
7.7. Referencias	169

8. LA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO LOCAL PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: EL CASO DE LA COSTA YUCATECA	173
<i>Joel F. Audefroy, Bertha Nelly Cabrera Sánchez</i>	
8.1. Resumen	173
8.2. Introducción	174
8.3. Objetivos y metas	175
8.4. Elementos de metodología	175
8.5. Marco conceptual	176
8.6. Resultados	181
8.7. Conclusiones y discusión	196
8.8. Referencias	199
9. FAMILIA, VULNERABILIDAD Y POBREZA EN UNA COMUNIDAD RURAL DE YUCATÁN	203
<i>Denise Soares y Cecilia Sandova</i>	
9.1. Resumen	203
9.2. Un breve acercamiento a la vulnerabilidad	203
9.3. Un acercamiento a la zona de estudio	207
9.4. Metodología	209
9.5. Resultados: vulnerabilidad familiar en Ixil	215
9.6. Conclusiones	224
9.7. Referencias	225
10. TIPOS DE ASISTENCIA DURANTE Y TRAS LOS DESASTRES ASOCIADOS A FENÓMENOS NATURALES O ANTRÓPICOS	229
<i>Gabriel Angelotti Pasteur</i>	
10.1. Resumen	229
10.2. Introducción	230
10.3. Motivos y conductas durante los desastres	231
10.4. Tipos de comportamientos y conductas prosocial, altruista y de ayuda	232
10.5. La ayuda convertida en "apoyo"	234
10.6. Tipología de ayuda durante los desastres	235
10.7. Formas negativas de ayuda	242
10.8. Comentarios finales:	249
10.9. Referencias	250
11. De los Coordinadores	255
Contenido de figuras	257
Contenido de cuadros	259

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS TEMPERATURAS Y LLUVIAS EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL LOCAL Y REGIONAL.

Gutiérrez-Ruacho, Oscar Gerardo¹⁷; Brito-Castillo, Luis^{18*}; Ortega-Rosas, Carmen Isela¹⁹, Villarruel-Sahagún, Leopoldo²⁰; Macías-Duarte, Alberto²¹; Jiménez-Lagunes, Alejandro²² Casanovas-García, Luis Carlos²³.

*Autor de correspondencia: lbrito04@cibnor.mx

5.1. Resumen

La ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora, es una de las 10 ciudades más cálidas del mundo. Su ubicación en el desierto sonorense le confiere condiciones áridas. El evidente incremento de temperaturas en los años recientes posiciona a esta región como altamente vulnerable. Este trabajo analiza la variabilidad diaria y estacional de temperaturas y lluvias en esta ciudad y en sus alrededores, haciendo énfasis en el gradiente térmico hacia el mar. Se instaló una red de 21 pluviómetros y 13 sensores de temperatura dentro y fuera de la zona urbana. Adicionalmente se analizan datos de calidad del aire (tanto PST como partículas de polen y esporas). Los datos también muestran la existencia de la isla urbana de calor, la gran variabilidad de las lluvias de verano y la homogeneidad de las lluvias de invierno que ocasionan diferencias marcadas en la calidad del aire. Estos datos actualmente se están capturando en tiempo real pero se pretende que en corto plazo estén disponibles a la población y a los tomadores de decisiones del municipio de Hermosillo, esperando sean útiles para evaluar, prevenir y mitigar los efectos adversos de potenciales eventos extremos en la población.

Palabras clave: vulnerabilidad, calentamiento global, calidad ambiental, isla urbana de calor.

17 Universidad Estatal de Sonora. Ley Federal del Trabajo S/N. Colonia Apolo. C. P 83100 Hermosillo, Son.

18 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Camino al Tular Km. 2.35, Estero De Bacochibampo, Las Villas, 85454, Heroica Guaymas, Son.

19 Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora. Pbro. Pedro Villegas Ramírez 51, Casa Blanca, 83079, Hermosillo, Son.

20 idem

21 idem

22 idem.

23 idem.

5.2. Introducción

5.2.1. Características de las lluvias en la zona urbana de Hermosillo

La ocurrencia de lluvias en zonas áridas y semiáridas es errática y altamente variable. Entre más árida es la región estas características se vuelven más notorias. La posición geográfica de Sonora es consistente con las condiciones típicas de zonas áridas del planeta, que se encuentran distribuidas alrededor de los 30° de Latitud en ambos hemisferios. A estas latitudes, se localizan dos sistemas semipermanentes de alta presión superficiales, la Alta del Pacífico nororiental y la Alta de las Bermudas, que cambian de posición e intensidad conforme avanzan las estaciones y afectan de manera considerable al clima de Sonora (Brito-Castillo et al., 2010). En invierno, por ejemplo, el vórtice superficial de la celda del Pacífico se localiza a unos 135° de longitud oeste y 30° de latitud norte. Esta posición facilita la entrada de vientos del norte y el movimiento hacia el sur de las masas de aire polar que al atravesar el Pacífico contribuyen a la generación de lluvias frontales que son características de la temporada invernal, particularmente en la porción noroccidental de México y en las zonas altas de la Sierra Madre Occidental (Brito-Castillo, 2003). En verano, el vórtice superficial de la Alta del Pacífico se localiza a 150° de longitud oeste y 40° de latitud norte. Este desplazamiento hacia el norte está en sincronía con los cambios estacionales y el gradiente de temperaturas entre el polo y las regiones ecuatoriales, y favorece el transporte de los sistemas tropicales en el mismo sentido. El incremento en la convección y de transporte vertical en la atmósfera, que es inducida por el contraste térmico entre el mar y el continente en verano (Turrent y Cavazos, 2009), da lugar a la generación de lluvias que se desplazan desde las regiones tropicales hacia el noroeste de México cambiando de manera abrupta las condiciones de Sonora, de ser secas en mayo y junio a húmedas a finales de junio y principios de julio.

Las lluvias de verano pueden afectar de manera considerable a las zonas urbanas de las regiones áridas, que pueden estar acompañadas de descargas eléctricas producidas por los relámpagos. Un deficiente drenaje superficial y una red hidráulica cuyas alcantarillas están obstruidas por escombros y basura son condiciones que favorecen los encharcamientos y las inundaciones que pueden ser muy dañinas en zonas altamente pobladas, como la ciudad de Hermosillo, capital de Sonora, que se ha convertido en uno de los centros económicos más importantes del noroeste de México (Pineda-Pablos et al., 2012). Por lo tanto, aún cuando hay escasez de agua en Hermosillo, la ocurrencia de tormentas repentinas, con lluvias abundantes, puede provocar

inundaciones severas en la ciudad afectando la infraestructura y la integridad de las personas. El contraste entre condiciones de escasez de agua e inundaciones repentinas en la ciudad de Hermosillo es una condición que, al parecer, está aumentando en los últimos años, favorecido por la ocurrencia de lluvias que superan los 50 mm en 24 hrs. Nuestro interés es tratar de entender si los eventos de lluvia con volúmenes suficientes para provocar inundaciones en la ciudad se producen con un patrón espacial definido, es decir, averiguar si algunos sectores de la ciudad son más propensos a recibir eventos de lluvia de gran magnitud que otros, o si la ocurrencia de tales eventos es puramente aleatoria, sin un patrón bien definido.

5.2.2. Las temperaturas de Hermosillo

La mayor parte de Sonora está incluida en el desierto sonorense (Shreve y Wiggins 1951) , en el que ocurren veranos muy calurosos. Está documentado que las temperaturas máximas en Sonora se están incrementando a un ritmo mayor que las temperaturas mínimas (Englehart y Douglas, 2005). Aunque no es claro todavía la contribución que tiene el incremento de los gases de invernadero en la atmósfera en el calentamiento regional, se cree que los cambios en el uso del suelo y la reducción de la cubierta vegetal provocan que la temperatura del suelo se eleve promoviendo el alza de las temperaturas. (Brito-Castillo *et al.*, 2010).

La ciudad de Hermosillo ha propiciado con su constante crecimiento una modificación sustancial de sus condiciones térmicas desarrollando una isla de calor urbana que se puede detectar mediante el uso de imágenes de satélite o mediante observaciones *in situ*. La manifestación más importante de este fenómeno es el aumento de la temperatura en el área urbana como efecto de los cambios en su entorno (Fernández-García, 2012).

La isla de calor ya se ha documentado en México por diversos autores en ciudades como México (Jáuregui) y Mexicali (García-Cueto) entre otras. Hasta ahora no se han reportado observaciones directas de temperaturas en Hermosillo. En este apartado discutimos algunas de sus características.

5.2.3. La contaminación atmosférica en Hermosillo

En la región central del desierto Sonorense, donde se encuentra ubicada la ciudad de Hermosillo, es una zona que ha tenido periodos de sequía muy prolongados con altos grados de contaminación atmosférica por partículas suspendidas de polvo y polen (Castillo-Ramos, 2010).

Los estudios sobre la incidencia de polen en la atmósfera, para el Estado de Sonora son escasos. Moreno-Sarmiento (2009) realizó un monitoreo aerobiológico en un periodo de un año (enero-diciembre) en Ciudad Obregón con un captador volumétrico tipo Hirst, basándose en la metodología de la Red Española de Aerobiología. Recientemente se han desarrollado dos tesis de licenciatura (Amaya-García 2014; Amador-Rosas y Domínguez-Romo, 2015), quienes analizan la calidad biológica del aire durante el 2013 y 2014 para la ciudad de Hermosillo. Sin embargo el centro del país este tipo de investigación ha tenido un mayor auge y se ha venido monitoreando la ciudad de México y zonas circunvecinas desde hace más de 10 años (Calderón-Ezquerro et al., 2015). Para el Norte del país se ha realizado algunos trabajos en la zona metropolitana de Monterrey, N.L (Rocha-Estrada et al., 2008; Rocha-Estrada, et al., 2013).

Debido a la importancia de este tema en el sector salud y a la escasa información para Sonora, este estudio aporta datos relevantes de la variedad polínica dominante y su incidencia con respecto a variables ambientales que condicionan su comportamiento; se analizó la influencia de los parámetros meteorológicos sobre la presencia y abundancia del polen; se determinó la composición de taxones de granos de pólenes y se cuantificó la concentración de estos taxones y se comparó con las PST, reportando así su variación estacional en la atmósfera.

5.3. Metodología

5.3.1. Pluviómetros

En el verano de 2013, con apoyo de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim), y en colaboración entre el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB), el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora (CESAVESON) y la Universidad Estatal de Sonora (UES), se instaló una red de monitoreo de precipitación en la zona urbana de Hermosillo (SIMPRES), compuesta por una red de 21 pluviómetros (Figura 5.1). Adicionalmente se diseñó un sistema informático el cual se compone de un sitio web y una aplicación móvil para la colecta de datos. El sitio web se encuentra disponible en <http://siafeson.is-gone.com/simpre.php/user/login>. Para ingresar al sitio web se debe contar con un nombre de usuario y una contraseña, ya que por el momento los datos y su procesamiento no son de acceso público.

5.3.2. Calidad de los datos

Cada pluviómetro es un instrumento de precisión que consta de tres componentes: 1) un recipiente cilíndrico, 2) un tubo de medición con capacidad para una pulgada (25.4 mm), calibrado para realizar observaciones de hasta 0.01 pulgadas (0.254 mm), y 3) un embudo que se une al recipiente cilíndrico, y cuya boca conduce el agua de lluvia hacia el tubo de medición. Cada pluviómetro está nivelado y fijo a un pared libre de obstáculos que interfieran con la lluvia. Las lecturas se realizan de forma manual y se transmiten vía celular al sitio web de acopio de datos donde se procesa la información de manera automática. En cada ocurrencia de lluvia, personal capacitado se dirige hacer las lecturas. La hora de lectura en cada pluviómetro puede estar desfasada, pero esto no provoca errores significativos ya que el recipiente de plástico evita pérdidas por evaporación. Esto es particularmente importante ya que las temperaturas de verano en Hermosillo pueden alcanzar los 50 °C o más a la sombra. Cabe mencionar que los registros se hacen por día y el tiempo de recorrido para todos los pluviómetros es de aproximadamente cuatro horas. Puesto que los instrumentos son manuales y se encuentran instalados en los hogares de personas cooperantes, hubo ocasiones en las que no fue posible llegar a algunos pluviómetros, esto ocurrió principalmente al inicio de operación de la red. También cabe mencionar que en algunos lugares los pluviómetros fueron vandalizados y por lo tanto retirados, el motivo por lo que hay datos faltantes en los registros.

5.3.3. Evento de lluvia

Para los fines de este trabajo, un *evento de lluvia* es aquel en el que se registra lluvia en uno o más días de manera consecutiva. Por la naturaleza de las lluvias, puede haber lapsos de interrupción de un día para otro, pero si llueve en un día y vuelve a llover al día siguiente, el evento se considera desde el primero hasta el último día de lluvia consecutiva. Si esto no ocurre, entonces el evento será de un solo día. Esto tiene sentido, ya que si llueve por más de un día, la acumulación de lluvia puede aumentar debido a la saturación del suelo. En la Figura 5.1, se muestra la ubicación de todos los pluviómetros (círculos pequeños), y aquellos en los que se registraron más de 30 eventos (círculos con un punto central), en el periodo del 3 de julio de 2013 al 08 de marzo de 2016. La Figura 5.2 muestra las ocurrencias individuales de lluvia en todos los pluviómetros para el mismo periodo. La ocurrencia de las lluvias registradas, su intensidad y frecuencia es consistente entre el grupo de pluviómetros. Obsérvese que durante el periodo indicado hubo lluvias individuales que superaron los 50 mm en 24 hrs. Un resumen del número de eventos registrados en cada pluviómetro se muestra en el Cuadro 5.1 Los pluviómetros en los que hubo mayores fallas para realizar los registros fueron CIB06; CIB07; CIB14; CIB15 y CIB19, cada uno con menos de 30 eventos registrados.

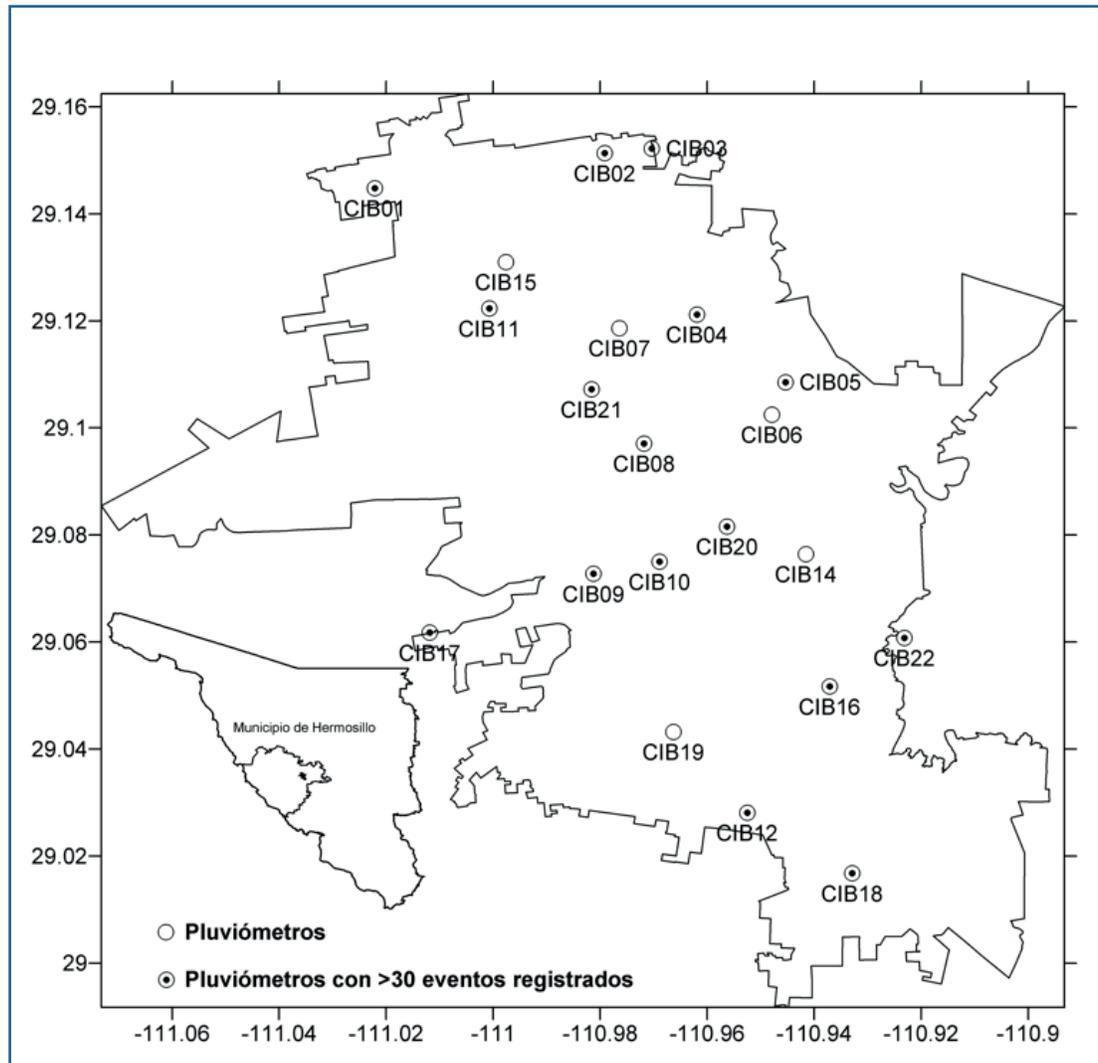


Figura 5.1. Transacciones por cada nivel de suministro

Cuadro 5.1. Número de eventos de lluvia registrados en los pluviómetros de la red SIMPREH

Pluviómetro	Eventos	Pluviómetro	Eventos	Pluviómetro	Eventos
CIB01	39	CIB08	39	CIB16	37
CIB02	48	CIB09	45	CIB17	45
CIB03	48	CIB10	36	CIB18	44
CIB04	42	CIB11	40	CIB19	07
CIB05	37	CIB12	48	CIB20	48
CIB06	19	CIB14	12	CIB21	48
CIB07	13	CIB15	10	CIB22	41

SIMPREH = Sistema de Monitoreo de Precipitación en Hermosillo

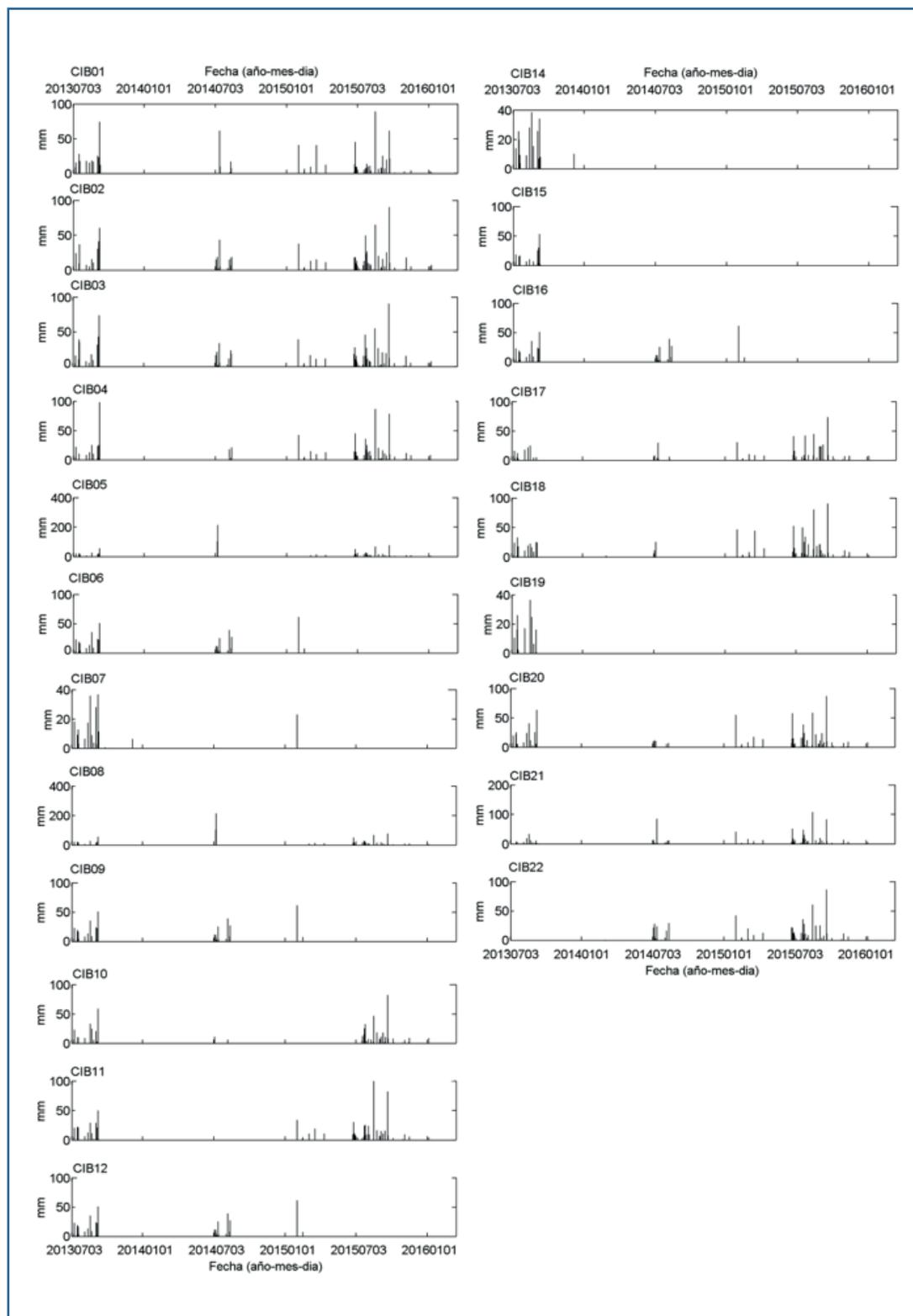


Figura 5.2. Series de tiempo de lluvia diaria (mm), registradas en los pluviómetros instalados en la zona urbana de Hermosillo, para el período del 3 de julio de 2013 al 8 de marzo de 2016.

5.3.4. Sensores de temperatura

Para poder describir las oscilaciones de temperatura en la zona urbana de Hermosillo se instaló en la ciudad una red de sensores de la marca Thermotrack, los cuales se programaron para que registraran cada 30 minutos (48 registros por día). Los datos se recolectaron aproximadamente cada 2 meses para evitar la saturación de la memoria disponible con capacidad de aproximadamente 4000 registros.

Los registros comenzaron el 6 febrero de 2015 y finalizaron alrededor del 11 de mayo de 2016. Para efectos de este análisis se consideraron los meses completos los cuales comprendieron desde marzo de 2015 a abril de 2016. Por lo que se tiene un total de 14 meses cuantificados y analizados.

Los sensores fueron estratégicamente dispuestos para registrar la temperatura de sitios en ambientes eminentemente urbanos con 8 sensores dentro de la ciudad (ver Figura 5.3). Se dispusieron 3 en la periferia de Hermosillo fuera de la mancha urbana y 2 más se instalaron a 50 y 100 km (en Miguel Alemán y en Bahía Kino, respectivamente), con el fin de identificar el gradiente costero que se presenta. En el Cuadro 5.2 se presentan las coordenadas y altitud de cada sitio.

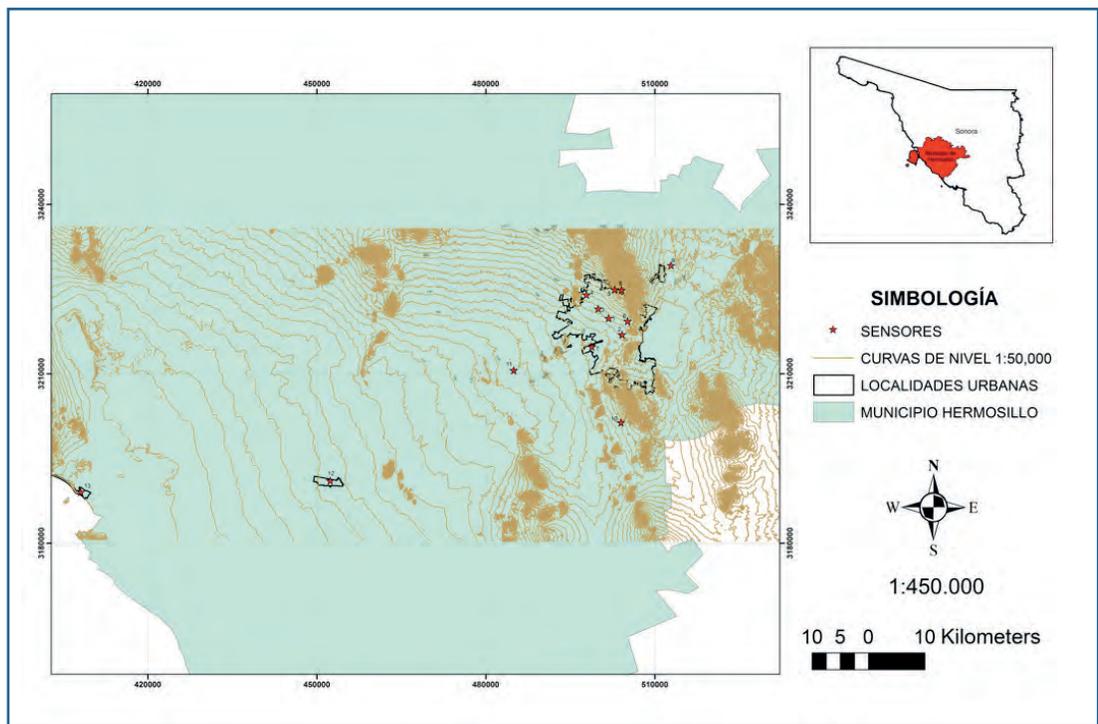


Figura 5.3. Ubicación de los sensores de temperatura con curvas de nivel.

Cuadro 5.2. Ubicación de sensores de temperatura

Sensor	Latitud norte	Longitud oeste	Identificador	Altitud (m)
Urbanos				
S1	29.1072	110.9815	Marco Martínez	215
S2	29.0811	110.9569	Marco Gutiérrez	215
S3	29.1223	111.0007	Marcelo Gurrola	215
S4	29.1448	111.0219	Ma. de los Ángeles	230
S5	29.1529	110.9705	Fam. Chávez	285
S6	29.1026	110.9468	Templo	225
S7	29.0617	111.0118	Villa Bonita	185
S8	29.1518	110.9578	Carlos Enciso	335
Periferia				
S9	29.1918	110.8675	Lidia Irene	255
S10	28.9405	110.9590	Salida Guaymas	215
S11	29.0238	111.1544	Salida Kino	145
Aledaños				
S12	28.8467	111.4880	Miguel Alemán	65
S13	28.8261	111.9420	Bahía Kino	5

La hora indicada en cada sensor es la del meridiano de Greenwich u hora Zeta (GMT), pero para fines de este trabajo se corrigió para que fuera consistente con la hora local. Las series de tiempo en cada sensor para el periodo indicado, fueron procesadas para obtener la variabilidad diaria, mensual y anual.

Los análisis se hicieron en periodos mensuales considerando solo aquellos que tenían mas del 79% de datos. Los que no cumplían con este requisito no fueron considerados en el análisis.

Se realizó una regresión local (Cleveland et al. 1992) con el paquete *stats* del programa *R* (R Development Core Team 2015) para estimar la curva suavizada ($y(t)$) que describe la relación funcional entre temperatura (y) y fecha (t).

5.3.4.1. Muestreo de calidad del aire

El muestreo aerobiológico (Polen y Esporas) y de Partículas Suspendidas Totales (PST) se realizó en el noroeste de la ciudad de Hermosillo, los datos presentados aquí corresponden al periodo de Octubre 2013 a Octubre 2014; para partículas biológicas se utilizó un captador volumétrico tipo Hirst (Burkard Manufacturing Co., Rickmansworth, Hersts., UK) siguiendo la metodología estandarizada por la Red Española

de Aerobiología y la Red Mexicana de Aerobiología y para PST se utilizó un equipo de muestreo de Alto volumen perteneciente al programa de monitoreo de la calidad del aire del municipio de Hermosillo (PENCA), ambos equipos ubicados en la Universidad Estatal de Sonora.

Para correlacionar las variables ambientales (temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad y precipitación) con polen, esporas y PST de mayor incidencia y concentración. Los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la colonia "Misión del Sol" (29°7'26" N y 110°57'24" W) muy cercana al sitio de monitoreo.

5.3.4.2. Análisis Estadístico:

Análisis estadísticos—Se ajustaron modelos de regresión lineal múltiple (McCulloch et al., 2008) para las variables de respuesta (y): 1) partículas suspendidas totales (PST), 2) conteo de polen diario (polen) y 3) conteo diario de esporas (esporas). De esta forma, el modelo de regresión lineal múltiple está expresado por la ecuación:

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad \text{Ecuación 5.1}$$

donde μ_y es media de la variable de respuesta (pst, polen, o esporas), las x_i ($i = 1, 2, \dots, k$) son variables explicatorias y las β_i ($i = 1, 2, \dots, k$) son sus efectos o coeficientes de regresión, respectivamente. Las variables explicatorias incluidas en cada uno de los tres modelos de regresión múltiple fueron temperatura media diaria, temperatura mínima diaria, temperatura máxima diaria, humedad relativa diaria, velocidad de viento y precipitación diaria. Sin embargo, la variable temperatura media diaria fue eliminada de la matriz de datos para evitar los efectos de la colinealidad en el ajuste del modelo de regresión por estar fuertemente correlacionada ($r > 0.95$) con la temperatura mínima y la temperatura máxima diaria. Las variables de respuesta polen y esporas fueron sometidas a una transformación logarítmica después de un análisis de residuales, verificando la normalidad de los residuales después de la transformación con una prueba de Shapiro-Wilks. Se utilizó una prueba de Wald (McCulloch et al. 2008) para determinar la existencia de efectos reales de las variables explicatorias en ambos modelos, esto es, probar las hipótesis nulas $H_0: \beta_i = 0$. Se utilizó un nivel de confiabilidad $\alpha = 0.05$ para todas las pruebas de hipótesis estadísticas realizadas. Los análisis fueron realizados en el programa R (R Development Core Team, 2016)

5.4. Resultados y discusión

5.4.1. Precipitación

En total hubo 62 eventos de lluvia registrados en el período del 3 de julio de 2013 al 8 de marzo de 2016 en la zona urbana de Hermosillo. La duración, lluvia acumulada y densidad de pluviómetros que registraron cada evento se muestra en la Figura 5.4. Los eventos se muestran por orden de ocurrencia. La mayoría de los eventos tuvo una duración de un día, aunque algunos superaron los tres días de lluvia consecutiva (Figura 5.4a), pero no por eso fueron los que más lluvia acumulada registraron (compárese Figura 5.4a y Figura 5.4 c). El evento que más lluvia acumulada registró fue de 128 mm en dos días (evento No 25 en Figura 5.4c), 12 y 13 de septiembre de 2014. Desafortunadamente, no fue posible corroborar ni describir la cobertura de las lluvias acumuladas de este evento debido a que fue un solo pluviómetro (CIB09), en el que se tomó la lectura. En los otros casos, hubo al menos 10 pluviómetros en los que se tomaron las lecturas de los eventos (Figura 5.4b). Con el fin de describir la distribución de lluvia acumulada en la zona urbana de Hermosillo, se eligieron ocho eventos que por sus características (buena densidad de pluviómetros, magnitud y fecha de ocurrencia del evento) son representativos. En el Cuadro 5.3, se muestra la lluvia acumulada de cada evento seleccionado y que fue registrado en los pluviómetros, así como su fecha de ocurrencia, su número (respecto del total), la densidad de pluviómetros, los días de duración y la lluvia promedio de cada evento. Obsérvese que la amplitud (valor máximo menos valor mínimo) de los eventos es muy variable entre los sitios, y su magnitud no necesariamente corresponde con su duración. En las Figura 5.5 y Figura 5.6 se muestran los mapas de distribución de la lluvia en los ocho eventos seleccionados. La Figura 5.5, muestra eventos ocurridos en julio-septiembre de 2013 y enero de 2015, mientras que la Figura 5.6, muestra eventos de junio-septiembre de 2015, es decir, con los eventos seleccionados se cubren los veranos de 2013 y 2015 y el invierno de 2015. Cabe mencionar que los veranos de 2013 y 2015 fueron más lluviosos que el verano de 2014 (ver Figura 5.4). Como se puede observar en las Figura 5.5 y Figura 5.6, cada evento de lluvia muestra una distribución con un gradiente que varía en dirección noroeste-sureste con cambios en la parte media de la ciudad de suroeste a noreste. Esto es más evidente, por ejemplo en las Figs. 5b,c y Figura 5.6b-d. Los eventos muestran una gran variabilidad, donde la lluvia varía de manera abrupta, incluso entre pluviómetros que se encuentra relativamente cerca, por ejemplo, en el centro (Fig. 5a y Figura 5.6b) y el noreste (Figura 5.6c) de la ciudad, donde se registraron diferencias de hasta 30 mm entre los pluviómetros. El gradiente y la separación de las isoyetas indican que aunque el movimiento de las tormentas puede ser errático, su afectación muestra cla-

ras distinciones entre los sectores norte, sur y centro de la ciudad. El núcleo de lluvia (es decir, el máximo volumen acumulado) puede concentrarse en la parte media de la ciudad, como ocurrió durante los eventos de julio de 2013 (Fig. 5a); agosto de 2013 (Fig. 5d) y junio de 2015 (Figura 5.6a), o en el noreste (evento de septiembre de 2013, Fig. 5c), el sur (Fig. 5b) o al mismo tiempo en el norte como en el sureste (Figura 5.6b-d). Aunque los resultados muestran que hay distinciones entre la lluvia acumulada en el norte, centro y sur de la ciudad, para cada evento, estos todavía no son concluyentes. Esto obedece a la gran variabilidad de las lluvias y a lo corto de los registros. Sin embargo, otorgan una idea más clara del patrón de distribución de las lluvias dentro de la zona urbana, que es muy variable, y por lo tanto, indica que la aplicación de medidas preventivas ante eventos de diferente magnitud debe ser igualmente distinta.

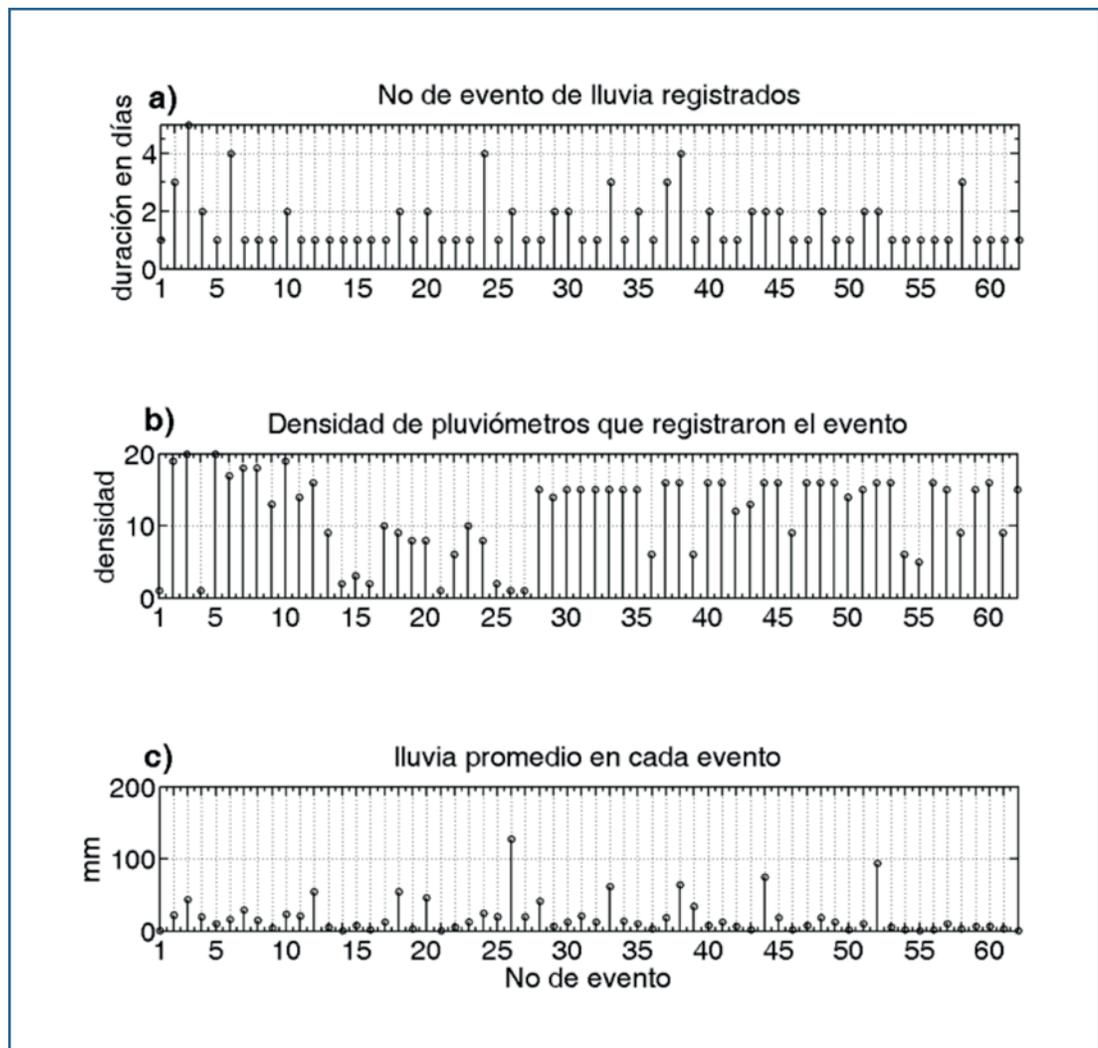


Figura 5.4. Eventos de lluvia registrados en la red de pluviómetros SIMPREH; a) duración en días de cada evento; b) densidad de pluviómetros que registraron el evento y c) lluvia promedio en cada evento.

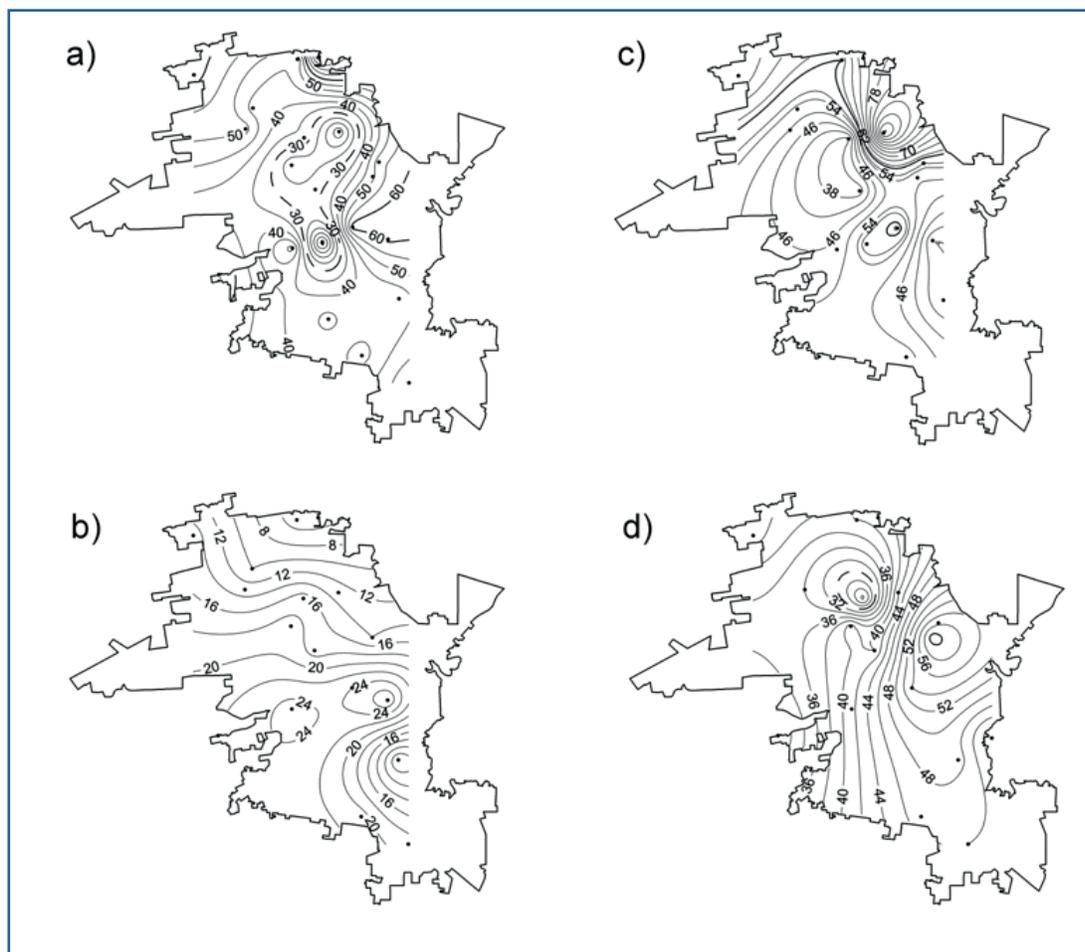


Figura 5.5. Lluvia acumulada durante cuatro eventos distintos: a) 16 a 20 de julio de 2013; b) 13 y 16 de agosto de 2013; c) 08 de septiembre de 2013 y d) 31 de enero de 2015.

5.4.2. Temperaturas.

5.4.2.1. Análisis de temperaturas máximas

El Cuadro 5.4 muestra los promedios de las temperaturas medias diarias agrupados por meses. De esta tabla se observa que las temperaturas máximas fluctuaron desde 22.16 °C en enero de 2016 (sensor 6), hasta 46.27 °C en agosto de 2015 (sensor 2). Se aprecia un periodo caliente de junio a agosto de 2015 en todos los sensores y un periodo con temperaturas frescas de noviembre de 2015 a febrero de 2016. También se aprecia que uno de los sitios mas fríos es Bahía de Kino (Sensor 13). Dentro de la zona urbana, el sensor 6 mostró las menores temperaturas máximas. El sitio más caliente, sobre todo en los primeros meses, lo registró el sensor 1. Otro sensor muy consistente

en temperaturas mas calientes fue el No. 2. En los sitios aledaños se encontró que el sensor 11 fue consistentemente caliente y con frecuencia incluso más caliente que dentro de la zona urbana.

Cuadro 5.3. Lluvia acumulada en ocho eventos seleccionados. Las primeras seis filas muestran, las fechas de inicio y fin del evento (formato año-mes-día); el número de evento; la duración (días); la densidad (número de pluviómetros que registraron el evento) y la lluvia acumulada promedio del evento, derivada como la media de todos los registros del evento. El resto de las filas muestra la lluvia acumulada (mm).

Inicio	20130716	20130813	20130908	20150131	20150623	20150722	20150815	20150920
Fin	20130720	20130816	20130908	20150131	20150625	20150725	20150816	20150921
No	3	6	12	28	33	38	44	52
dur	5	4	1	1	3	4	2	2
dens	20	17	16	15	15	16	16	16
media	43.3	16.2	54.9	41.8	61.9	63.6	74.6	93.6
CIB01	62	15	74	41	61	35	89	83
CIB02	46	5	60	38	42	111	66	101
CIB03	85	5	73	39	47	98	56	103
CIB04	11	13	100	42	70	84	87	88
CIB05	53	Nd	56	Nd	72	81	69	85
CIB06	49	14	51	61	Nd	Nd	Nd	Nd
CIB07	34	17	37	23	Nd	Nd	Nd	Nd
CIB08	28	17	36	40	69	53	69	88
CIB09	52	25	47	Nd	69	22	63	93
CIB10	1	Nd	58	Nd	Nd	41	50	90
CIB11	52	13	50	34	46	61	101	90
CIB12	38	21	52	47	59	30	96	105
CIB14	61	28	34	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
CIB15	43	10	53	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
CIB16	41	8	34	49	81	113	69	98
CIB17	24	22	Nd	30	50	11	53	82
CIB18	55	19	Nd	46	69	31	93	105
CIB19	47	Nd						
CIB20	62	24	63	54	78	54	62	97
CIB21	21	19	Nd	41	65	115	108	92
CIB22	Nd	Nd	Nd	42	51	78	62	98

Nd = Dato faltante

Cuadro 5.4. Promedios de las temperaturas máximas de los sensores de análisis.
Nd es dato faltante.

	M-2015	A-2015	M-2015	J-2015	J-2015	A-2015	S-2015
S1	34.03	36.82	35.67	41.07	41.72	41.65	38.20
S2	Nd	Nd	Nd	45.55	46.03	46.27	Nd
S3	Nd	Nd	Nd	38.03	38.37	37.89	36.67
S4	28.68	33.91	33.24	40.46	40.77	39.82	37.63
S5	30.34	34.47	Nd	Nd	Nd	Nd	37.06
S6	28.57	33.18	Nd	Nd	Nd	Nd	34.91
S7	30.88	35.94	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
S8	31.63	33.86	32.62	44.54	38.27	Nd	35.11
S9	29.92	34.70	35.13	40.88	38.26	36.62	35.49
S10	28.32	33.43	33.05	39.49	38.99	37.69	35.31
S11	31.06	36.99	36.34	42.80	43.20	42.93	39.73
S12	34.29	34.22	39.37	39.00	40.25	37.14	33.70
S13	25.43	28.12	27.02	31.05	33.34	34.65	34.22

	O-2015	N-2015	D-2015	E-2016	F-2016	M-2016	A-2016
S1	36.32	28.80	25.51	22.59	29.17	34.04	33.70
S2	Nd	Nd	Nd	28.98	36.11	45.93	41.45
S3	34.67	29.31	26.19	24.28	40.40	42.47	39.59
S4	Nd						
S5	Nd						
S6	33.41	28.08	25.59	22.16	27.68	30.93	30.01
S7	Nd						
S8	32.82	27.62	24.39	25.68	31.35	34.31	35.77
S9	33.28	28.07	25.96	23.19	29.04	33.15	32.98
S10	33.50	28.24	26.26	22.69	28.86	31.94	31.49
S11	36.75	30.57	28.39	25.81	32.75	36.14	35.64
S12	28.00	24.26	25.92	31.73	31.12	33.62	Nd
S13	32.41	27.21	24.08	22.35	26.30	27.25	27.26

La Fig. 7 muestra algunos ejemplos de la variación de las temperaturas máximas.

5.4.2.2. Análisis de temperaturas mínimas

El Cuadro 5.5 muestra los promedios de las temperaturas mínimas en cada sensor.

El valor mínimo de los promedios mensuales se observó en el sensor 11 durante el mes de enero de 2016 (con 5 grados Celsius), y en el sensor 13 durante el mes de agosto de 2015 (con 28.17 grados Celsius).

En el Cuadro 5.5 se aprecia que en conjunto se instala la temporada fría a partir de noviembre y perdura hasta enero, a partir del cual las temperaturas mínimas suben un poco sin comenzar el periodo caliente.

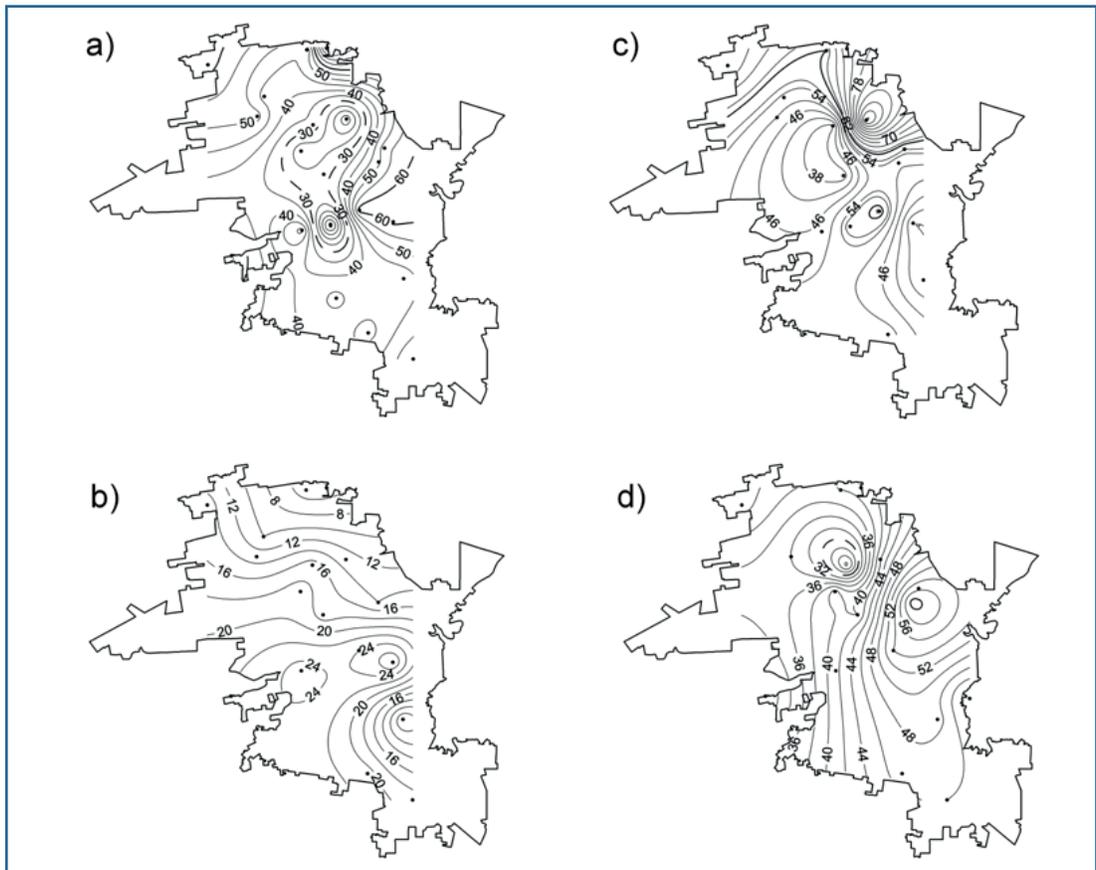


Figura 5.6. Lluvia acumulada durante cuatro eventos distintos registrados en 2015: a) 23 a 25

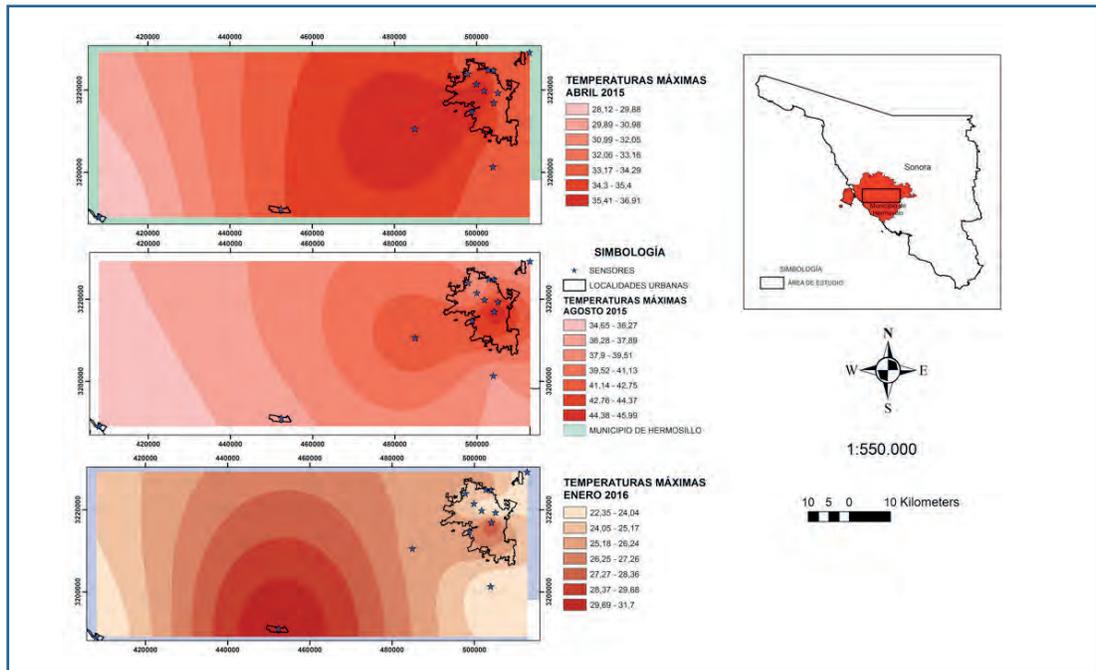


Figura 5.7. Comportamiento de las temperaturas máximas en el gradiente de estudio

Cuadro 5.5. Promedios de las temperaturas mínimas de los sensores de análisis. Nd es dato faltante.

	M-2015	A-2015	M-2015	J-2015	J-2015	A-2015	S-2015
S1	15.74	18.42	19.10	24.39	26.57	26.56	26.24
S2	Nd	Nd	Nd	23.32	26.08	26.01	Nd
S3	Nd	Nd	Nd	26.93	27.71	27.79	27.61
S4	16.82	19.38	19.75	25.36	27.44	27.45	27.03
S5	17.42	20.16	Nd	Nd	Nd	Nd	26.38
S6	16.59	18.61	Nd	Nd	Nd	Nd	25.94
S7	16.23	18.88	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
S8	17.14	17.13	20.78	24.27	24.39	Nd	24.37
S9	11.76	13.90	13.76	19.12	24.17	24.23	24.11
S10	15.20	17.00	16.87	22.32	25.87	25.80	25.06
S11	14.56	16.15	16.70	23.09	26.75	28.28	27.16
S12	15.79	17.30	24.83	26.89	27.79	25.71	20.72
S13	14.58	15.99	16.64	21.37	26.83	28.17	27.69

	O-2015	N-2015	D-2015	E-2016	F-2016	M-2016	A-2016
S1	24.62	15.92	12.16	9.87	12.20	15.79	18.37
S2	Nd	Nd	Nd	8.25	10.98	14.21	15.98
S3	26.29	18.24	14.47	12.22	12.63	16.18	17.82
S4	Nd						
S5	Nd						
S6	24.50	15.25	11.96	9.60	12.43	15.16	17.15
S7	Nd						
S8	21.29	14.62	11.56	11.26	14.96	15.80	17.08
S9	21.12	11.06	7.65	5.58	6.62	10.35	11.56
S10	22.93	12.99	8.52	7.16	8.94	12.51	14.56
S11	22.68	11.97	7.60	5.00	6.58	10.45	12.25
S12	11.04	7.09	6.97	9.89	12.24	15.15	Nd
S13	23.96	14.58	10.46	8.33	10.45	12.58	14.70

También se observa un periodo más cálido a partir de julio el cual persiste hasta octubre en la mayoría de los sensores.

El sensor más persistentemente fresco en temperaturas mínimas es el 9 mientras que el más persistentemente cálido, para las mismas temperaturas, es el 3.

En la Figura 5.8 se ilustra el comportamiento de las temperaturas mínimas en la zona de estudio. En esta figura se aprecia la isla urbana de calor y el amortiguamiento de las temperaturas mínimas en la costa.

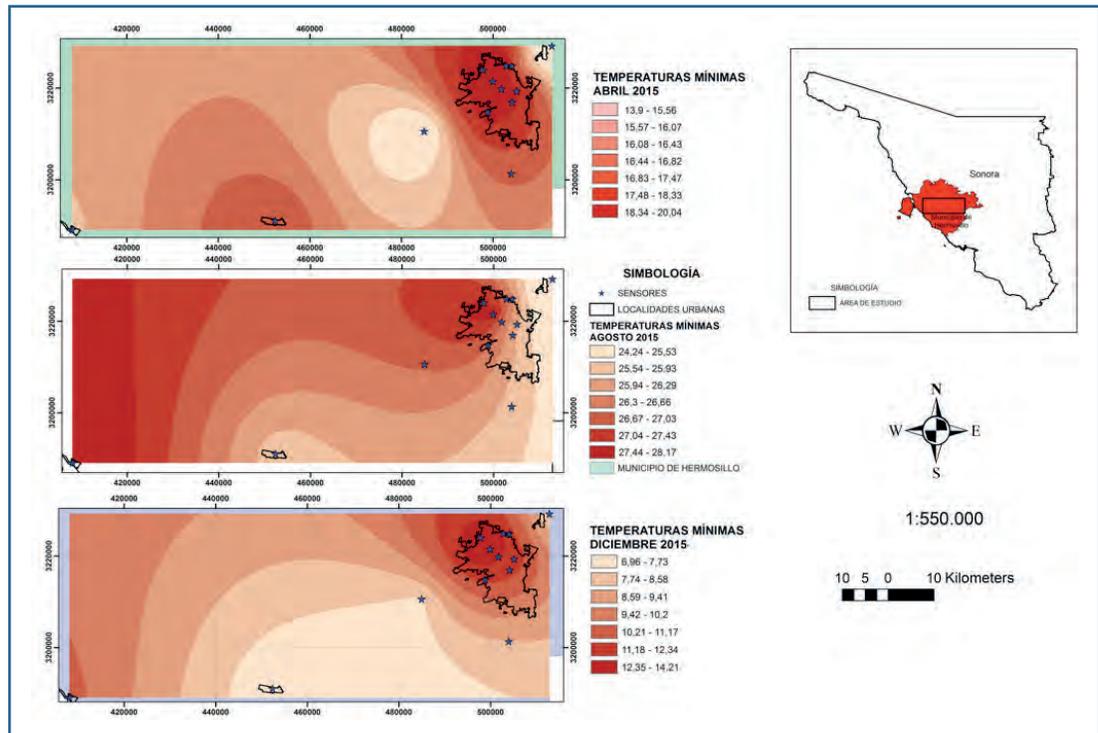


Figura 5.8. Comportamiento de las temperaturas mínimas en el gradiente de estudio

5.4.2.3. Análisis de la oscilación de temperaturas diarias

El rango diario de las temperaturas se muestra en el Cuadro 5.6.

Los valores oscilan desde 6.48 grados en agosto de 2015 (sensor 13) hasta 31.7 en marzo de 2016 (sensor 2).

Comparando las series de datos se observa que la oscilación es mayor en la temporada fresca del año y se va reduciendo conforme va entrando la temporada cálida, alcanzando sus valores mínimos en julio-agosto.

En el Cuadro 5.7 se muestran las oscilaciones diurnas de temperatura a partir de los promedios diarios por mes. Se muestra claramente que las mayores oscilaciones se presentan en febrero en todos los sensores mientras que las menores oscilaciones aparecen en septiembre. Solamente en el sensor costero (sensor 12) se presentaron un mes antes

En la Figura 5.9 se observa la presencia de mayores oscilaciones térmicas al interior de la mancha urbana mientras que en los alrededores se reduce la diferencia de temperaturas diarias.

Cuadro 5.6. Promedios de las oscilaciones diurnas de temperatura (rangos) de los sensores de análisis. Nd es dato faltante.

	M-2015	A-2015	M-2015	J-2015	J-2015	A-2015	S-2015
S1	18.29	18.4	16.57	16.68	15.15	15.09	11.96
S2	Nd	Nd	Nd	22.23	19.95	20.26	Nd
S3	Nd	Nd	Nd	11.1	10.66	10.1	9.06
S4	11.86	14.53	13.49	15.1	13.33	12.37	10.6
S5	12.92	14.31	Nd	Nd	Nd	Nd	10.68
S6	11.98	14.57	Nd	Nd	Nd	Nd	8.97
S7	14.65	17.06	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
S8	14.49	16.73	11.84	20.27	13.88	Nd	10.74
S9	18.16	20.8	21.37	21.76	14.09	12.39	11.38
S10	13.12	16.43	16.18	17.17	13.12	11.89	10.25
S11	16.5	20.84	19.64	19.71	16.45	14.65	12.57
S12	18.5	16.92	14.54	12.11	12.46	11.43	12.98
S13	10.85	12.13	10.38	9.68	6.51	6.48	6.53

	O-2015	N-2015	D-2015	E-2016	F-2016	M-2016	A-2016
S1	11.7	12.88	13.35	12.72	16.97	18.25	15.33
S2	Nd	Nd	Nd	20.73	25.13	31.72	25.47
S3	8.38	11.07	11.72	12.06	27.77	26.29	21.77
S4	Nd						
S5	Nd						
S6	8.91	12.83	13.63	12.56	15.25	15.77	12.86
S7	Nd						
S8	11.53	13	12.83	14.42	16.39	18.51	18.69
S9	12.16	17.01	18.31	17.61	22.42	22.8	21.42
S10	10.57	15.25	17.74	15.53	19.92	19.43	16.93
S11	14.07	18.6	20.79	20.81	26.17	25.69	23.39
S12	16.96	17.17	18.95	21.84	18.88	18.47	Nd
S13	8.45	12.63	13.62	14.02	15.85	14.67	12.56

Se graficaron los datos diarios originales promedios de todos los sensores (ver Figura 5.10). Se definió el inicio de cada temporada analizando los puntos de inflexión determinando que el 30 de mayo inicia la temporada cálida y el 11 de noviembre inicia la temporada fría.

Cuadro 5.7. Temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y rango diario de temperatura (R) de los ciclos diarios mensuales para cada sensor. Nd es dato faltante.

	Sensor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tmax	Ene	24.7	30.8	3	Nd	Nd	24.0	Nd	25.4	25.7	24.7	27.7	25.3	23.2
Tmin	Ene	11.0	9.2	Nd	Nd	Nd	10.6	Nd	11.9	6.0	8.4	5.6	7.2	8.9
R	Ene	13.7	21.5	Nd	Nd	Nd	13.4	Nd	13.5	19.7	16.2	22.1	18.1	14.3
Tmax	Feb	31.4	37.4	Nd	Nd	Nd	29.3	Nd	31.4	30.9	30.6	33.9	30.7	26.6
Tmin	Feb	14.1	13.2	41.4	Nd	Nd	14.6	Nd	15.9	8.3	12.2	9.4	10.0	12.3
R	Feb	17.3	24.2	14.6	Nd	Nd	14.8	Nd	15.5	22.6	18.4	24.5	20.7	14.3
Tmax	Mar	34.6	Nd	26.8	30.9	31.8	30.4	32.8	31.3	31.7	30.0	33.0	35.2	26.2
Tmin	Mar	18.1	Nd	Nd	18.8	19.7	18.5	18.3	17.8	13.4	17.7	14.6	16.5	15.8
R	Mar	16.5	Nd	Nd	12.1	12.1	11.9	14.5	13.5	18.3	12.4	18.4	18.7	10.4
Tmax	Abr	34.7	Nd	Nd	32.8	32.4	31.6	34.1	33.4	33.9	32.1	35.4	32.8	26.6
Tmin	Abr	18.5	Nd	Nd	19.2	20.0	18.9	18.8	17.4	13.3	16.8	14.7	15.9	16.2
R	Abr	16.2	Nd	Nd	13.5	12.3	12.6	15.3	15.9	20.6	15.3	20.7	16.9	10.5
Tmax	May	35.9	41.6	Nd	34.5	32.0	31.3	33.2	32.0	36.1	33.8	36.8	33.6	26.8
Tmin	May	19.9	19.1	33.9	20.5	20.4	19.8	20.0	21.1	14.3	17.7	15.7	17.8	17.4
R	May	16.0	22.5	22.8	14.0	11.6	11.5	13.2	11.0	21.8	16.1	21.2	15.8	9.4
Tmax	Jun	41.2	45.2	11.0	41.1	Nd	Nd	Nd	44.1	40.8	39.5	43.0	38.7	31.5
Tmin	Jun	26.8	26.0	38.5	27.7	Nd	Nd	Nd	25.2	23.1	25.6	24.3	25.3	25.2
R	Jun	14.4	19.2	28.5	13.4	Nd	Nd	Nd	18.9	17.7	14.0	18.7	13.4	6.4
Tmax	Jul	39.8	44.3	10.0	39.4	Nd	Nd	Nd	37.8	35.7	37.3	41.3	38.3	33.4

Cuadro 5.7 Temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y rango diario de temperatura (R) de los ciclos diarios mensuales para cada sensor. NaN es dato vacío, (continuación).

Sensor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tmin	27.2	26.8	37.4	28.1	Nd	Nd	Nd	25.0	24.3	26.5	26.7	27.1	27.3
R	12.6	17.5	28.4	11.3	Nd	Nd	Nd	12.8	11.4	10.8	14.6	11.1	6.1
Tmax	39.8	42.8	9.0	39.6	38.0	36.2	Nd	38.1	36.1	36.6	42.3	39.3	34.4
Tmin	28.2	27.7	37.5	29.2	28.2	27.7	Nd	26.1	25.1	26.9	27.5	28.4	28.9
R	11.6	15.1	29.4	10.4	9.8	8.5	Nd	12.0	11.0	9.8	14.8	10.8	5.5
Tmax	36.2	Nd	8.2	36.0	35.1	33.0	Nd	34.6	33.5	33.6	37.4	35.9	33.1
Tmin	26.7	Nd	34.7	27.3	27.2	26.5	Nd	24.9	23.6	25.6	25.6	26.3	27.1
R	9.6	Nd	28.0	8.7	7.9	6.5	Nd	9.7	9.9	8.0	11.7	9.5	6.0
Tmax	33.6	Nd	6.6	33.9	33.0	32.0	Nd	32.7	31.8	32.0	34.7	33.2	30.8
Tmin	23.1	Nd	33.4	24.2	24.1	22.7	Nd	21.6	18.5	21.1	20.2	21.0	21.8
R	10.5	Nd	24.8	9.7	8.8	9.2	Nd	11.1	13.4	10.9	14.4	12.2	8.9
Tmax	26.7	Nd	8.6	Nd	Nd	26.5	Nd	27.4	26.3	26.9	28.9	27.2	25.2
Tmin	14.8	Nd	27.5	Nd	Nd	14.8	Nd	15.3	9.9	12.6	11.2	11.9	13.5
R	11.9	Nd	17.0	Nd	Nd	11.8	Nd	12.1	16.4	14.4	17.7	15.3	11.7
Tmax	23.2	28.8	10.5	Nd	Nd	23.1	Nd	24.2	23.8	23.5	25.7	23.8	22.1
Tmin	10.8	9.6	23.7	Nd	Nd	10.8	Nd	12.3	6.5	8.9	7.0	7.7	9.3
R	12.4	19.3	12.9	Nd	Nd	12.3	Nd	11.9	17.3	14.6	18.7	16.1	12.8

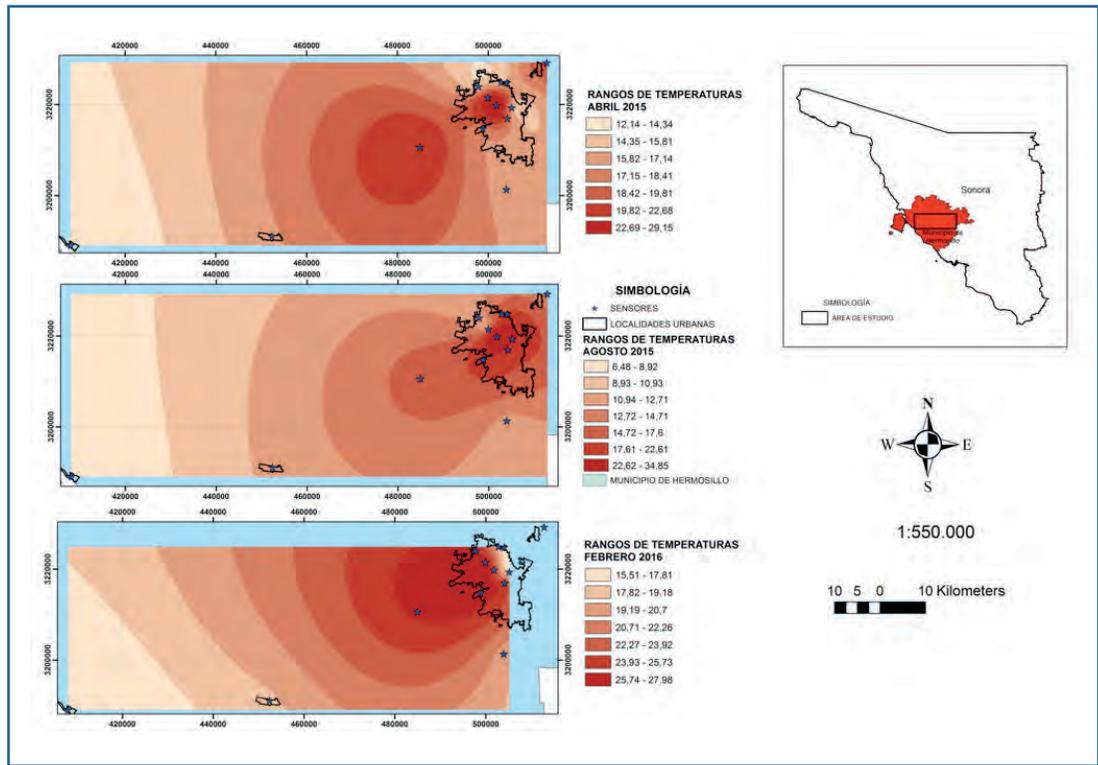


Figura 5.9. Comportamiento del rango de las temperaturas en el gradiente de estudio.

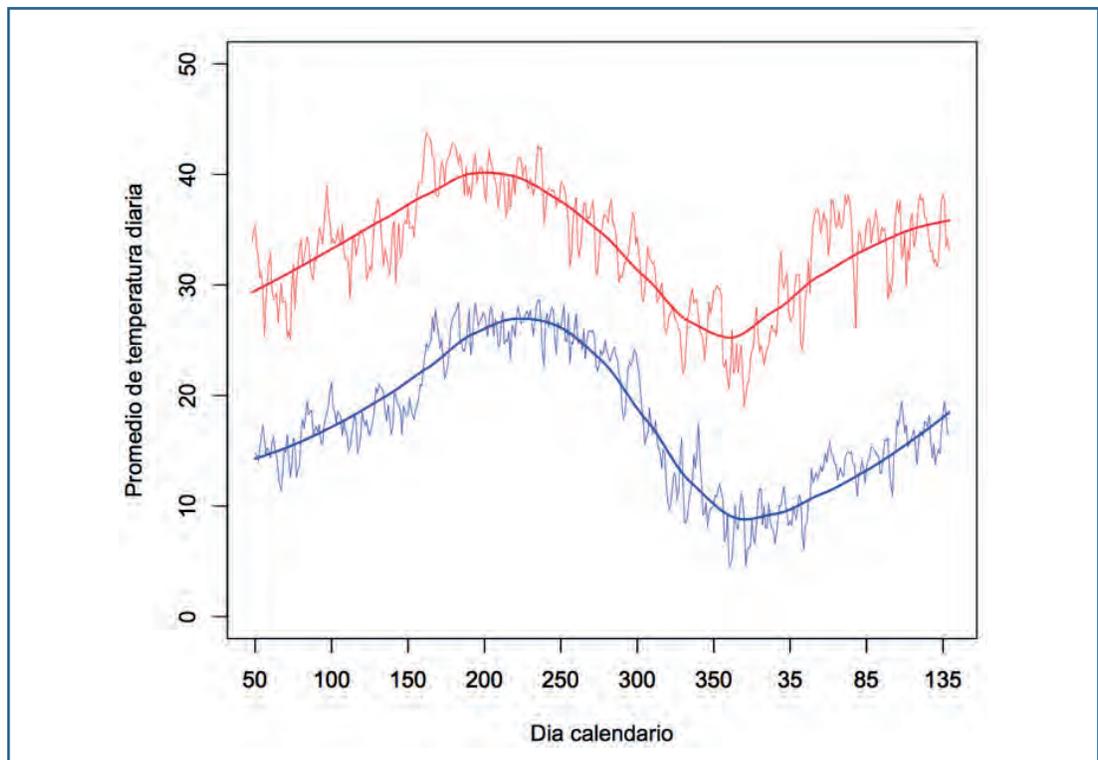


Figura 5.10. En rojo se muestra el promedio de las temperaturas máximas diarias de todos los sensores y en azul las temperaturas mínimas.

Principalmente las temperaturas mínimas y el rango diurno en el gradiente de estudio evidencian la presencia de la isla urbana de calor que se ha documentado en muchas ciudades, originada por una gran cantidad de suelo revestido de pavimento, aumento de edificaciones y reducción de áreas verdes en general entre otros aspectos.

Está más definido el periodo frío que el periodo caliente en los sensores que se analizaron para el periodo de tiempo analizado en esta región de estudio. El periodo más frío va de noviembre a febrero en cada sensor y se ve tanto en las temperaturas máximas como en temperaturas mínimas. El periodo más cálido está comprendido de junio a agosto en los sensores urbano mientras que en los sensores aledaños ese periodo se amplía.

5.4.2.4. Calidad del aire

El comportamiento de las concentraciones de partículas biológicas (polen y esporas) durante el año de estudio presenta una misma tendencia (Figura 5.11) mientras que



Figura 5.11. Concentraciones diarias de partículas biológicas (polen y esporas de hongos) y Partículas Suspensas Totales (PST) durante el periodo de Octubre 2013 a Octubre 2014 en la zona noroeste de la ciudad de Hermosillo (Universidad Estatal de Sonora).

las partículas no biológicas (PST) no siguen exactamente el mismo comportamiento. En general observamos que para polen y esporas de hongos los meses con mayor concentración de estos aeroalergénos en el ambiente ocurren durante las épocas de verano-otoño (21 agosto a 21 octubre). Mientras que para PST las concentraciones más altas de estas partículas se presentan durante la estación de invierno-primavera (17 enero al 23 abril 2014). En cuanto a la calidad biológica del aire los valores encontrados en las concentraciones de polen indican una calidad del aire regular durante casi todo el año a excepción de los meses de agosto a octubre, los valores tan altos en las concentraciones de esporas de hongos alertan un calidad biológica del aire mala según la Red Española de Aerobiología y la Red Mexicana de Aerobiología.

Las concentraciones de PST durante el año de muestreo denotan una calidad del aire regular, a excepción del día 29 de Abril de 2014, con una concentración total mensual de $750.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual sobrepasa el criterio establecido por la NOM-025-SSA1-1993 (DOF, 2005) que establece un límite máximo permisible de $229.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que la primavera representa la estación con más incidencia de las partículas suspendidas totales en la atmósfera de Hermosillo. Así, la calidad del aire de la ciudad es calificada con extremadamente mala según el IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire). Mientras que el valor diario de PST para cada día del mes de abril demuestra una constante mala calidad del aire para esta ciudad (Cuadro 5.8)

Cuadro 5.8. Concentración diaria de PST durante el mes de Abril para la zona Noroeste de Hermosillo

Día	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Interpretación
05-abr-14	106.94	Mala
11-abr-14	192.87	Muy mala
17-abr-14	108.67	Mala
23-abr-14	113.10	Mala
29-abr-14	229.32	Extremadamente mala

En cuanto a las partículas biológicas (polen y esporas) para el otoño 2013 ambas tienen su mayor concentración de $146.61 \text{ gp}/\text{m}^3$ y de $416.34 \text{ esporas}/\text{m}^3$ de aire respectivamente durante el mes de Octubre. Igualmente para el año 2014 las mayores concentraciones fueron registradas durante el mes de octubre de 2014 con concentraciones para polen de $418.88 \text{ granos}/\text{m}^3$ y para hongos de $2,926 \text{ esporas}/\text{m}^3$ de aire. Ambos registros coinciden en el mes otoñal.

La calidad del aire en la ciudad de Hermosillo, con respecto a partículas aeroalérgicas, basándonos en el calendario de polinización de Italfarmaco (laboratorio far-

macéutico creado en Milán, España) para finales de la época de otoño e invierno (noviembre-febrero) los pólenes que presentan mayor abundancia son Cupressaceae (*Juniperus*) con incidencias durante los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014. La época de primavera y principios del verano (abril-julio) los pólenes con mayor abundancia según el calendario utilizado son: Poaceae y Urticaceae siendo los meses en que se presentaron para Poaceae hubo incidencia durante todo el periodo de estudio esto debido a las condiciones climáticas de la ciudad siendo cálido, seco, lo cual propicia la aparición de este taxón; mientras que para Urticaceae se presentó en los meses de marzo-julio de 2014 coincidiendo con lo establecido en el calendario polínico. Finalmente para verano y principios de otoño (agosto-octubre) el polen más abundante es: Chenopodiaceae-Amaranthaceae presentando mayor abundancia durante octubre de 2013 y septiembre-octubre de 2014. Estas hierbas precisamente florecen durante las lluvias de verano y son altamente alergénicas.

Los resultados del análisis estadístico en cuanto a la posible correlación entre variables meteorológicas y las partículas biológicas y no biológicas analizadas indican que existe evidencia convincente de que la humedad relativa diaria se asocia negativamente con *PST* (Prueba de Wald para coeficiente de regresión, $t = -4.474$, g.l. = 45, $P < 0.001$). A su vez, existe evidencia sugestiva que la temperatura mínima se asocia negativamente con *PST* (Prueba de Wald para coeficiente de regresión, $t = -2.539$, g.l. = 45, $P = 0.015$) (Tab. 9). Por otra parte, existe evidencia sugestiva de que la temperatura mínima diaria se asocia positivamente con *polen* (Prueba de Wald para coeficiente de regresión, $t = 2.076$, g.l. = 56, $P = 0.042$) (Cuadro 5.10). No existe evidencia de asociación entre las variables meteorológicas y *esporas* (Cuadro 5.11).

Según los datos arrojados por el análisis estadístico, los valores de *PST* tienden a ser elevados conforme las temperaturas mínima disminuye (Cuadro 5.9), es decir si los

Cuadro 5.9. Modelo de regresión lineal múltiple entre partículas suspendidas totales y variables climatológicas. Los valores *P* denotan el valor de significancia observado para la prueba estadística $H_0: \beta_1 = 0$.

Parámetro	Estimado	Error estándar	Valor de t	Pr (> t)	Significancia
(Intercepción)	143.8016	38.0442	3.780	0.000459	***
Temp. Máx.	3.4412	1.8740	1.836	0.072925	.
Temp. Min.	-5.1324	2.0210	-2.539	0.014627	*
Vel.viento	0.7426	0.6091	1.219	0.229138	
Hum. Rel.	-1.7020	0.3804	-4.474	5.18e-05	***
Precipitación	1.2785	2.3192	0.551	0.584177	

días o amaneceres son más fríos, esto favorece a la inversión térmica en Hermosillo, ocasionando que las partículas se queden atrapadas cercanas a la ciudad y no dispersarse en la atmosfera alta. En cambio si las temperaturas mínimas aumentan, días más cálidos permite entonces la rápida suspensión de las partículas suspendidas hacia mayor altitud en la atmosfera. Por otra parte la baja humedad relativa del ambiente ocasiona que las PST se incrementen, esto es coherente ya que en ambientes secos de poca humedad con cualquier presencia mínima de viento favorece a la resuspensión de las partículas, así mismo se observa claramente que durante los periodos de alta humedad en el ambiente, como sucede durante el verano en la época de lluvias, las PST tienden a disminuir. Lo anterior correlaciona con los resultados encontrados para la ciudad con respecto a los bajos valores registrados de PST (a nivel de la altura peatonal) en el aire en la época de lluvias de verano y durante invierno (Meza-Figueroa *et al.*, 2016).

Cuadro 5.10. Modelo de regresión lineal múltiple entre el logaritmo del conteo de polen diario total y variables climatológicas. Los valores P denotan el valor de significancia observado para la prueba estadística $H_0: \beta_i = 0$.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor de t	Pr (> t)	Significancia
(Intercepción)	0.497337	1.363012	0.365	0.7166	
Temp. Máx.	-0.036245	0.072857	-0.497	0.6208	
Temp. Min.	0.168011	0.080929	2.076	0.0425	*
Vel.viento	-0.033643	0.022849	-1.472	0.1465	
Hum. Rel.	0.001912	0.014361	0.133	0.8946	
Precipitación	0.102539	0.091668	1.119	0.2681	

Cuadro 5.11. Modelo de regresión lineal múltiple entre el logaritmo del conteo de esporas diario total y variables climatológicas. Los valores P denotan el valor de significancia observado para la prueba estadística $H_0: \beta_i = 0$.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor de t	Pr (> t)	Significancia
(Intercepción)	1.66438	1.39148	1.196	0.2368	
Temp. Máx.	0.07428	-0.02212	-0.298	0.7670	
Temp. Min.	0.14163	0.08271	1.712	0.0925	.
Vel.viento	-0.01063	0.02351	-0.452	0.6531	
Hum. Rel.	0.01435	0.01468	0.978	0.3323	
Precipitación	0.04236	0.09343	0.453	0.6521	

Para el caso de partículas biológicas (polen) se muestra en el resultado del análisis estadístico una asociación positiva entre temperatura mínima y polen (Cuadro 5.10) es decir si la temperatura mínima aumenta también lo hacen las concentraciones de polen de tipo alergénico, entonces los días más cálidos favorecen la presencia de estos aeroalergénos en la atmosfera y días más frías hacen un efecto de disminución de aeroalergénos. Esta correlación positiva entre polen y temperatura ha sido también reportada para la ciudad de México (Calderón-Ezquerro et al., 2015). En cuanto a las esporas de hongos, el análisis estadístico indica que no hay una aparente correlación entre variables meteorológicas y esporas (Cuadro 5.11), sin embargo los datos demuestran claramente que los picos de concentración de esporas de hongos durante el año suceden justo después de que concluye la temporada de lluvias en la región, lo cual se puede asociar a una humedad relativa alta, como ha sido indicado para la ciudad de Monterrey (Rocha estrada *et. al.*, 2013) pero con una combinación de temperaturas más moderadas con respecto a las que se registran en verano.

5.5. Referencias

- AMADOR ROSAS, J. A. Y C. DOMÍNGUEZ ROMO. 2015. Determinación de la concentración de partículas biológicas (polen y esporas fúngicas) y no biológicas (PST) en la zona Norte de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Tesis de Licenciatura. Licenciatura en Ecología. Universidad Estatal de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- AMAYA-GARCÍA, V, M. 2015. Polen y esporas presentes en la atmósfera de la ciudad de Hermosillo durante Junio-Diciembre de 2013. Tesis de licenciatura. Licenciatura en Ecología. Universidad Estatal de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- BRITO-CASTILLO, L., M.A. CRIMMINS, S.C. Díaz, 2010. Clima. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van-Devender, eds. Diversidad Biológica de Sonora. UNAM, México, pp-73-96.
- BRITO-CASTILLO, L., A.V. DOUGLAS, A. LEYVA-CONTRERAS, D. LLUCH-BELDA, 2003. The effect of large-scale circulation on precipitation and streamflow in the Gulf of California continental watershed. *Int. J. Climatol.* 23, 751-768. doi: 10.1002/joc.913.
- CALDERÓN-EZQUERRO, M.C.; C. GUERRERO-GUERRA; B. MARTÍNEZ-LÓPEZ.; F. FUENTES-ROJAS; F. TÉLLEZ-UNZUETA Y E. D. LÓPEZ-ESPINOZA, 2015. First airborne pollen calendar for Mexico City and its relationship with bioclimatic factors. *Aerobiologia*, DOI 10.1007/s10453-015-9392-4
- CASTILLO-RAMOS, J. 2010. Un aliento para el Asma. *Revista Buena Salud*, 119 (12). Hermosillo, Sonora.

- CLEVELAND, W. S., E. GROSSE, AND W. M. SHYU. 1992. Chapter 8: Local regression models. In *Statistical Models in S* (Chambers, J. M., and T. J. Hastie, Chambers, J. M., and T. J. Hastie). Wadsworth & Brooks/Cole.
- ENGLEHART PJ Y A V DOUGLAS 2002. Mexico's Summer Rainfall Patterns: an Analysis of Regional Modes and Changes in the Teleconnectivity. *Atmósfera* 15:147-164
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. 2012. El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Indice* págs 21-24.
- GARCÍA-CUETO, OR, A TEJEDA-MARTÍNEZ, G BOJÓRQUEZ-MORALEZ. 2009. Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B. C. México. *Atmósfera* 22(4)349-365.
- JÁUREGUI E, 1997. Heat island development in México City. *Atmos. Environ.* 31, 3821-3831.
- Mcculloch, C. E., S. R. Searle Y J. M. Neuhaus. 2008. *Generalized, Linear, and Mixed Models*, Wiley-Interscience.
- MEZA-FIGUEROA, D., GONZÁLEZ-GRIJALVA, B., DEL RÍO-SALAS, R., MORENO-RODRÍGUEZ, V. 2016. Traffic signatures in suspended dust at pedestrian levels in semiarid zones: Implications for human exposure. *Atmospheric Environment* 138, 4–14.
- MORENO-SARMIENTO, M. 2009. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Polen y Esporas Fúngicas de Importancia alérgica en la atmosfera de Cd. Obregón: Periodo Enero-Diciembre de 2008. Tesis para Maestra en Ciencias. Instituto Tecnológico de Sonora. Pp. III, 26, 32, 33
- PINEDA-PABLOS N., SCOTT CH. A., WILDER M., SALAZAR-ADAMS A., DÍAZ-ESCALANTE R., BRITO-CASTILLO L., WATTS CH., MORENO J.L., OROZ L., NERI C., 2012. Hermosillo, ciudad sin agua para crecer. Vulnerabilidad hídrica y retos frente al cambio climático. En: M. Wilder, Ch. A. Scott, N. Pineda-Pablos, R.G. Varady y G.M. Garfin, eds. *Avanzando desde la vulnerabilidad hacia la adaptación*. Udall Center for Studies in Public Policy. The University of Arizona, Tucson, Az.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RED MEXICANA DE AEROBIOLOGÍA. 2010. (Tomado de <http://www.atmosfera.unam.mx/rema/alergias.html>) Agosto 2014.
- ROCHA-ESTRADA, A, ALVARADO-VAZQUEZ, M.A., FOROUGHBAKHCH-PURNAVAB, R Y HERNÁNDEZ-PIÑEIRO, J.L. 2008. Polen Atmosférico de Importancia Alergológica en el Área Metropolitana de Monterrey (Nuevo León, México), Durante el Periodo Marzo 2003-Febrero 2005. Pp. 195, 201.
- ROCHA-ESTRADA, A., ALVARADO-VÁZQUEZ, M.A, GUTIÉRREZ-REYES, R., SALCEDO-MARTÍNEZ, S.M. Y MORENO-LIMÓN, S. 2013. Variación Temporal de Esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el Aire del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pp. 159.

SHREVE F Y I L WIGGINS. 1951. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Carnegie Institute Washington.

TURRENT C, CAVAZOS T. 2009. Role of the land-sea thermal contrast in the interannual modulation of the North American monsoon. *Geophysical Research Letters* 36: L02808, doi:10.1029/2008GL036299.