

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“ANÁLISIS FRACTAL DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LA
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL VALLE DE GUADALUPE”**

TESIS

Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:

YERALDIN SERPA USTA

Director de tesis

Dr. ALVARO ALBERTO LÓPEZ LAMBRAÑO

Ensenada, Baja California, México. Agosto del 2020.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

ANÁLISIS FRACTAL DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL VALLE DE GUADALUPE

TESIS

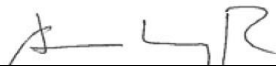
Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:

YERALDIN SERPA USTA

Aprobada por:



Dr. Alvaro Alberto López Lambrano
Director de Tesis



M.Sc. Alvaro Alberto López Ramos
Miembro del Comité



Dr. Mario González Durán
Miembro del Comité



Dr. Jorge Octavio Mata Ramírez
Miembro del Comité



Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez
Miembro del Comité

Ensenada Baja California, México. Agosto del 2020

Resumen de la tesis de Yeraldin Serpa Usta, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, agosto del 2020.

ANÁLISIS FRACTAL DE VARIABLES METEOROLÓGICAS DEL VALLE DE GUADALUPE

Resumen Aprobado por:



Dr. Alvaro Alberto López Lambraño
Director de Tesis

Se realizó el análisis fractal de las variables meteorológicas de la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe mediante el cálculo del exponente de Hurst para estudiar la persistencia y antipersistencia de los parámetros meteorológicos individualmente y la dependencia de la precipitación, humedad relativa y la velocidad del viento de la presión y la temperatura, utilizando el índice de previsibilidad climática. Para este propósito, se han utilizado registros diarios de precipitación, temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento para dieciséis estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de la cuenca. Los exponentes de Hurst (H) para los parámetros meteorológicos mencionados anteriormente se calcularon utilizando análisis de rango reescalado (R/S). Estos valores de H se usaron para calcular la dimensión fractal D para los datos de presión, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento. Finalmente, estas D se usaron para calcular el índice de predictibilidad climática IP_C en términos de índice de previsibilidad de presión (IP_P), índice de previsibilidad de temperatura (IP_T), índice de previsibilidad de la lluvia ($IP_{PRECIPITACIÓN}$), índice de previsibilidad de la humedad relativa (IP_{HR}) e índice de previsibilidad de la velocidad del viento (IP_{VV}). El procedimiento anterior se realizó para diferentes escalas de tiempo: la serie completa, estacionalidad de octubre a mayo, de junio a septiembre y para días con ocurrencia y sin ocurrencia de vientos de Santa Ana. Encontrándose persistencia en la mayoría de las estaciones para estas variables; solo en épocas de Santa Ana el comportamiento vario significativamente y la velocidad del viento paso a ser antipersistente y la temperatura presentó comportamiento persistente y antipersistente. Para los días con Vientos De Santa Ana hay una dependencia entre la predicción del índice de la velocidad del viento con respecto a la temperatura y la presión caso contrario ocurre en los días sin Vientos De Santa Ana, la humedad relativa mostró independencia de los índices de la presión y la temperatura a excepción de dos estaciones mientras que en días sin Vientos De Santa Ana existe dependencia entre dichas variables.

Palabras clave: exponente de hurst, índice de previsibilidad climática, vientos de Santa Ana.

DEDICATORIA

A mi madre y mi hermana,

Rosiris Usta Gloria

y

Diana Serpa Usta

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, por permitirme ser parte de ella y desarrollarme bajo sus aulas con el apoyo de sus profesores. A la Facultad de Ingeniería, por aceptarme como estudiante y facilitarme los medios para culminar la maestría. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su programa de becas, que sustentó económicamente el trayecto de mi posgrado y que fue esencial para alcanzar este logro.

Al Dr. Alvaro López-Lambraño, por creer en mí y por el apoyo brindado. Gracias por su tiempo, paciencia, dedicación, por todos los consejos brindados, por la motivación, por ayudarme a culminar con éxito mi trabajo de tesis y a obtener el título de maestría.

Al M.Sc. Alvaro López Ramos, por confiar en mis capacidades y por todos los consejos brindados. Por ser parte de este proceso, por darme la oportunidad de realizar este posgrado y apoyarme incondicionalmente hasta lograr el objetivo de culminar con éxito el posgrado.

A mis sinodales, Dr. Jorge Octavio Mata, Dr. Mario González Durán y la Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez. Por ser parte de mi comité, por su tiempo y recomendaciones durante el desarrollo de la tesis.

A mis compañeros(as) de posgrado Luisa Elvira Martínez Acosta, Juan Francisco Durango Grisales, Daniela Vegliante Arrieta, Juan Pablo Medrano Barboza, Darío Aranda Pérez y Ena Del Carmen Gámez Balmaceda; por su amistad, conocimientos brindados y todo su apoyo en la realización de esta investigación.

A mi familia por siempre estar ahí motivándome a ser mejor, mamá gracias por dejarme soñar, hermana gracias por ser luz en momentos de oscuridad. A Tina Luz contigo empezó todo este proceso.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Estado del arte.....	1
1.2 Justificación.....	7
1.3 Descripción del problema.....	8
1.4 Objetivos	8
1.5 Objetivo general.....	8
1.5.1 Objetivos específicos	9
1.6 Hipótesis.....	9
2 FUNDAMENTOS DE LA GEOMETRÍA FRACTAL	10
2.1 Geometría Euclidiana y la geometría fractal	10
2.2 Rango reescalado	24
2.3 Índice de previsibilidad climática	35
2.4 Vientos de Santa Ana.....	37
3 METODOLOGÍA	45
3.1 Delimitación de área de influencia	45
3.1.1 Polígonos de Thiessen.....	45
3.2 Recopilación y organización de la información	49
3.3 Estimación de Datos Faltantes.....	50
3.4 Series de tiempo.....	52
3.5 Estimación de correlograma.....	52
3.6 Cálculo exponente de Hurst y dimensión fractal.....	53
3.7 Cálculo del Índice de previsibilidad para las variables en consideración.....	55

3.8	Cálculo del Índice de previsibilidad climática	55
3.9	Vientos de Santa Ana.....	56
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1	Fractalidad e índice de previsibilidad para variables climatológicas.....	82
4.2	Análisis de las series de tiempo correspondientes a los vientos de Santa Ana	92
4.2.1	Determinación del exponente de Hurst.....	92
4.2.2	Cálculo del Índice de previsibilidad climática	98
4.3	Correlación entre los índices de previsibilidad.....	103
5	CONCLUSIONES	113
6	REFERENCIAS.....	120
ANEXO A. COMPILADO DE INVESTIGACIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE SERIES DE PRECIPITACIÓN APLICANDO GEOMETRÍA FRACTAL		125
ANEXO B. COMPILADO DE INVESTIGACIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE SERIES DE TEMPERATURA APLICANDO GEOMETRÍA FRACTAL.....		134
ANEXO C. MAPA DE ALTITUDES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL VALLE DE GUADALUPE		137
ANEXO D. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL		138
ANEXO E. MAPA DE TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL		139
ANEXO F. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL		140
ANEXO G. MAPA DE TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL		141
ANEXO H. Mapa de exponente de Hurst de presión diaria.....		142
ANEXO I. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE TEMPERATURA.....		143
ANEXO J. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE PRECIPITACIÓN		144
ANEXO K. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE VELOCIDAD DEL VIENTO.....		145
ANEXO L. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE HUMEDAD RELATIVA		146

ANEXO M. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	147
ANEXO N. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	148
ANEXO O. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA PRECIPITACIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	149
ANEXO P. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	150
ANEXO Q. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	151
ANEXO R. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRESIÓN	152
ANEXO S. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA TEMPERATURA	153
ANEXO T. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRECIPITACIÓN.....	154
ANEXO U. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA HUMEDAD RELATIVA	155
ANEXO V. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	156
ANEXO W. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	157
ANEXO X. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	158
ANEXO Y. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	159
ANEXO Z. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	160
ANEXO AA. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	161
ANEXO BB. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRESIÓN	162
ANEXO CC. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA TEMPERATURA.....	163

ANEXO DD. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN	164
ANEXO EE. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA HUMEDAD RELATIVA	165
ANEXO FF. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO	166
ANEXO GG. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	167
ANEXO HH. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	168
ANEXO II. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	169
ANEXO JJ. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA	170
ANEXO KK. MATRIZ DE CORRELACIÓN INDICES DE PREVISIBILIDAD	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de Koch (Merizalde Merizalde, 2018).	14
Figura 2. Conjunto de Mandelbrot (Joye, 2007).	15
Figura 3. Figura de Lichtenberg producida por una descarga (Huang & Zhi, 2016).	15
Figura 4. Construcción de la Curva de Koch (Riddle, 2020).	18
Figura 5. Curva de Koch (Riddle, 2020).	18
Figura 6. La curva de Koch K es la unión de 4 copias similares de sí misma (Demir et al., 2013).	19
Figura 7. Cada una de las partes K_i , $1 \leq i \leq 4$, de la curva de Koch indicadas es semejante a la curva total K.	21
Figura 8. El helecho (a) y la hierba(b) son conjuntos invariantes de solo cuatro y seis transformaciones afines, respectivamente (Falconer,1991)	23
Figura 9. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst menor a 0.5, implicando anti-persistencia (Tarafdar & Harper, 2008)	28
Figura 10. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst mayor a 0.5, implicando persistencia(M. Meraz, Rodriguez, Femat, Echeverria, & Alvarez-Ramirez, 2015).	29
Figura 11. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst igual a 0.5, implicando aleatoriedad(Aguilar, 2014).	30
Figura 12. Serie de tiempo con correlación a corto plazo y su correlograma (Chatfield, 1984).	32
Figura 13. Serie de tiempo alterna con su correlograma (Chatfield, 1984).	33
Figura 14. Serie de tiempo no estacionaria y su correlograma (Chatfield, 1984).	33
Figura 15. Correlograma de observaciones mensuales de la temperatura del aire en Recife (a) datos directos, (b) para los datos ajustados estacionalmente (Chatfield, 1984).	34
Figura 16. Serie de tiempo con un valor atípico.	35
Figura 17. Ubicación de la zona de estudio.	38
Figura 18. Características geográficas del sur de California donde se aprecia las principales regiones donde los Vientos de Santa Ana son típicamente intensos.	40
Figura 19. Ejemplo de Polígonos de Thiessen.	46
Figura 20. Capa de vectorial de puntos con la información de las estaciones de Baja California.	46
Figura 21. Interfaz de ArcGIS donde se selecciona la opción de los polígonos de Thiessen.	47
Figura 22. Pantalla que se despliega al escoger la opción Create Thiessen polygons.	47

Figura 23. Polígonos de Thiessen	48
Figura 24. Estaciones de influencia en la Cuenca de Guadalupe.	49
Figura 25. Interfaz del programa ClimGen.	51
Figura 26. Ventana que se despliega para anotar los datos de la estación.	51
Figura 27. Interfaz del software Benoit.....	53
Figura 28. Reporte de resultados de Benoit para rango reescalado	54
Figura 29. Gráficos R/S vs τ o longitud de los anchos de ventana.....	55
Figura 30. Archivo Excel donde se usaron las funciones de condicional para seleccionar días con vientos de Santa Ana.....	57
Figura 31. Archivo .txt con los datos de la presión de la estación Ejido Porvenir para los días que ocurrió Santa Ana.....	57
Figura 32. Variación de los valores de temperatura media diaria.	62
Figura 33. Variación de los valores de presión diarios.	62
Figura 34. Variación de los valores de humedad relativa diarios.....	63
Figura 35. Variación de los valores de velocidad viento diarios.....	63
Figura 36. Precipitación a largo plazo en diferentes estaciones.	64
Figura 37. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.....	66
Figura 38. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.	66
Figura 39. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.....	67
Figura 40. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.....	67
Figura 41. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.....	68
Figura 42. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.	68
Figura 43. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.	69

Figura 44. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.....	69
Figura 45. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión y El Pinal.	70
Figura 46. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.	70
Figura 47. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.	71
Figura 48. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	71
Figura 49. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.....	72
Figura 50. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.	72
Figura 51. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.	73
Figura 52. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	73
Figura 53. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.....	74
Figura 54. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.	74
Figura 55. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.	75
Figura 56. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.....	75
Figura 57. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la temperatura media con los desfases para las estaciones Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Sta Rosa de la Misión, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.....	76

Figura 58. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la temperatura media con los desfases para las estaciones de Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	76
Figura 59. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la precipitación con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.	78
Figura 60. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la precipitación con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	78
Figura 61. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la presión con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.	79
Figura 62. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la presión con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	79
Figura 63. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la humedad relativa con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.	80
Figura 64. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la humedad relativa con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	80
Figura 65. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la velocidad del viento con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.	81
Figura 66. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la velocidad del viento con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.	81
Figura 67. Comparación de exponentes de Hurst de eventos de precipitación con otras investigaciones en condiciones climáticas similares a Baja California.	87
Figura 68. Comparación de exponentes de Hurst de eventos de temperatura con otras investigaciones en condiciones climáticas similares a Baja California.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones entre forma, borde y dimensión. (Echeverri, 2011).....	13
Tabla 2. Características de una serie de tiempo, de acuerdo al valor del exponente de Hurst y la dimensión fractal.....	27
Tabla 3. Estaciones climatológicas en el área de estudio y sus características de interés.	50
Tabla 4. Información sobre las estaciones utilizadas en este estudio.	60
Tabla 5. Variación de los valores diarios de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión y velocidad del viento.	61
Tabla 6. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para la serie completa de los datos.....	83
Tabla 7. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para la serie completa de los datos con registros de precipitación y temperatura del Merra-2.	84
Tabla 8. Cuadro comparativo de valores de precipitación de la investigación 2015 vs resultados del presente trabajo.	85
Tabla 9. Rango y relación entre la pendiente β en un gráfico log-log, el exponente de Hurst, los nombres de los ruidos utilizados en física y la dimensión fractal D.....	86
Tabla 10. Cuadro comparativo de valores de temperatura de la investigación 2015 vs resultados del presente trabajo.	86
Tabla 11. Valores del exponente de Hurst para Arabia Saudita para la presión, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento.....	88
Tabla 12. Índices de predictibilidad climática de la precipitación, humedad relativa y velocidad viento.....	91
Tabla 13. Comparación de índices de previsibilidad de la presión, temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa de algunas investigaciones realizadas alrededor del mundo.....	92
Tabla 14. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para estacionalidad octubre-mayo de los datos.	93
Tabla 15. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para estacionalidad junio-septiembre de los datos.....	94
Tabla 16. Criterio de selección de días con Santa Ana.	95

Tabla 17. Exponente de Hurst para las variables meteorológicas en estudio en los días que hay Vientos de Santa Ana y los días que no hay Vientos de Santa Ana.	96
Tabla 18. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y la precipitación.	98
Tabla 19. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y la humedad relativa.	99
Tabla 20. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y velocidad viento. .	100
Tabla 21. Índices de previsibilidad de la presión, temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad viento y dirección del viento para días con Viento de Santa Ana y días sin evento de Viento de Santa Ana.....	102
Tabla 22. Índice de previsibilidad climática para la serie completa y correlación entre parámetros meteorológicos.....	104
Tabla 23. Índice de previsibilidad climática para la época octubre-mayo y correlación entre parámetros meteorológicos.....	105
Tabla 24. Índice de previsibilidad climática para la época junio-septiembre y correlación entre parámetros meteorológicos.....	106
Tabla 25. Índice de previsibilidad climática para días con viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros MERRA-2.....	108
Tabla 26. Índice de previsibilidad climática para días sin viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros MERRA-2.....	109
Tabla 27. Índice de previsibilidad climática para días sin viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros SIG ERIC V.1.	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1).....	16
Ecuación (2).....	16
Ecuación (3).....	16
Ecuación (4).....	17
Ecuación (5).....	17
Ecuación (6).....	17
Ecuación (7).....	17
Ecuación (8).....	19
Ecuación (9).....	19
Ecuación (10).....	19
Ecuación (11).....	19
Ecuación (12).....	20
Ecuación (13).....	20
Ecuación (14).....	20
Ecuación (15).....	20
Ecuación (16).....	21
Ecuación (17).....	21
Ecuación (18).....	21
Ecuación (19).....	22
Ecuación (20).....	22
Ecuación (21).....	22
Ecuación (22).....	22
Ecuación (23).....	22
Ecuación (24).....	23
Ecuación (25).....	24
Ecuación (26).....	24
Ecuación (27).....	25
Ecuación (28).....	25
Ecuación (29).....	25
Ecuación (30).....	26

Ecuación (31).....	26
Ecuación (32).....	31
Ecuación (33).....	31
Ecuación (34).....	31
Ecuación (35).....	35
Ecuación (36).....	35
Ecuación (37).....	36
Ecuación (38).....	36
Ecuación (39).....	36
Ecuación (40).....	36
Ecuación (41).....	36
Ecuación (42).....	36
Ecuación (43).....	41

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estado del arte

El análisis de las variables climáticas es indispensable para la predicción eficiente de los cambios en las condiciones climáticas de una región. En general el estudio de estas variables se ha realizado mediante métodos estocásticos y métodos fractales; siendo los primeros los más comunes. Pero presentando una desventaja al no poder analizar ciertas variables como la precipitación dado su naturaleza aleatoria en diferentes escalas (Yee, 2015), los métodos fractales debido a su fundamento en la geometría fractal permiten entender esa relación espacio-temporal mediante la propiedad de autosimilitud. Según Mandelbrot, un objeto es autosimilar o autosemejante si sus partes tienen la misma forma estructural que el todo, aunque pueden presentarse a diferente escala y pueden estar ligeramente deformadas, es decir, son isotrópicos (Mandelbrot, 1967).

Los métodos basados en los fundamentos de la geometría fractal han sido aplicados al análisis de series de tiempo de precipitación y temperatura en diversas regiones del mundo (López-Lambraño, Carrillo-Yee, Fuentes, López-Ramos, & López-Lambraño, 2017). En su trabajo hicieron un inventario de las investigaciones que reportan la determinación del exponente de Hurst para series de precipitación y temperatura, donde se especifica la región, el periodo de tiempo analizado, las condiciones climáticas, el método empleado y los valores del exponente de Hurst y la dimensión fractal, en el ANEXO A se presenta la tabla resumen para series de precipitación y en el ANEXO B el compilado para la temperatura.

A lo largo de los años en diversos lugares del mundo se han aplicado los distintos métodos fractales para estudiar las variables climatológicas mediante la obtención del exponente de Hurst o de su dimensión fractal, para analizar la persistencia y antipersistencia de la serie de tiempo, su estacionariedad y su variación en el tiempo y en el espacio; en algunos casos se ha podido determinar que el comportamiento de dichas variables se ve afectado por las condiciones fisiográficas de la zona de estudio como es el caso de Baja California donde se encontraron que los valores de los exponentes de Hurst eran inversamente proporcional a la altitud y la precipitación, en las regiones cercanas al nivel del mar se registraron altos valores mientras que en las regiones donde el promedio de precipitación anual es alto el análisis mostró bajos valores para el Hu (López, Fuentes, López Ramos, Mata, & López, 2018). Caso similar ocurrió en la región

de Zacatecas, México donde el exponente de Hurst de las series de precipitación son influenciadas de forma negativa por la altitud (Velásquez Valle et al., 2013).

Otro caso particular es el encontrado en Suiza con respecto a la velocidad del viento; donde el análisis de la serie de tiempo arrojó un comportamiento persistente con valores en el exponente de Hurst más grande que 0.5. La multifractalidad de la serie fue cuantificada a través del ancho y de la asimetría del espectro multifractal y dichos parámetros mostraron variabilidad entre los sitios, lo cual está relacionado con la morfología típica y la compleja topografía del territorio suizo. Este se puede dividir en tres categorías topográficas montañas, valles y terreno plano (Meseta suiza). En la meseta suiza las medidas de la velocidad del viento se caracterizaron por ser dinámicamente heterogénea y presentar grandes fluctuaciones debido a la morfología del área, esta se encuentra entre el macizo de Jura y los Alpes. El aire que viene de norte-este es canalizado entre estos dos rangos de montaña, produciendo un incremento de la velocidad del viento hacia el oeste de Suiza. Lo que produce fenómenos locales de turbulencia, que podrían provocar las fluctuaciones intermitentes en la velocidad del viento y podrían ser los responsables de la alta multifractalidad de las series de velocidad del viento medidas en esta área (Laib, Golay, Telesca, & Kanevski, 2018).

Pero el uso de las técnicas fractales no solo está limitada al campo meteorológico; este comenzó en el campo de la hidrología cuando Mandelbrot lo usó para medir los patrones de flujo del río Nilo, pero su aplicación se ha ampliado a diferentes áreas como la medicina, las ciencias biológicas, sismos, redes de flujos, desertificación, inundaciones, los patrones de vegetación, mineralogía, la dinámica de los océanos, la contaminación del aire y muchos más; en China los niveles de contaminación del NO_x , PM_{10} and SO_2 fueron evaluados con respecto a las variables meteorológicas y se comprobó una correlación cruzada entre las variables meteorológica y las contaminantes siendo más evidente en la zona rural(He, 2017).

De los ejemplos anteriores las variables en estudio han sido evaluadas de manera individual ya sea con técnica monofractal o multifractal, solo para analizar la relación de las variables climáticas con las variables de contaminación se usó el DCCA (Detrend Cross Correlation Analysis) que puede proporcionar información sobre si una serie de tiempo tiene correlación cruzada a largo plazo con otra serie de tiempo simultáneamente (He, 2017). Fue propuesta por Podobnik et al. en

2009. Es una extensión natural del análisis de fluctuación sin tendencia (DFA) en la estructura de autocorrelación dentro de una sola serie de tiempo no estacionaria (Zhao, Shang, & Huang, 2017).

El análisis de la dimensión fractal de series de tiempo geofísicas tiene una larga historia [Hurst et al., 1965; Mandelbrot and Wallis, 1969; Fluegeman and Snow, 1989; Hsui et al., 1993; Turcotte, 1992](Rangarajan & Sant, 1997). Este análisis solo se concentra en obtener la dimensión fractal para series de tiempo individual; por tal en 1997, Govindan Rangarajan y Dhananjay A. Sant, proponen vincular estas dimensiones con la dinámica del clima. En particular, estudiar cómo se unen entre sí estas dimensiones fractales, ya que los procesos subyacentes están dinámicamente interconectados. Basado en eso, definen el Índice de previsibilidad climática, que comprende el índice de previsibilidad de la temperatura, presión y la precipitación, que son los mayores componentes del clima. Este índice da una indicación de cuán predecible es el clima para una estación dada (Rangarajan & Sant, 1997). Además, demostraron que los índices de previsibilidad cambian significativamente a medida que la dinámica climática cambia de una estación a otra.

En 2004, Rangarajan amplía este estudio a la temporada de monzones noreste (octubre-noviembre), además de la temporada de monzones del suroeste (junio-septiembre) y la temporada pre-monzones suroeste (marzo-mayo). Encontrándose que la imprevisibilidad en la presión conduce a imprevisibilidad en la precipitación, la lluvia estacional es predecible en un lugar determinado pero la lluvia mensual no lo es, se encontraron patrones regionales en los índices de predictibilidad. La precipitación durante el monzón del sudoeste se ve afectada por la variabilidad de la temperatura y la presión durante el invierno anterior.

En 2007, Rehman, utiliza el exponente de Hurst para estudiar la persistencia de los parámetros meteorológicos individualmente y la dependencia de la precipitación en la temperatura y la presión usando el índice de previsibilidad climática en Arabia Saudita reportando que el exponente de Hurst para la precipitación, humedad relativa y velocidad del viento presentó un comportamiento persistente con $H > 0.5$ y las series de presión y temperatura mostraron un comportamiento antipersistente con $H < 0.5$ para todas las estaciones. El índice de previsibilidad climática no pudo establecer la dependencia de la lluvia en la presión y la temperatura y de ninguno de los índices en general (Shafiqur, 2009). Sugiere, además, realizar análisis estacionales de la serie temporal en diferentes periodos de tiempo.

En 2009, Rehman amplía el estudio a otras variables como la humedad relativa y la velocidad del viento mediante el uso de wavelets; donde se encontró que el índice de predictibilidad climática de las series de tiempo de precipitación y velocidad del viento son independientes de la temperatura y la presión, y el índice de predictibilidad de los parámetros individualmente presentaron un comportamiento persistente para la serie completa de los datos mientras que exhibían un comportamiento antipersistente en la mayoría de casos para los datos en invierno y verano (Shafiqur Rehman, 2009). También se encontró que el índice de predictibilidad de la precipitación es independiente de la longitud de los datos, sea invierno o verano para esta región.

En 2012, Li, Xia y Meng, usaron el DFA para calcular el exponente de Hurst, la dimensión fractal y finalmente los índices de previsibilidad climática de series temporales mensuales y estacionales de temperatura del aire, presión superficial, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa para estaciones meteorológicas en Beijing donde se obtuvo que a escala mensual la previsibilidad de la precipitación y la velocidad del viento no estaban controladas por la temperatura y la presión. Se mostró una fuerte correlación negativa para la precipitación vs temperatura y presión, y el rasgo de persistencia de la velocidad del viento solo dependía absolutamente de sí mismo. En la escala estacional, los tres parámetros meteorológicos exhibieron una persistencia negativa con respecto a la temperatura y presión en invierno. En primavera, la persistencia de la precipitación está en sintonía con el de la temperatura y la presión, y para la velocidad del viento y la humedad relativa, se obtuvieron resultados discordantes (Li, Xia, & Meng, 2012).

En 2013, evaluaron el índice de calidad del agua del lago Harike en Punjab, India, realizando un análisis estadístico de todos los parámetros de calidad del agua; estimaron el exponente de Hurst, la dimensión fractal y el índice de previsibilidad para dichos parámetros encontrándose que los parámetros de pH, oxígeno disuelto, dureza, Cr y sulfato superaron los valores estándar de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental. Por lo que el agua del lago Harike estaba severamente contaminada y no era apta para beber ni para fines industriales. El pH mostró aleatoriedad con el total de sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, sulfato, cloro y los parámetros de conductividad, mientras que, con la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, cromo, y zinc fue persistente; y fue antipersistente con los parámetros de calcio, hierro, fluoruro, nitrato y nitritos. El total de sólidos disueltos tuvo se condujo de manera persistente con

la dureza y antipersistente con los sulfatos y la conductividad (Parmar & Bhardwaj, 2013). La mayoría de parámetros presentó un índice de previsibilidad cercano a cero, es decir impredecible.

En 2017, volvieron a emplear el índice de previsibilidad a la evaluación del índice de calidad del agua subterránea en el distrito de Kanchipuram en el estado de Tamil Nadu en la India, a parámetros como los cationes: calcio, magnesio, potasio, sodio y los aniones: bicarbonato, nitratos, cloro, flúor, sulfatos, trióxido de carbono, total de sólidos disueltos y parámetros físicos como el pH y la conductividad eléctrica; revelando que algunos parámetros fisicoquímicos del agua subterránea pueden predecir otros parámetros fisicoquímicos del agua subterránea con un fuerte coeficiente de correlación y de determinación (Rawat, Singh, Jacintha, Nemčić-Jurec, & Tripathi, 2017).

El índice de previsibilidad fue aplicado al mercado financiero de la India; proponiéndose a partir de este un índice para la volatilidad en el mercado de valores, compuesto de un vector cuádruple que considera la volatilidad en los siguientes casos: al inicio del día, la mayor durante el día, la más baja del día y al cierre del día. Estos vectores hacen alusión a las variables climáticas de precipitación, presión y temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Se analizaron datos de la bolsa de valores de Chicago, Chicago Board Options Exchange, y de la bolsa de valores de la India. El cálculo de las dimensiones fractales exhibió persistencia para las series de tiempo analizadas. Al comparar los dos mercados mostraron un comportamiento predecible, pero los índices de previsibilidad del mercado de Estados Unidos indicó un comportamiento más predecible al ser un mercado más maduro (Bhatt, Dedania, & Shah, 2015).

La persistencia del Índice de severidad de la sequía de Palmer para el período de 1966–2010 fue investigado usando el exponente de Hurst en Turquía. Este sugiere una sequía meteorológica persistente. Al espacializar los valores del Índice de Previsibilidad, los valores más bajos estuvieron en las áreas costeras de la cuenca oriental del Mar Negro, en las áreas donde más llueve y donde se presentó una tendencia positiva. Al obtenerse valores muy altos de persistencia sobre Turquía, es posible decir que muchos sistemas climáticos regionales y/o de gran escala influyen en la ocurrencia de estas sequías. Si algún sistema atmosférico a pequeña escala fuera efectivo en la formación de las sequías, entonces se deberían obtener valores mínimos de <0.5 . En otras palabras, durante 1960–2011, la severidad de los procesos de sequía debió haber surgido de las

fuentes de perturbaciones de las circulaciones a gran escala (Tatli, 2015). Con el análisis del Hurst, la dimensión fractal y el índice de previsibilidad es posible determinar si un fenómeno está afectado por sistemas a gran (global) o pequeña escala (local) como es el caso de las sequías en las cuales el cambio climático representado en el calentamiento global, influye en la gravedad de estos eventos.

En 2016 realizaron un estudio en Nueva Delhi para evaluar la contaminación en el aire y la reducción al implementar un esquema impar-par en las placas de los vehículos para reducir las emisiones vehiculares durante el periodo de 15/Abril/2016 – 30/Abril/2016, antes (30/Marzo/2016 – 14/Abril/2016) y pos implementación del esquema (1/Mayo/2016 – 16/Mayo/2016) del cual se concluyó que el comportamiento de los contaminantes del aire es impredecible; caso particular del CO y PM_{2.5} siguen una serie de tiempo browniana por lo que la tendencia es impredecible y SO₂ para el esquema par impar antes y después de la implementación de este sigue una serie de tiempo browniana. De esta investigación se concluyó que el comportamiento del contaminante del aire es impredecible y, por lo tanto es difícil predecir el futuro y el esquema par e impar tiene un impacto muy bajo en el control de los contaminantes del aire en Delhi (Bhardwaj & Pruthi, 2017). Esta sola medida no logra reducir sustancialmente los niveles de contaminación en el aire de Delhi.

En el estado de Uttarakhand, en la India se realizó un estudio en las laderas del Himalaya, con el fin de entender mejor la dinámica del clima y la previsibilidad en esta zona que se ve limitada por su topografía altamente compleja para ser analizada en modelos tridimensionales. Tal enfoque puede emplearse para probar la previsibilidad sobre una estación o región mediante la adquisición de series de datos a largo plazo y múltiples variables meteorológicas en una disposición de matriz. Esto puede corroborar y complementar las limitaciones de los modelos dinámicos donde resulta muy incierto predecir una variable meteorológica (Kimothe et al., 2019).

Los vientos de Santa Ana han sido estudiados en Baja California desde diferentes enfoques. En 2003 se presentaron dos investigaciones una por Castro, Pares-Sierra y Marinone de la Universidad Autónoma de Baja California sobre el océano donde se le dio seguimiento al evento ocurrido entre el 09 y 12 de febrero de 2002, el evento duro tres días. Estos intensos vientos pueden generar cambios en el océano, como la modificación del campo de corrientes superficiales, surgencias,

intercambio de calor aire-mar (calor latente y sensible), y la alteración del medio ambiente marino debido a la gran cantidad de arena y polvo exportados al mar, entre otros factores (Castro, 2003).

En la misma época el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada CICESE, estudió como los vientos de Santa Ana propician la surgencia, un proceso oceanográfico, donde las aguas subsuperficiales son llevadas a la superficie. Estos movimientos ayudan a que las aguas profundas, frías y muy ricas en nutrientes, afloren en la superficie (donde las aguas han sido empobrecidas por el consumo biológico), fertilizándola. La intensa presión del viento, ya sea positiva o negativa, hace que los flujos de viento sean capaces de producir bandas de surgencia o hundimiento fuera de la costa. Así, se pueden generar filamentos fríos que logran extenderse hasta más de 200 km fuera de la costa (Villalobos, 2018). Además los vientos de Santa Ana también son responsables de que grandes cantidades de polvo sean transportados y que pueden fertilizar significativamente la superficie del océano durante la temporada de invierno (Trasviña, Ortiz-Figueroa, Herrera, Cosío, & González, 2003). Este fenómeno ayuda a los procesos de sedimentación y a favorecer la producción de hierro, elemento que enriquece la parte superior de los océanos.

En 2014, la Universidad Autónoma de Baja California, volvió hacer un análisis de los vientos de Santa Ana como potencializador para la de generación de energía eólica y planificar de una manera más eficiente la extracción de las energías eólicas. Las altas velocidades del viento registradas en los eventos de Santa Ana conducen a producir más energía eléctrica a través de las turbinas eólicas porque la energía eólica está en relación con la velocidad del viento cúbicamente. Antes de aparecer un evento de Santa Ana, la densidad de potencia promedio es de 70.22 W/m^2 . Una vez el evento ocurre, la velocidad del viento incrementa drásticamente, alcanzando un promedio de densidad por hora de 515.63 W / m^2 . Esto significa que, en un promedio de 20 veces al año, la energía disponible aumentará un 735% durante un corto período de tiempo, produciendo enormes cantidades de energía eólica en cada evento (Zamora, Lambert, & Montero, 2014).

1.2 Justificación

Comprender la dinámica climática y la variabilidad es un problema importante en geofísica. Se han desarrollado modelos climáticos que requieren estudios numéricos muy extensos y de cálculos muy elaborados lo que demanda una gran cantidad de tiempo y esfuerzo en la computadora. Por

esto surge la necesidad de tener algunas medidas simples de variabilidad climática que puedan usarse para comprender la dinámica climática en un sentido general y los vínculos que existen entre estas.

Los vientos de Santa Ana son una condición muy típica de la zona de Baja California Norte por lo que estudiarlo más a fondo es una posibilidad para entender la dinámica del clima de esta zona y poder determinar cómo se ve afectado el clima local por este fenómeno y como se ven reflejados estas alteraciones en él.

El índice de previsibilidad sirve como un discriminante para determinar qué estaciones seleccionar para usar en el desarrollo de modelos climáticos regionales.

1.3 Descripción del problema

La dimensión fractal ha sido muy usada en el pasado para detectar estacionalidad y tendencias a largo plazo de las variables que afectan el clima pero de manera individual; solo en los últimos años se ha estudiado la relación dinámica entre las dimensiones de las series temporales de parámetros meteorológicos como la temperatura, la presión y la precipitación(S. Rehman & Siddiqi, 2009).

El clima en cualquier continente comprende en gran medida de cuatro componentes principales: parámetros geográficos, la temperatura, presión y precipitación. Los parámetros geográficos comprenden: latitud, longitud, distancia sobre el nivel del mar y elevación sin embargo estos no cambian para una ubicación dada por lo que la dinámica climática de cualquier país o continente dependerá del comportamiento de las series temporales de los parámetros climáticos tales como temperatura, presión, velocidad del viento y precipitación.

1.4 Objetivos

1.5 Objetivo general

Estudiar la dinámica del clima en la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe por medio de los índices de previsibilidad climática.

1.5.1 *Objetivos específicos*

- Completar las series de precipitación y de temperatura para mejorar la información de los registros de las estaciones.
- Determinar el exponente de Hurst y la dimensión fractal de las series de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento para evaluar la persistencia y estacionariedad de las series de tiempo.
- Comparar los valores del exponente de Hurst obtenidos en la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe con respecto a los reportados en otras investigaciones con condiciones climáticas similares a la zona de estudio objeto de esta investigación.
- Calcular el índice de previsibilidad de las series de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento y evaluar la estacionalidad de estos para épocas de vientos de Santa Ana.
- Determinar días con vientos de Santa Ana para conformar series de tiempo de Santa Ana.
- Calcular el índice de previsibilidad de las series de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento de los días con Santa Ana.
- Determinar los días con vientos de Santa Ana para conformar series de tiempo que permita calcular el Índice de Previsibilidad de las series de precipitaciones, temperaturas, humedades relativas, presiones atmosféricas y velocidades del viento.

1.6 Hipótesis

La teoría fractal que estudia la invarianza de escala, se puede utilizar para describir el comportamiento y la estructura de las series de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento en la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe.

2 FUNDAMENTOS DE LA GEOMETRÍA FRACTAL

2.1 Geometría Euclidiana y la geometría fractal

La geometría como la conocemos fue planteada por primera vez en los años 300 A.C por Euclides y ha tenido relativamente pocos cambios desde entonces (González & Guerrero, 2001).

La geometría euclidiana es aquella que estudia las propiedades del plano y el espacio tridimensional, la cual es sinónimo de geometría plana.

Desde un punto de vista historiográfico, la geometría euclidiana es aquella geometría que postuló Euclides en su libro Los Elementos. Esta es presentada a través de axiomas que son postulados que se presumen verdaderos y a través de operaciones lógicas, genera nuevos postulados cuyo valor de verdad también es positivo. Euclides planteó cinco postulados en su sistema:

- Dados dos puntos se pueden trazar una y solo una recta que los une.
- Cualquier segmento puede prolongarse de forma continua en cualquier sentido.
- Se puede trazar una circunferencia con centro en cualquier punto y de cualquier radio.
- Todos los ángulos rectos son iguales.
- Si una recta, al cortar a otras dos, forma ángulos internos menores a un ángulo recto, esas dos rectas prolongadas indefinidamente se cortan del lado en el que están los ángulos menores que dos rectas.

Este último postulado es conocido como el postulado de las paralelas.

Este postulado parece menos obvio que los otros cuatro, y muchos matemáticos trataron de levantar una aparente incoherencia que existía en el quinto postulado.

No fue hasta la aparición de Nikolai Lobachevski y János Bolyai que se empezó a tener serias dudas de que el quinto postulado fuera en realidad dependiente de los otros (si bien Carl Friedrich Gauss ya había considerado esta idea, aunque nunca se atrevió a hacerla pública). Ellos lo negaron sustituyéndolo por este otro: “por un punto exterior a una recta pasan infinitas paralelas a ésta” y

desarrollaron una geometría perfectamente lógica que hoy lleva el nombre de geometría hiperbólica, también muchas veces conocida como geometría de Lobachevski. Para ilustrar esta geometría se introducen la seudoesfera y el círculo hiperbólico, espacios en los que se dan los postulados de la geometría hiperbólica. A renglón seguido se considera la geometría elíptica, debida a Bernhard Riemann (esta es la geometría propia de una esfera, por ejemplo)(García Melián, 2014), la cual afirma que dada una recta y un punto exterior a ella, no existe ninguna recta que pase por el punto y sea paralela a la recta dada, también conocida como geometría de Riemann o riemanniana. Las cuales inspiraron otro tipo de geometrías que en general son conocidas como geometrías no euclidianas.

A pesar de los grandes avances de la geometría no euclidianas, en algún momento se observó que ni la geometría euclidiana y ninguna otra podía establecer el estudio de la naturaleza, que solo se puede estudiar las regularidades presentes en la naturaleza, más no sus irregularidades, es por esto que fue necesario trabajar con una geometría que las rigiera; es así como Benoit Mandelbrot en su libro “The Fractal Geometry of Nature” se pregunta lo siguiente: “ ¿Por qué a menudo se describe la geometría como algo frio y seco? Una de las razones es su incapacidad de describir la forma de una nube, una montaña, una costa o un árbol. Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las costas no son círculos, y la corteza no es suave, ni los rayos viajan en línea recta ". Mandelbrot en su libro propone una nueva geometría de la naturaleza, que le permitió describir muchas formas irregulares y fragmentadas, identificando una serie de formas que llamo *fractales*.

La palabra fractal fue usada por Mandelbrot en su ensayo de 1975 “*Les objets fractals, forme, hasard et dimension*“, esta viene de la palabra latina *fractus*, que significa “quebrado” o “fracturado”; él usó esta para describir objetos que eran demasiado irregulares para encajar o ser descritos en un entorno geométrico tradicional.

La medición de formas fractales ha obligado a introducir conceptos nuevos que van más allá de los conceptos geométricos clásicos, un ejemplo es que la dimensión en la mayoría de los fractales no se ajusta a los conceptos tradicionales de la dimensión euclidiana o dimensión topológica. Más aún, su valor raramente puede ser expresado con un número entero. Por tal surge en la geometría fractal la definición de la dimensión fractal.

La dimensión fractal es una medida numérica de la rugosidad de un objeto, que refleja las propiedades de escalamiento y el grado de autosimilitud.

No existen una única dimensión fractal, sino una serie de dimensiones que, frecuentemente, resultan equivalentes, aunque no siempre. Entre estas dimensiones se encuentran la dimensión de Hausdorff, la dimensión de box-counting, la dimensión de correlación, la dimensión de empaquetamiento, etc.

Con el surgimiento de esta nueva geometría, surgen nuevos conceptos y definiciones para explicar las características de este nuevo conjunto. Uno de ellos es el término de dimensión fractal, pero para poder entender este, hay que analizar el concepto de dimensión topológica.

La dimensión topológica es un término que introdujo Henri Poincaré (1854-1912), físico francés y uno de los principales matemáticos del siglo XIX; quien la definió como: *"un objeto tiene dimensión topológica "m" cuando cualquier recubrimiento de ese objeto, tiene dimensión topológica "m"*. La definición inductiva dada por Poincaré al introducir este concepto fue la siguiente:

- El conjunto vacío tiene dimensión -1 .
- Si los bordes de los entornos pequeños de todos los puntos del ente son espacios $(n-1)$ -dimensionales, se dice que el espacio que consideramos es n -dimensional.

Por ejemplo, en un plano cualquiera (entendido este como un conjunto de puntos coplanares), los puntos que conforman su borde serán siempre líneas (no importa si rectas o curvas), por lo que si para el borde se cumple que $D = n - 1$, siendo su dimensión $D = 1$, entonces la dimensión del plano será $n = D + 1 = 1 + 1 = 2$. Dicho de otra forma, un espacio cualquiera es n -dimensional y será el soporte o marco físico de entes o formas de dimensión cuyo valor será siempre $D \leq n$, y su borde estará compuesto siempre de formas de valor dimensional $D = n - 1$. Se tiene que un plano es una forma cuya dimensión topológica vale 2, puede contener otras formas de 2, 1 o 0 dimensiones, como otros planos, líneas o puntos, y la dimensión de su borde siempre es 1, esto es, en forma de línea recta. La Tabla 1, ilustra las definiciones en las cuatro dimensiones básicas del espacio euclidiano.

Tabla 1. Relaciones entre forma, borde y dimensión. (Echeverri, 2011)

Espacio de dimensión topológica (n):	Que puede contener formas de (n) dimensiones:	Tales como:	Y cuyo borde tiene una dimensión (n-1):	Que corresponde a la forma:
0	0	Puntos	-1	Vacío
1	0, 1	Puntos y líneas	0	Punto
2	0, 1, 2	Puntos, líneas y planos	1	Línea
3	0, 1, 2, 3	Puntos, líneas, planos y volúmenes	2	Plano

Otra definición de la dimensión topológica de un objeto geométrico la dio K. Devlin en 1988. Es la definición por el movimiento: *“En una curva solo podemos movernos en una dirección, adelante o hacia atrás. En una superficie podemos ir adelante, atrás, a derecha, a izquierda. En un volumen podemos movernos, además, hacia arriba, hacia abajo. La curva tiene una dimensión, la superficie tiene dos dimensiones y el volumen tiene tres dimensiones.”*

Mandelbrot definió un fractal como: “Un fractal es, por definición, un conjunto cuya dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica”. Pero esta definición excluye un número de conjuntos que claramente son fractales.

La dimensión (en el sentido topológico) de un objeto ante una transformación se debía de conservar. Pero más tarde G. Cantor, G. Peano y D. Hilbert crearon conjuntos de puntos y curvas que no cumplían con lo anterior. Dichos objetos matemáticos no se pueden caracterizar por parámetros invariantes (Rodríguez M., 1995). Y fue Hausdorff y luego Besicovitch los que se dieron cuenta de esto y propusieron una dimensión que si lograba cuantificar el cambio de estos conjuntos. La dimensión de Hausdorff $H(X)$ de un objeto fractal X mide el número de conjuntos de longitud L que hacen falta para cubrir X por L .

A un conjunto fractal F se le atribuyen las siguientes características:

- i. F tiene una estructura fina, posee detalle a cualquier escala de observación.
- ii. F es muy irregular para ser descrito por el lenguaje de la geometría tradicional.

- iii. Frecuentemente F tiene alguna forma de auto-similitud (exacta, aproximada o estadísticamente).
- iv. Usualmente la dimensión fractal de F es más grande que su dimensión topológica.
- v. En muchos casos, F es definida mediante un simple algoritmo recursivo.

No basta con una sola de estas características para definir un fractal. Por ejemplo, la recta real no se considera un fractal, pues a pesar de ser un objeto autosimilar carece del resto de características exigidas.

Además de lo anterior, en el campo de la geometría fractal, se presenta una característica fundamental de los fractales, conocida como autosimilitud.

Muchos fractales están compuestos de partes que son de alguna forma similar a toda la estructura. Por ejemplo, el conjunto de Cantor es la unión de dos copias similares de sí mismo, y la curva de von Koch está compuesta de cuatro copias similares.

Según B. Mandelbrot, un objeto es autosimilar o autosemejante si sus partes tienen la misma forma o estructura que el todo, aunque pueden presentarse a diferente escala y pueden estar ligeramente deformadas.

Los fractales pueden presentar tres tipos de autosimilitud:

- Autosimilitud exacta: exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas. A menudo la encontramos en fractales definidos por sistemas de funciones iteradas (IFS). Dentro de estos se encuentra la curva de Koch, el conjunto de Cantor.

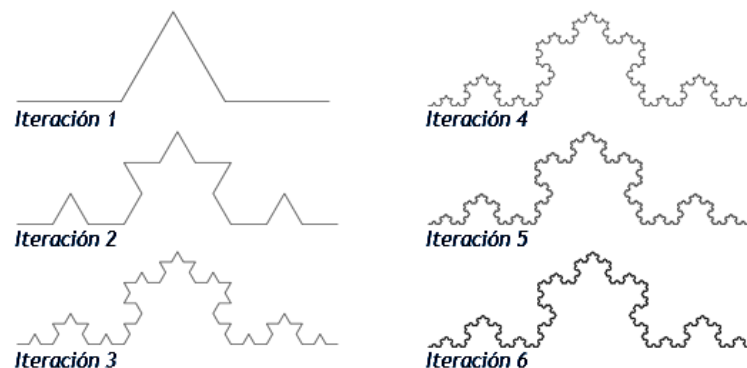


Figura 1. Curva de Koch (Merizalde Merizalde, 2018).

- Cuasiautosimilitud: exige que el fractal parezca aproximadamente idéntico a diferentes escalas. Los fractales de este tipo contienen copias menores y distorsionadas de sí mismos. Matemáticamente D.Sullivan definió el concepto de conjunto cuasiauto-similar a partir del concepto de cuasi-isometría. Los fractales definidos por relaciones de recurrencia son normalmente de este tipo. Un ejemplo es el conjunto de Mandelbrot que al variar la escala se obtienen copias del conjunto con pequeñas diferencias.

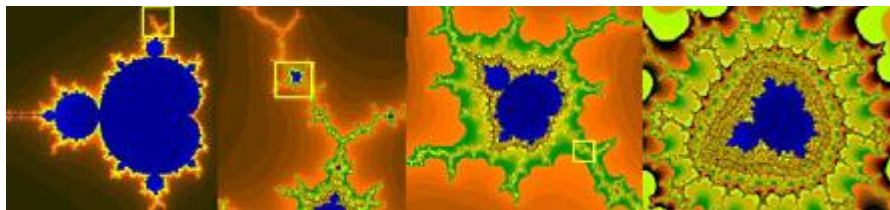


Figura 2. Conjunto de Mandelbrot (Joye, 2007).

- Autosimilitud estadística: se exige que el fractal tenga medidas numéricas o estadísticas que se preserven con el cambio de escala. Los fractales aleatorios son ejemplos de fractales de este tipo, como el vuelo de Lévy, los paisajes fractales o los árboles brownianos.



Figura 3. Figura de Lichtenberg producida por una descarga (Huang & Zhi, 2016).

Un conjunto compacto X es autosimilar (exacto) si existe un conjunto finito de homeomorfismos no sobreyectivos $\{F_1, \dots, F_n\}$ para el cual:

$$X = \bigcup_k^n F_k(X) \quad (1)$$

Si $X \subset Y$, se dice que X es autosimilar si es el único subconjunto no vacío de Y tal que la ecuación anterior es válida para $\{F_k\}_{k=1\dots n}$. Se dice que

$$\mathcal{L} = (X, S, \{F_k\}_{k=1\dots n}) \quad (2)$$

Si D es un subconjunto cerrado de R^n , $S: D \rightarrow D$ es llamada una contracción en D si hay un número c con $0 < c < 1$ tal que $|S(x) - S(y)| \leq c|x - y|$ para todo x, y en D . Si la igualdad se mantiene, $|S(x) - S(y)| = c|x - y|$, después S transforma el conjunto en geométricamente similar, y S se puede llamar una similaridad.

$S_1, \dots, S_m$ son contracciones. Se puede llamar un subconjunto F de D invariante para la transformación S_i si:

$$F = \bigcup_{i=1}^m S_i(F) \quad (3)$$

Es una estructura autosimilar.

La propiedad fundamental de un IFS es que determina un único atractor, el cual usualmente es un fractal. Un sistema iterativo de funciones (SIF) sobre R^n se define a partir de un conjunto finito de contracciones $\{F_1, \dots, F_n\}$ con $n \geq 2$. El carácter contractivo de estas funciones implica que:

$$|F_i(x) - F_i(y)| \leq r_i |x - y|, \quad r_i < 1 \quad (4)$$

Si sobre un conjunto se aplican reiteradamente las anteriores aplicaciones contractivas (iterativamente), lo que resultará en un sistema iterativo de funciones (SIF).

Estas aplicaciones inducen una aplicación sobre el conjunto de partes del espacio métrico:

$$F: P(X) \rightarrow P(X), \quad (5)$$

$$F(A) = \bigcup_{i=1}^k F_i(A) \quad (6)$$

Una propiedad fundamental de los SIFs es que existe un punto fijo que es un conjunto compacto E tal que:

$$E = \bigcup_{i=1}^n F_i(E) \quad (7)$$

Observamos que esta condición nos indica que el conjunto es igual a la unión de copias de sí mismo de menor tamaño.

A continuación, se ampliarán estas definiciones con la construcción de la curva de Koch.

Helge von Koch introdujo la curva que lleva su nombre en 1904 y como un ejemplo de una curva que no tiene tangente en ningún punto. Para construir la curva de Koch, se parte del segmento unidad eliminando el intervalo abierto central de longitud $\frac{1}{3}$ y sustituyéndolo por dos intervalos de longitud cada uno de ellos y que forman con el intervalo eliminado un triángulo equilátero. Con esto se obtiene una curva formada por cuatro segmentos de longitud $\frac{1}{3}$. Si se repite este proceso sobre cada uno de los segmentos se obtiene otra curva formada por 4^2 segmentos de longitud $\frac{1}{9}$ cada uno de ellos, y así sucesivamente.

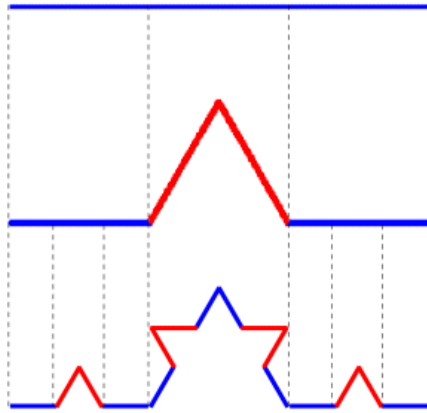


Figura 4. Construcción de la Curva de Koch (Riddle, 2020).

La primera iteración para la curva de Koch consiste en tomar cuatro copias del segmento de línea horizontal de la unidad, cada una con una escala de $r = 1/3$. Dos segmentos deben girarse 60° , uno en sentido antihorario y otro en sentido horario. Junto con las traslaciones requeridas, esto produce el siguiente IFS (Iterated function systems).

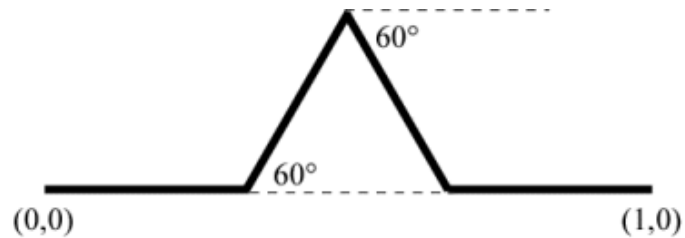


Figura 5. Curva de Koch (Riddle, 2020).

Muchos fractales se pueden obtener como atractores de sistemas de funciones iteradas. La curva de Koch es un ejemplo bien conocido. Es el atractor del IFS que consiste en las contracciones de similitud f_1, f_2, f_3, f_4 en el plano de tal manera que (Demir, Özdemir, & Saltan, 2013):

$$f_1(x, y) = \left(\frac{x}{3} + \frac{y}{3}\right) \quad (8)$$

$$f_2(x, y) = \left(\frac{x}{6} - \frac{\sqrt{3}y}{6} + \frac{1}{3}, \frac{\sqrt{3}x}{6} + \frac{y}{6}\right) \quad (9)$$

$$f_3(x, y) = \left(\frac{x}{6} + \frac{\sqrt{3}y}{6} + \frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}x}{6} + \frac{y}{6} + \frac{\sqrt{3}}{6}\right) \quad (10)$$

$$f_4(x, y) = \left(\frac{x}{3} + \frac{2}{3}, \frac{y}{3}\right) \quad (11)$$

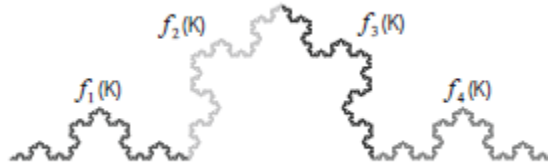


Figura 6. La curva de Koch K es la unión de 4 copias similares de sí misma (Demir et al., 2013).

Pero estas funciones son obtenidas como se explica a continuación:

Consideramos la curva de Koch $K \subset \mathbb{R}^2$. Entonces $K = \coprod_{i=1}^4 K_i$ siendo K_i , $1 \leq i \leq 4$, tales que $f_i(K) = K_i$ y, por tanto, tales que

$$K = \bigcap_{i=1}^4 f_i(K) \quad (12)$$

La semejanza f_1 es una homotecia de centro el origen y razón $1/3$, luego

$$f_1 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (13)$$

Que es lo mismo

$$f_1(x, y) = \left(\frac{x}{3}, \frac{y}{3} \right) \quad (14)$$

La semejanza f_2 es una homotecia de centro el origen y razón $1/3$, seguida de un giro de centro en el origen y ángulo 60° y seguida de una traslación del vector $\left(\frac{1}{3}, 0 \right)$, luego

$$f_2 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 60^\circ & -\sin 60^\circ \\ \sin 60^\circ & \cos 60^\circ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Y desarrollando

$$f_2(x, y) = \left(\frac{x \cos 60^\circ - y \sin 60^\circ + 1}{3}, \frac{x \sin 60^\circ + y \cos 60^\circ}{3} \right) \quad (16)$$

$$f_2(x, y) = \left(\frac{x}{6} - \frac{\sqrt{3}y}{6} + \frac{1}{3}, \frac{\sqrt{3}x}{6} + \frac{y}{6} \right) \quad (17)$$

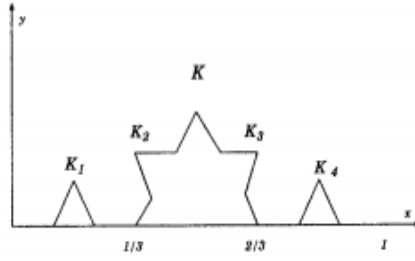


Figura 7. Cada una de las partes K_i , $1 \leq i \leq 4$, de la curva de Koch indicadas es semejante a la curva total K .

La semejanza f_3 es una homotecia de centro en el origen y razón $1/3$, seguida de un giro de centro el origen y ángulo -60° y seguida de una traslación de vector $\left(\frac{\sqrt{3}}{3} \cos 30^\circ, \frac{\sqrt{3}}{3} \sin 30^\circ \right) = \left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{6} \right)$, luego

$$f_3 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-60^\circ) & -\sin(-60^\circ) \\ \sin(-60^\circ) & \cos(-60^\circ) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{6} \end{pmatrix} \quad (18)$$

Y desarrollando

$$f_3(x, y) = \left(\frac{x \cos 60^\circ - y \sin 60^\circ}{3} + \frac{1}{2}, \frac{-x \sin 60^\circ + y \cos 60^\circ}{3} + \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \quad (19)$$

$$f_3(x, y) = \left(\frac{x}{6} + \frac{\sqrt{3}y}{6} + \frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}x}{6} + \frac{y}{6} + \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \quad (20)$$

Por último, la semejanza f_4 es una homotecia de centro en el origen y razón $1/3$, seguida de una translación vector $(2/3, 0)$, luego

$$f_4 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{2}{3} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (21)$$

O bien

$$f_4(x, y) = \left(\frac{x+2}{3}, \frac{y}{3} \right) \quad (22)$$

Todas las aplicaciones f_i , $1 \leq i \leq 4$, son contractivas de razón $1/3$.

La curva de Koch es un conjunto compacto tal que:

$$K = f_1(K) \cup f_2(K) \cup f_3(K) \cup f_4(K) \quad (23)$$

Un fractal natural como un árbol está formado por múltiples copias, que son las ramas, aproximadamente similares al todo. A su vez las ramas contienen copias de sí mismas, las subramas. En este ejemplo, la autosimilitud es solo aproximada o estadística y recibe entonces el nombre de autoafinidad. Los conjuntos autoafines forman una clase importante dentro de los conjuntos fractales, el cual incluye conjuntos autosimilares como un caso particular. Una transformación de afinidad $S: R^n \rightarrow R^n$ es una transformación de la forma:

$$S(x) = T(x) + b \quad (24)$$

donde T es una transformación lineal no singular en R^n y b es un vector en R^n . Así una transformación autoafín S es una combinación de traslación, rotación, dilatación y posiblemente reflexión. Ejemplos de este tipo de transformación son transformar una esfera en un elipsoide, un cuadrado en un paralelogramo, etc. A diferencia de las similaridades, en la transformación afín el efecto de contracción o expansión no necesariamente es en la misma proporción en todas las direcciones. Un ejemplo es el helecho y la hierba de la Figura 8.

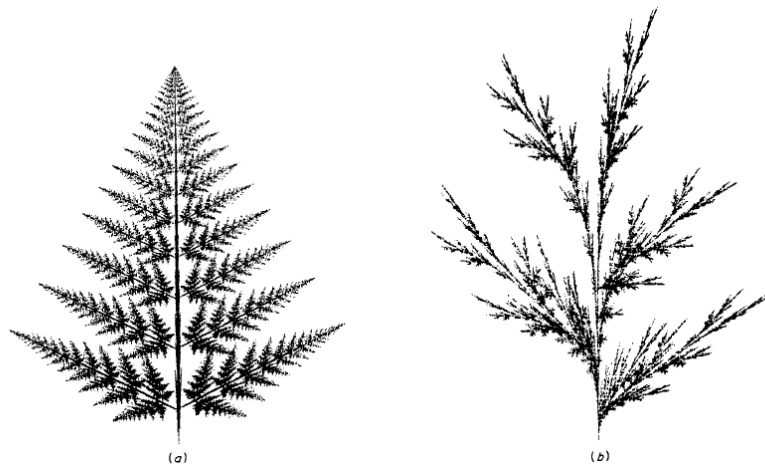


Figura 8. El helecho (a) y la hierba(b) son conjuntos invariantes de solo cuatro y seis transformaciones afines, respectivamente (Falconer,1991)

2.2 Rango reescalado

El método de Rango reescalado fue propuesto por el hidrólogo inglés Harold Edwin Hurst 1951. Hurst dedicó sus investigaciones al estudio de la hidrología del río Nilo, en particular estaba interesado en los cambios anuales en el nivel del agua para adaptar la capacidad de almacenamiento de la presa de acuerdo con el entorno natural. Hurst observó que las inundaciones podrían caracterizarse como persistentes, es decir, las inundaciones más intensas iban acompañadas de inundaciones por encima del promedio, mientras que las inundaciones por debajo del promedio fueron seguidas por inundaciones menores. En el proceso de este hallazgo, desarrolló el análisis de rango reescalado (R/S) (Harrouni & Guessoum, 2009).

El análisis de rango reescalado ha sido muy usado para analizar las propiedades escalares, estadísticos y el comportamiento antipersistente, persistente y aleatorio de series de tiempo.

El método consta de los siguientes pasos:

1. Se inicia con una serie de tamaño M . Se define el perfil de entrada, este se obtiene de la diferencia entre los registros de dos puntos consecutivos:

$$M'_i = M_i - M_{i+1} \quad (25)$$

Donde M_i es el registro para el tiempo i .

2. Se obtiene el promedio de diferencias para el ancho de ventana seleccionado como:

$$\langle M' \rangle_w = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w I'_i \quad (26)$$

3. Se resta el promedio de las diferencias obtenidas en el paso anterior al perfil de entrada M'_i .
Definida como:

$$X(i, w) = \sum_{u=1}^i [M'_u - \langle M' \rangle_w] \quad (27)$$

4. Finalmente, el rango R y la desviación estándar S están dadas por:

(28)

$$R(w) = \max_{1 \leq i \leq w} X(i, w) - \min_{1 \leq i \leq w} X(i, w)$$

$$S(w) = \left\{ \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w [M'_i - \langle M' \rangle_w]^2 \right\}^{1/2} \quad (29)$$

Donde:

$R(w)$, es el rango tomado por los valores de X en el intervalo w . El rango se mide con respecto a una tendencia en la ventana w , donde la tendencia se estima simplemente como la línea que conecta el primer y el último punto dentro de la ventana. Esto sustrae la tendencia promedio en la ventana.

$S(w)$, es la desviación estándar de las primeras diferencias de M'_i dentro de un ancho de ventana. Las primeras diferencias de M'_i como anteriormente se mencionó, son definidas como las diferencias entre un valor y el valor consecutivo.

De donde se obtiene, para cada valor de longitud de ventana w , un valor de R/S que obedece a una ley de potencia.

$$R/S(w) = w^H \quad (30)$$

Donde H es el exponente de Hurst. Este proceso se repite para varias longitudes de ventana, y los logaritmos de $R/S(w)$ se trazan vs los logaritmos de w . Si la traza es auto-afín, esta gráfica debe seguir una línea recta cuya pendiente es igual al exponente de Hurst H . El valor del exponente de Hurst toma valores de 0 a 1 ($0 < H < 1$) y permite medir la persistencia de una serie de tiempo. Por lo tanto:

- Las caminatas aleatorias gaussianas, o, en general, los procesos independientes, tienen un $H = 0.5$.
- Si $0.5 < H < 1$, se indica dependencia positiva, y la serie se llama persistente.
- Si $0 < H < 0.5$, se indica dependencia negativa, produciendo anti-persistencia.

La dimensión fractal se puede calcular mediante la siguiente ecuación que relaciona el exponente de Hurst H y la dimensión fractal D :

$$D = 2 - H \quad (31)$$

Si la dimensión fractal D toma el valor de 1.5, obtenemos el movimiento Browniano. En este caso no hay correlación entre los cambios de amplitud correspondientes a dos intervalos de tiempo sucesivos. Por lo tanto, no se puede distinguir una tendencia en la amplitud de las series de tiempo

y, por lo tanto, el proceso es impredecible. Sin embargo, a medida que la dimensión fractal disminuye a 1.0, el proceso se vuelve más y más predecible a medida que exhibe *persistencia*, es decir, la tendencia futura o pasada es cada vez más probable que siga una tendencia. A medida que la dimensión fractal aumenta de 1.5 a 2.0, el proceso exhibe *anti-persistencia*, es decir, una disminución en la amplitud del proceso es más probable que conduzca a un aumento en el futuro o en el pasado. Por lo tanto, la previsibilidad aumenta nuevamente. (S. Rehman & Siddiqi, 2009).

Se dice que una serie de tiempo es estrictamente estacionaria si todos los momentos son independientes de la duración de la serie de tiempo considerada.

Una serie de tiempo se dice ser estacionaria si no hay un cambio sistemático en la media, si no hay un cambio sistemático en la varianza y si las variaciones estrictamente periódicas han sido removidas. En otras palabras, las propiedades de una sección de los datos son muy parecidas a las de cualquier otra sección.

La persistencia mide la correlación entre dos valores adyacentes dentro de la serie de tiempo, esta puede ser fuerte, débil o inexistente (ruido blanco)(Malamud & Turcotte, 1999). Los valores de una serie de tiempo pueden afectar a otros valores de la serie tiempo tanto como estén cerca o lejanos.

De acuerdo a Malamud y Turcotte (1999), el exponente de Hurst es una medida de la fuerza de persistencia de una serie de tiempo, así como de la estacionariedad de la misma (Tabla 2).

Tabla 2. Características de una serie de tiempo, de acuerdo al valor del exponente de Hurst y la dimensión fractal

Dimensión fractal	Exponente de Hurst	Persistencia	Estacionariedad
$1.2 \geq D \geq 1.0$	$0.8 \leq H \leq 1$	Persistencia fuerte	No estacionaria
$1.5 \geq D \geq 1.2$	$0.5 \leq H \leq 0.8$	Persistencia débil	Estacionaria
$D = 1.5$	$H = 0.5$	Sin relación	Estacionaria
$2.0 \geq D \geq 1.5$	$0 \leq H \leq 0.5$	Antipersistencia	Estacionaria

El término “persistencia” indica que una tendencia creciente o una tendencia decreciente en el pasado implica, respectivamente, una tendencia creciente o una tendencia decreciente en el futuro. Por otro lado, se llama "anti-persistencia" cuando una tendencia creciente o una tendencia decreciente en el pasado que implica una tendencia decreciente o creciente en el futuro.

Un ejemplo de serie antipersistente es la Figura 9, que muestra los niveles del lago Naivasha para el periodo de 1951–2000. Mediante el análisis de rango reescalado, el Hurst arrojó un valor de 0.44 que es propio de una serie antipersistente. Un Hurst $0.5 < H < 0.5$ corresponde a un comportamiento de anti-persistencia o anti-correlacional en series de tiempo. Un aumento en los eventos del pasado supone un descenso en los eventos futuros y viceversa. Un sistema anti-persistente tiende a regresar constantemente a su lugar de origen y tiene la particularidad de que se trata de señales muy irregulares. Este tipo de comportamiento es conocido también como ruido rosa y se caracteriza porque es abundante en la naturaleza y se relaciona con los procesos de turbulencia. (Plazas Nossa, Ávila Angulo, & Moncada Méndez, 2014)

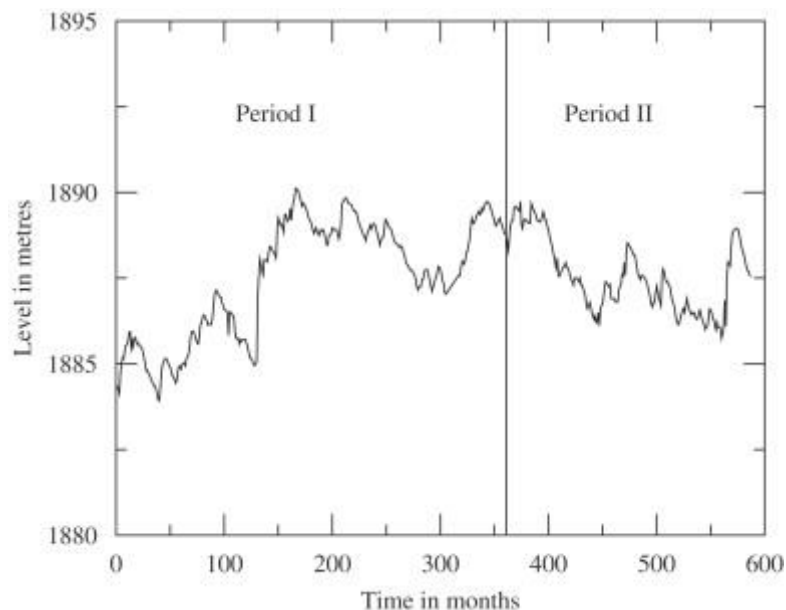


Figura 9. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst menor a 0.5, implicando anti-persistencia (Tarafdar & Harper, 2008)

La figura 10, representa una serie de tiempo persistente del NO_2 en la ciudad de México. Un incremento en el tiempo va acompañado de un incremento en el futuro y lo mismo una disminución va seguida de otra disminución. Si $0.5 < H < 1$, se trata de series de tiempo que presentan persistencia o procesos correlacionados (un período de crecimiento es seguido por otro similar) y tienen una apariencia suave. Una serie de tiempo persistente se caracteriza por efectos de memoria a largo plazo. Teóricamente lo que sucede en el presente afectará el futuro para siempre, todos los cambios actuales están correlacionados con todos los cambios futuros. Las series persistentes son las más comunes en la naturaleza (Ruido negro)(Plazas Nossa et al., 2014).

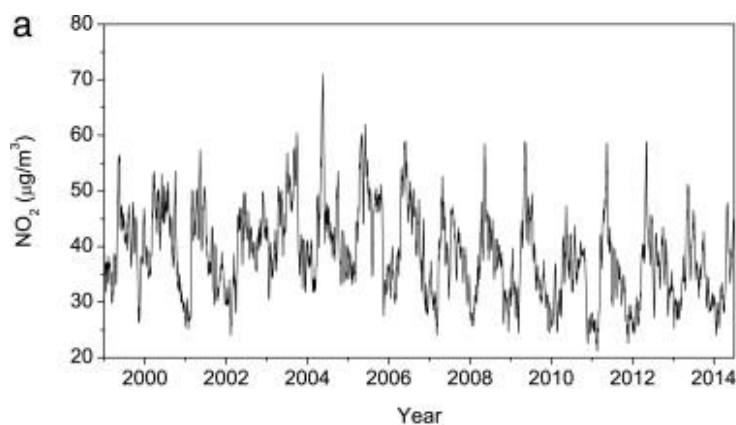


Figura 10. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst mayor a 0.5, implicando persistencia(M. Meraz, Rodriguez, Femat, Echeverria, & Alvarez-Ramirez, 2015)

Si $H = 0.5$, entonces la serie es aleatoria y corresponde a ruido blanco, significa que es un movimiento browniano. Implica un proceso totalmente aleatorio e independiente, con la ausencia de correlación entre incrementos de la señal (Plazas Nossa et al., 2014) (Figura 11)

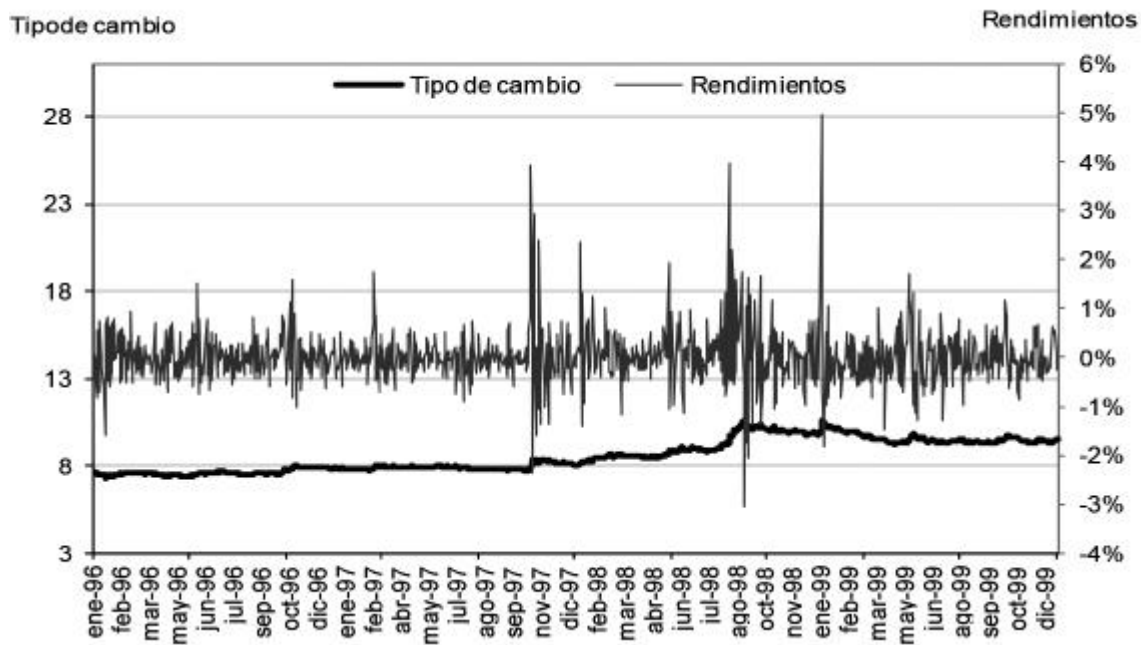


Figura 11. Serie de tiempo con valor del exponente de Hurst igual a 0.5, implicando aleatoriedad(Aguilar, 2014).

Otra forma de determinar y verificar la estacionariedad en una serie de tiempo es mediante la función de autocorrelación al interpretar el correlograma.

Una guía importante de las propiedades de una serie temporal es proporcionada por una cantidad llamada coeficientes de autocorrelación de muestra, que miden la correlación entre observaciones a diferentes distancias. Estos coeficientes a menudo proporcionan información sobre el modelo de probabilidad que generó los datos. Un conjunto de datos exhibe autocorrelación si los valores x_i en el tiempo t_i esta correlacionados con un valor X_{i+d} en el tiempo t_{i+d} donde d es el incremento de tiempo en el futuro.

En un proceso de gran memoria, la autocorrelación decae con el tiempo y la descomposición sigue una ley de potencia, a saber:

$$p(k) = Ck^{-\infty} \quad (32)$$

Donde C es una constante y $p(k)$ es la función de autocorrelación. Para $X_1, X_2, \dots, X_n$ en un tiempo $t_1, t_2, \dots, t_n$ la función de autocorrelación en el retraso k (lag_k) es definida como:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (33)$$

Donde:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (34)$$

Cabe señalar que, en la definición, las observaciones están equiespaciadas. La autocorrelación es un coeficiente de correlación. Sin embargo, en lugar de la correlación entre dos variables diferentes, la correlación es entre dos valores de la misma variable en el momento t_i y t_{i+k} . La función de autocorrelación se está utilizando para detectar la falta de aleatoriedad en los datos y para identificar un modelo de serie temporal apropiado si los datos no son aleatorios. Cuando se utiliza la autocorrelación para detectar la falta de aleatoriedad, generalmente es la primera autocorrelación ($lag1$) lo que interesa. Cuando la autocorrelación se utiliza para identificar el modelo de serie temporal apropiado, la autocorrelación se traza para muchos retrasos.

El correlograma: Es un gráfico que ayuda a interpretar un conjunto de coeficientes de autocorrelación en el que r_k es graficado contra los retrasos k .

Interpretación del correlograma:

- a) Una serie aleatoria: Si una serie es completamente aleatoria, para grandes valores de N , $r_k \cong 0$ para todos los valores de $k > 0$.
- b) Correlación de corto plazo: Las series estacionarias frecuentemente exhiben correlaciones de corto plazo, caracterizado por un valor bastante grande de r_1 seguido por 2 o 3 más coeficientes que, aunque significativamente mayores que cero, tienden a ser sucesivamente más pequeños. Los valores de r_k para retrasos más largos tienden a ser aproximadamente cero. Un ejemplo de tal correlograma se muestra en la Figura 12. Una serie de tiempo que tiene este tipo de correlograma, es aquella para la cual una observación por encima de la media tiende a ser seguida por una o más observaciones por encima de la media, y de manera similar para observaciones por debajo de la media.

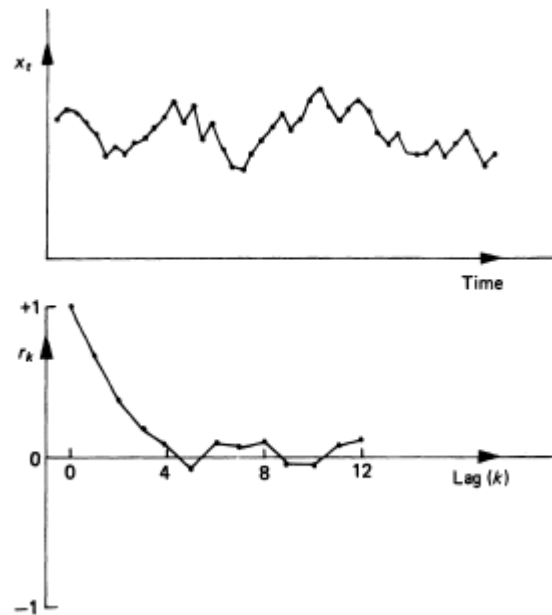


Figura 12. Serie de tiempo con correlación a corto plazo y su correlograma (Chatfield, 1984).

- c) Series alternas: Si una serie temporal tiende a presentar valores alternativamente por encima y por debajo, entonces el correlograma también tiende a alternarse. El valor de r_1 será negativo. Sin embargo, el valor de r_2 será positivo ya que las observaciones en el rezago o “lag” 2 tenderán a estar en el mismo lado de la media. Una serie típica de este tipo con su correlograma se muestran en la Figura 13.

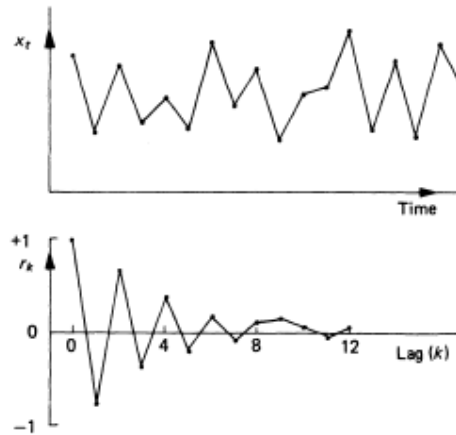


Figura 13. Serie de tiempo alterna con su correlograma (*Chatfield, 1984*).

- d) Series no estacionarias: Si una serie de tiempo contiene una tendencia, los valores de r_k no se reducirán a cero, excepto para valores muy grandes del retraso. Esto se debe a que una observación en un lado de la media tiende a ser seguida por una gran cantidad de observaciones adicionales en el mismo lado de la media debido a la tendencia. Poco se puede inferir de un correlograma de este tipo, ya que la tendencia domina las demás características. De hecho, la función de autocorrelación, $\{r_k\}$, solo debe calcularse para series temporales estacionarias y, por lo tanto, cualquier tendencia debe eliminarse antes de calcular $\{r_k\}$. La Figura 14 muestra una serie no estacionaria y su correlograma.

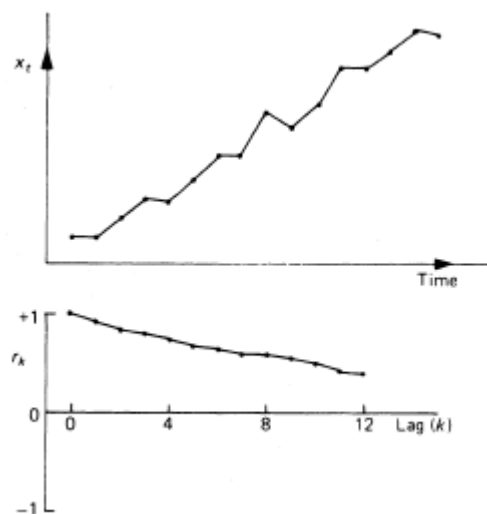


Figura 14. Serie de tiempo no estacionaria y su correlograma (*Chatfield, 1984*).

- e) Series con fluctuaciones estacionales: Si una serie de tiempo contiene una fluctuación estacional, entonces el correlograma también exhibirá una oscilación a la misma frecuencia. La *Figura 15*, muestra el correlograma de los datos de temperatura del aire mensuales.

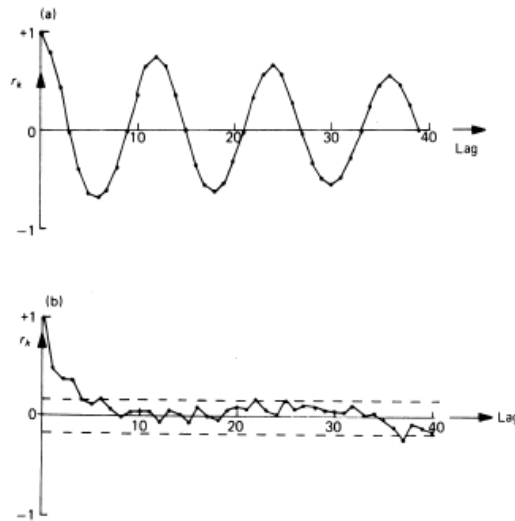


Figura 15. Correlograma de observaciones mensuales de la temperatura del aire en Recife (a) datos directos, (b) para los datos ajustados estacionalmente (Chatfield, 1984).

El patrón sinusoidal del correlograma es claramente evidente, pero para los datos estacionales de este tipo, el correlograma proporciona poca información.

Si la variación estacional se elimina de los datos estacionales, entonces el correlograma puede proporcionar información útil.

- f) Valores atípicos: Si una serie temporal contiene uno o más valores atípicos, el correlograma puede verse seriamente afectado y generalmente es aconsejable ajustar los valores atípicos.

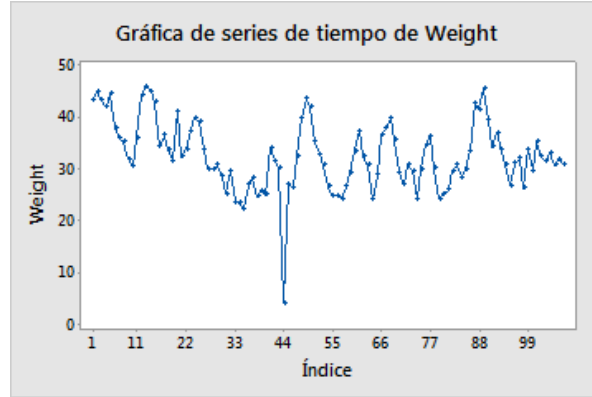


Figura 16. Serie de tiempo con un valor atípico.

- g) Observaciones generales: Es evidente que se requiere una experiencia considerable en la interpretación de los coeficientes de autocorrelación.

2.3 Índice de previsibilidad climática

En 1997 Rangarajan, basado en la teoría del exponente de Hurst y la dimensión fractal, propuso un nuevo concepto: el índice de previsibilidad climática (IP_C) que tenía como objetivo encontrar la relación entre los parámetros meteorológicos y se ha aplicado para estudiar la dinámica climática en India y Arabia Saudita. Este método es útil para cambiar el énfasis de las dimensiones fractales a la previsibilidad.

El índice de predictibilidad de la presión ($IP_{Presión}$), la temperatura (IP_T), precipitación ($IP_{precipitación}$), humedad relativa (IP_{HR}) y la velocidad del viento (IP_{VV}) son definidos como:

$$IP_{Presión} = |D_{Presión} - 1.5| \quad (35)$$

$$IP_T = |D_T - 1.5| \quad (36)$$

$$IP_{Precipitación} = |D_{Precipitación} - 1.5| \quad (37)$$

$$IP_{HR} = |D_{HR} - 1.5| \quad (38)$$

$$IP_{VV} = |D_{VV} - 1.5| \quad (39)$$

Donde $D_{Presión}$, D_T , $D_{Precipitación}$, D_{HR} y D_{VV} son la dimensión fractal de las series de tiempo de presión, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad viento respectivamente.

Aquí $|D|$ denota el valor absoluto del número D . Esto debido a que la previsibilidad puede aumentar en los siguientes casos: cuando la dimensión fractal es menor que 1.5 y cuando esta es más grande que 1.5. En el primer caso hay correlación positiva o persistencia y en el segundo caso un comportamiento de anti-correlación o antipersistencia. Sin embargo, en ambos casos el proceso es muy predecible. Al usar el valor absoluto, aseguramos que un proceso con $D=1.3$ tiene el mismo índice de previsibilidad que un proceso con una dimensión fractal $D=1.7$.

El índice de previsibilidad climática para la precipitación, la humedad relativa y la velocidad del viento en términos de los índices de previsibilidad de la presión y la temperatura son definidos como se muestra a continuación:

$$IP_{CPrecipitación} = (IP_{Presión}, IP_{Temperatura}, IP_{Precipitación}) \quad (40)$$

$$IP_{CHR} = (IP_{Presión}, IP_{Temperatura}, IP_{HR}) \quad (41)$$

$$IP_{CVV} = (IP_{Presión}, IP_{Temperatura}, IP_{VV}) \quad (42)$$

Si uno de los índices está cercano a cero, el proceso se aproxima a un movimiento browniano y por tal es impredecible. Si este se encuentra cercano a 1, el proceso es muy predecible.

Es útil tener los tres representados en un solo índice. Entonces es más fácil ver cómo cambian los tres subíndices en relación entre sí a medida que cambian las estaciones. Además, al introducir índices de previsibilidad en lugar de dimensiones fractales, se enfoca en cuán predecible es el proceso.

Un factor importante que no se ha incluido explícitamente en la composición del IPC son los parámetros geográficos de la ubicación; sin embargo, en muchos casos es posible que uno de los índices anteriores ya incluya implícitamente el efecto de los parámetros geográficos. En tales casos, los parámetros geográficos pueden ser útiles para explicar por qué uno de los índices adquiere el valor que tiene.

2.4 Vientos de Santa Ana

La cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe, es una región vitivinícola localizada al noroeste en el estado de Baja California, México. Está conformada por tres subcuencas y forma parte de la Región Hidrológica No. 1 (RH 1) de la vertiente del Océano Pacífico. Se encuentra a 30 Kilómetros de la ciudad de Ensenada, al interior de la península de Baja California. El Valle es en una extensión de zona rocosa-montañosa de 66.353 mil hectáreas sobre los márgenes del Arroyo Guadalupe con una elevación sobre el nivel del mar de 1.100 pies (335 metros). Tiene un microclima mediterráneo que es propicio para las actividades vitivinícolas. Tiene veranos muy calurosos y secos, sin lluvias, pero con brisas en las noches provenientes de la costa, inviernos suaves, ligeramente fríos y húmedos, la época de lluvias es entre noviembre y marzo. Por lo general en el año las temperaturas son estables, sin embargo, en episodios de "condición santana" cuando la dirección de los vientos cambia del continente hacia el mar, las temperaturas pueden elevarse muy por encima de lo normal; este fenómeno afecta por lo general al norte de Baja California y sur de California, y por lo general tiene una duración de 2 a 4 días. Las temperaturas récord van desde los 49 °C (junio de 1974) hasta -6°C (febrero 1987), con un régimen de lluvias entre 250 y 300mm anuales (L. Meraz, Valderrama, & Maldonado, 2012)(Quinonez Ramirez, Bringas Rabago, & Barrios Prieto, 2011).

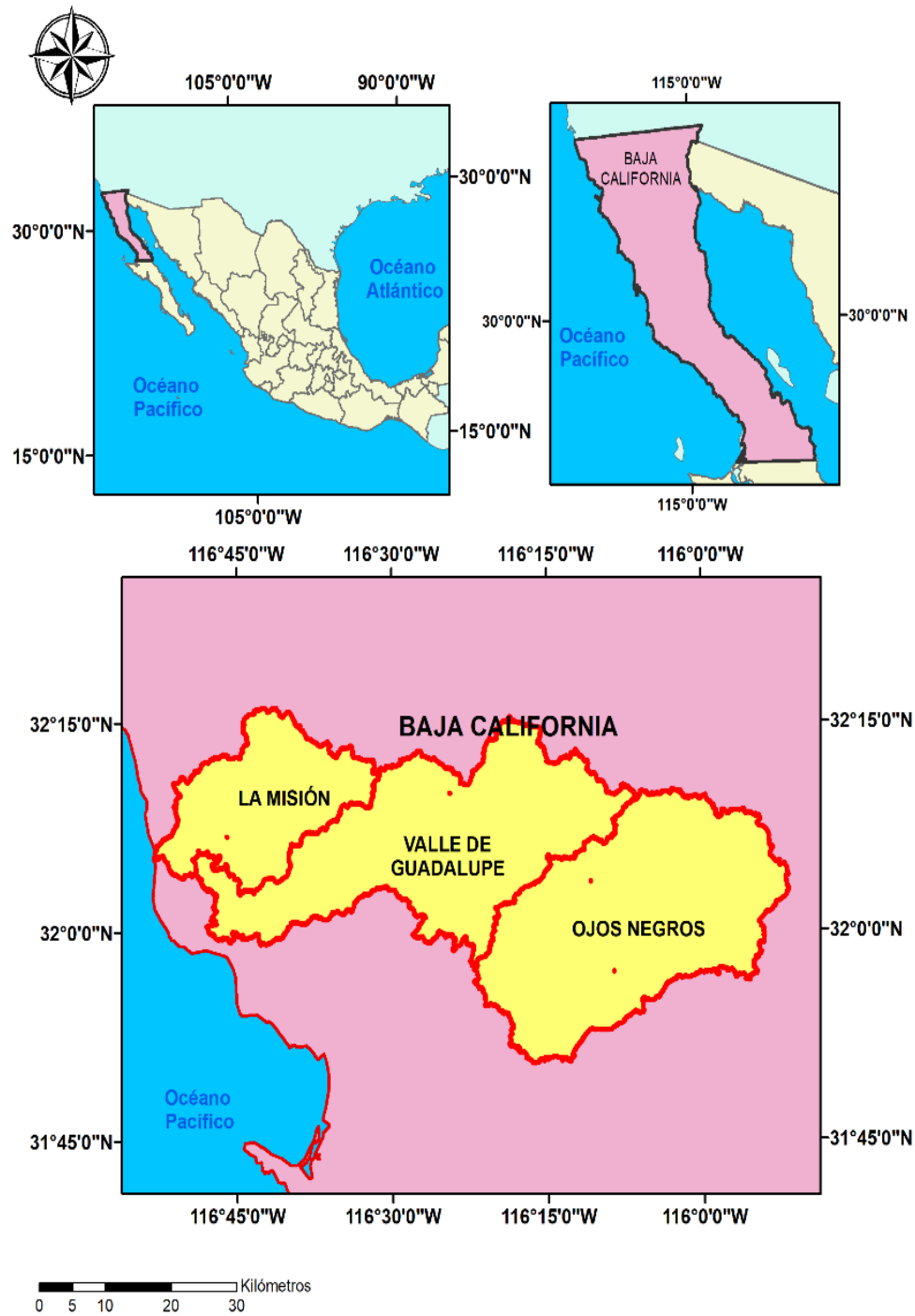


Figura 17. Ubicación de la zona de estudio.

El viento de Santa Ana es un viento cálido, seco, de tipo Föhn, del este o del noreste, que sopla desde el desierto este de la Sierra Nevada hasta la costa del sur de California (Glickman, 2000). Tiende a ocurrir en invierno y primavera. Si bien lleva el nombre del paso y el valle del río de Santa Ana, California, puede afectar gran parte de la región del sur de California.

La primera vez que se empezó hacer referencia a estos vientos fue en *Two Years Before the Mast*, en 1836 y *Commodore Stockton's* diario de 1847. Sin embargo, en ninguno de estos el nombre de Santa Ana fue usado. El nombre Santa Ana según Sergius (1962), está referenciado por primera vez en el artículo de los *Los Angeles Evening Express* del 15 de noviembre de 1880. Esta pieza titulaba “The Philosophy of Sandstorms”, que mostraba las características típicas del Santa Ana conocidas en esos días. El nombre está asociado a la ciudad de Santa Ana, mismo que comparte con el río y el valle de esta ciudad, al igual que con las montañas costeras que se extienden hacia el sureste desde el Cañón de Santa Ana.

El nombre Santa Ana también ha sido motivo de discusión por varios autores. Una teoría es que el nombre es “Santa Anna” por el general mexicano Antonio López de Santa Anna y su caballería que levantan el polvo. Pero esta teoría se desvanece a medida que el general y sus tropas no estuvieron cerca del sur de California.

Otra tendencia es referirse a los vientos de Santa Ana como de Santana. Para algunos solo es una elisión de dos vocales adyacentes. Otro origen de la palabra Santana se ha atribuido a los indígenas, que mencionaron fenómenos como el viento de los espíritus malignos que fue traducido por los blancos como “Viento de Satanás” o “wind of Satan” que con el tiempo se convirtió en Santana. Pero no existen pruebas que sustenten esta teoría.

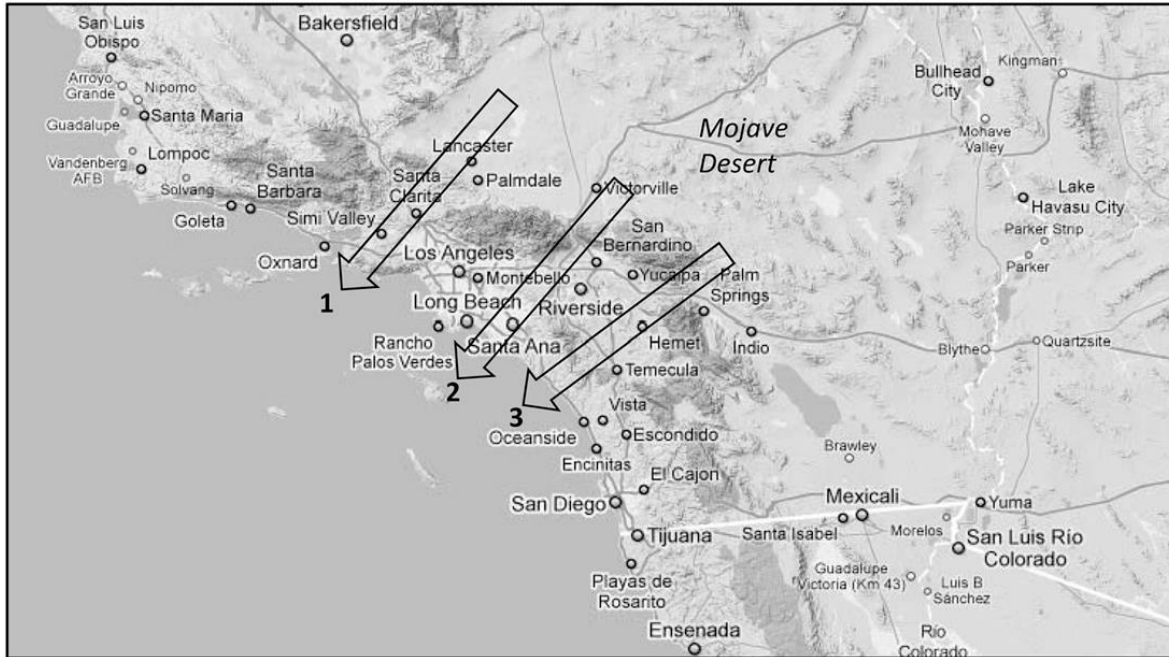


Figura 18. Características geográficas del sur de California donde se aprecia las principales regiones donde los Vientos de Santa Ana son típicamente intensos.

El viento de Santa Ana se ha definido en términos (individualmente o combinados) de su velocidad y dirección, gradientes de presión locales, temperatura asociada y humedad relativa.

Según la American Meteorological Society, en su glosario de meteorología define un viento Santa Ana como un viento seco, tipo foehn, que generalmente sopla desde el noreste o este, especialmente en el paso y río del valle de Santa Ana, California. Está impulsado por fuertes gradientes de presión de un anticiclón sobre la Gran Cuenca del oeste de Estados Unidos. Ocurre con mayor frecuencia a finales de otoño e invierno (octubre-marzo).

Los eventos de Vientos de Santa Ana comienzan al final de verano y principios del otoño, tiene un pico entre diciembre y enero, y decrece a principios de la primavera. La típica duración de la condición Vientos de Santa Ana es de 1-3 días, y en algunos casos extremos hasta más de 5 días (Jones, Fujioka, & Carvalho, 2010).

Los criterios para definir cuando ocurre un evento Santa Ana, varían de un autor a otro. Por ejemplo, en California esta condición está asociada mucho a los incendios, que el Servicio Meteorológico Nacional emite como “advertencia de bandera roja”. En el sur de California esta

advertencia se espera cuando la humedad relativa se baja (<15%) y las ráfagas de viento son fuertes (>35mph o 15.6 m/s) durante más de tres horas.

Rolinski de la unidad de Servicio de Predicción del Servicio Forestal de Estados Unidos propuso en colaboración con los meteorólogos Brian D'Agostino y Steven Vanderburg de San Diego gas y electricidad (SDG&E) un índice de amenaza para cuantificar el peligro de incendio que representan los vientos de Santa Ana. Denominado Índice de amenazas de incendios forestales de Santa Ana (SAWTI), consiste en una escala que consta de cuatro categorías, denominadas "marginal", "moderada", "alta" y "extrema" según las condiciones

SAWTI en realidad emplea una función numérica llamada gran potencial de fuego (LFP), que se calcula utilizando esta ecuación:

$$LFP = LFP_W \times FC = (0.001W_s^2 \times D_d) \times \left\{ \frac{1}{10} \left[\left(\frac{DL}{LFM} - 1 \right) + G \right] \right\} \quad (43)$$

Donde:

D_d = es la depresión del punto de rocío (°F) a 2m.

W_s = velocidad del viento en millas por hora.

DL (dryness level) = el nivel de sequedad del combustible, este incorpora el componente de liberación de energía (ERC), que representa la cantidad de calor por unidad de área generada por un incendio, combinada con la humedad del combustible muerto (DFM), niveles más alto representan condiciones más secas. El DFM representa el contenido de humedad de la vegetación leñosa.

LFM (live fuel moisture) = humedad del combustible vivo, es decir el contenido de humedad de la vegetación viva.

G(greenness)= es representado por un valor entero entre 0 y 5, donde el valor máximo representa las condiciones de menos verdor.

Rolinski en 2018, propuso una clasificación de las series de tiempo de Vientos Santa Ana, basados en el gran potencial de fuego (LFP_w) y los gradientes medios de presión del nivel del mar, mean sea-level pressure (MSLP), donde los criterios eran los siguientes: $LFP_w \geq 6$ y $W_s \geq 4.5 \frac{m}{s}$ (10mph); luego se aplicaron los SOM (Self-Organizing Maps) para verificar que la serie temporal solo contuviera días legítimos de vientos Santa Ana; con los SOM se verificaron los patrones climáticos más frecuentes de las zonas.

Sergius y Huntoon (1956) utilizaron los criterios de humedad relativa, velocidad del viento y dirección para definir el Viento de Santa Ana. Si la velocidad del viento promedio durante cuatro intervalos durante el día fue mayor o igual a 20 mph, la dirección del viento era del cuadrante noreste, y la humedad relativa a 1630 PST (hora estándar del Pacífico) era inferior al 40%, se consideró ser un evento de Santa Ana.

En 1964 Edinger, estudió siete años de base de datos del sur de California y la ocurrencia de un evento de Santa Ana venia con una caída de presión de 3mb, incremento de la temperatura de 9°C, vientos del norte con velocidades mayores a 30mph y humedad relativa del 30% o menos.

En 1983, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y el Servicio Nacional del Clima (NWS) desarrollaron una guía para la predicción de Santa Ana y recogieron algunos de los criterios que se usaban en ese momento para definir un evento Santa Ana. Richardson (1973) observó cambios como el aumento en la temperatura, decrecimiento de la humedad relativa, y en la velocidad y dirección del viento y las ráfagas. Rosenthal (1972) basa sus estadísticas en los siguientes criterios: 1) vientos del cuadrante noreste, 2) velocidad ≥ 12 nudos, 3) que al menos una observación horaria se encontrara los criterios 1 y 2, y 4) bajas humedades durante muchas horas. Este criterio excluía Santa Ana ciclónico, Santa Ana muy débil y eventos de menos de una hora de duración. Rosenthal publicó otro conjunto de criterios que incluía casos que podían ser excluidos por los criterios anteriores. Este nuevo criterio incluye: 1) vientos del noreste, pero 2) reduce la velocidad a ≥ 10 nudos, y 3) especifica la humedad relativa $< 50\%$.

Burroughs en el estudio desarrollado por la NOAA, inicialmente sigue este criterio: 1) vientos en el cuadrante Noreste y 2) velocidades ≥ 18 nudos. Pero al final de su estudio, modificó su criterio

manteniendo los vientos en el cuadrante noreste, humedad $\leq 50\%$, en unas zonas de estudio bajo el criterio de la velocidad a ≥ 15 nudos.

Raphael (2003), analizó una serie de 33 años sobre mapas meteorológicos, con criterios de alta presión sobre la Gran Cuenca y de baja presión frente a la costa del sur de California, dirección del viento predominante desde el cuadrante noroeste. Donde se encontró que el evento Santa Ana se da entre septiembre y abril, que el mes de mayor ocurrencia es diciembre, el promedio de frecuencia de eventos por año es de 20 y la duración promedio de un evento es de 1.5 días. Y que parece existir una relación entre los eventos del ENOS y los eventos Santa Ana, de modo que ocurren menos Santa Ana durante las temporadas de El Niño.

Jones (2010), diagnosticó 28 años de valores del índice de clima del fuego (FWI), del cual los vientos secos es una componente. Los criterios para considerar un día como un evento de vientos Santa Ana fue el siguiente: 1) La Gran Cuenca o el 30% de La Gran Cuenca debía tener gradientes positivos en la presión a nivel del mar. 2) las costas del sur de California tuvieran anomalías negativas en la presión a nivel del mar. 3) Vientos sobre la cuenca de los ángeles fueran del cuadrante noreste.

Zamora, Lambert y Montero en 2014, evaluaron el efecto de los Vientos de Santa Ana en el potencial del viento en Baja california, para lo cual usaron la información de las estaciones automatizadas de la Comisión Nacional del Agua en La Rumorosa, Tijuana, Mexicali, Ensenada y Bahía de los Ángeles. El criterio para detectar eventos de Vientos Santa Ana fue el siguiente: Estos están asociados a un cambio en la humedad relativa con caídas de menos del 10%, dirección en el cuadrante noreste correspondiente a 0° a 90° y velocidades más grandes o iguales a 20mph (8.9411 m/s).

Para conformar las series de tiempo de días con Vientos de Santa Ana, se tomaron dos criterios. 1) la velocidad del viento $\geq 10.0662\text{mph}$ o ≥ 8.7473 nudos o ≥ 4.5 m/s. 2) que la dirección del viento esté en el cuadrante noroeste. Monteverdi en su trabajo de los vientos “Santa Ana Weather Type” de 1973, utilizó un umbral mínimo de velocidad del viento de 10 mph (4.5m/s) para representar la velocidad a la que los restos de fuego de un incendio podrían acelerar su propagación en el aire.

En la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos, el número 3, representa el efecto en tierra cuando se agitan las hojas, ondulan las banderas, lo que supone que los desechos en llamas serán transportados por el aire y provocarán el avance de un incendio cuando las velocidades estén en el rango de (8-12mph = 7-10 nudos = 12-19km/h).

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología utilizada durante esta investigación, detallando los pasos seguidos para obtener los resultados.

3.1 Delimitación de área de influencia

El área de estudio involucra la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe; para evaluar la influencia de las estaciones sobre esta área, se emplearon los Polígonos de Thiessen mediante el uso de los sistemas de información geográfica (ArcGIS). A continuación, se explicará más a detalle la metodología empleada.

3.1.1 *Polígonos de Thiessen*

Este tipo de análisis permite establecer relaciones matemáticas entre elementos generando zonas de influencia con unas premisas matemáticas específicas. En este caso, la relación parte de una nube de puntos sobre los que se generan una serie de polígonos. Los puntos se unen entre sí y se proyectan mediatrices entre los segmentos de unión siendo dichas mediatrices los lados de los polígonos resultantes. La principal regla que se establece en este caso es que, los lados de los polígonos generados, son equidistantes a los puntos vecinos y tratan de encontrar la menor distancia posible. Los lados de cada polígono se encuentran a la misma distancia de un punto que de otro.

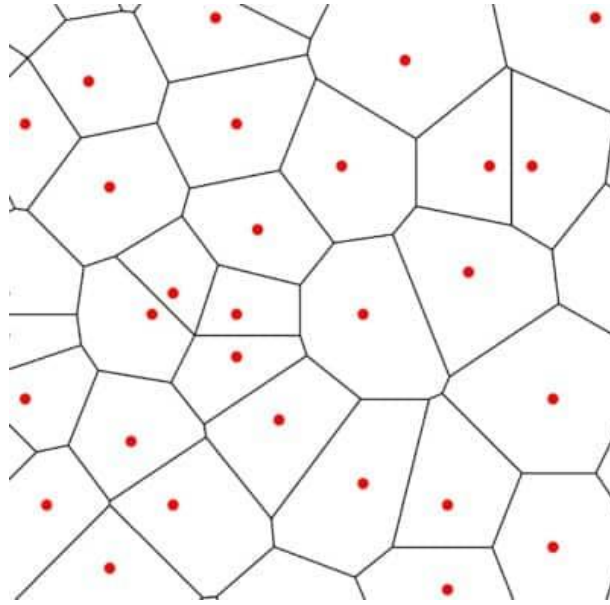


Figura 19. Ejemplo de Polígonos de Thiessen.

ArcGIS trabaja de la siguiente manera:

1. Para poder realizar una poligonación de Thiessen se debe disponer de una capa vectorial de puntos a partir de los cuales comienza a desarrollar el análisis.

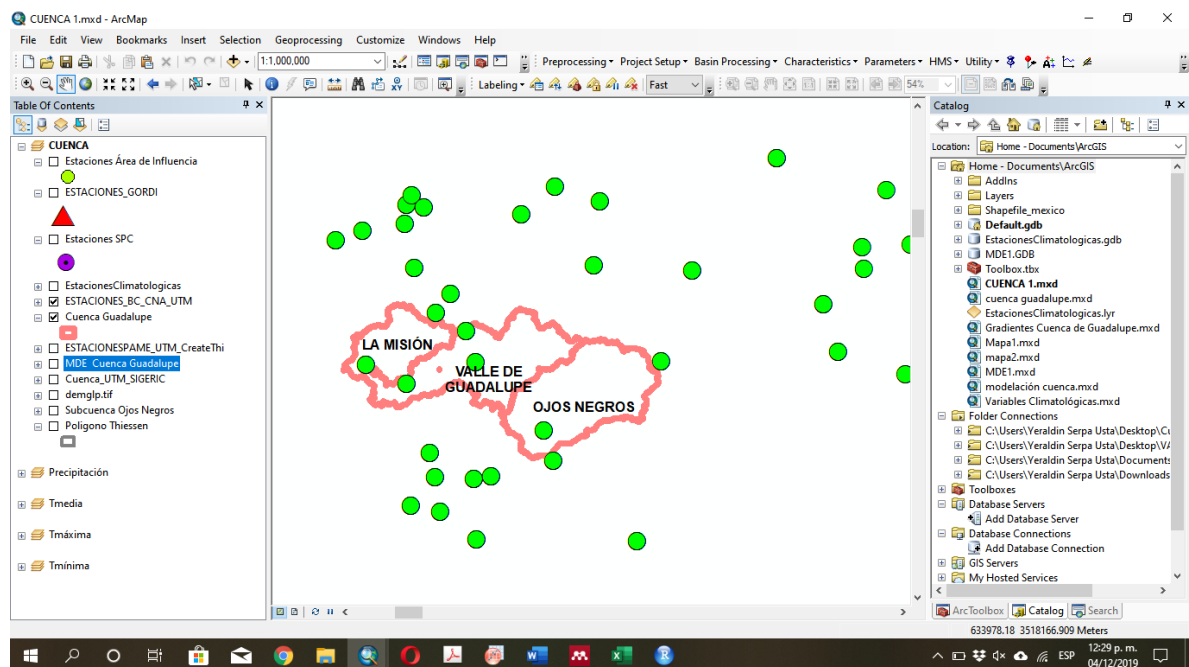


Figura 20. Capa de vectorial de puntos con la información de las estaciones de Baja California.

2. A continuación, se debe ir a las herramientas de ArcToolBox accediendo a la herramienta de análisis desde la opción Analysis Tools > Proximity > Create Thiessen Polygons.

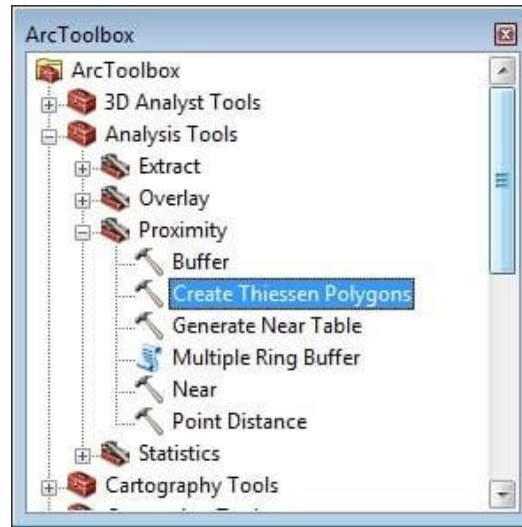


Figura 21. Interfaz de ArcGIS donde se selecciona la opción de los polígonos de Thiessen.

3. Una vez ejecutada la herramienta se debe introducir la capa de puntos sobre la que se desea realizar el análisis (apartado Input Features). Se debe introducir, además, un nombre y una ruta de salida donde guardar la cartografía de polígonos de Thiessen que se generará como resultado del análisis (apartado Output Feature Class). Adicionalmente se puede conseguir que los atributos de la capa de puntos sean transferidos a la tabla de atributos de la cartografía de polígonos resultantes. A través del apartado Output Fields se puede indicar la transferencia de estos datos seleccionando la opción «ALL».

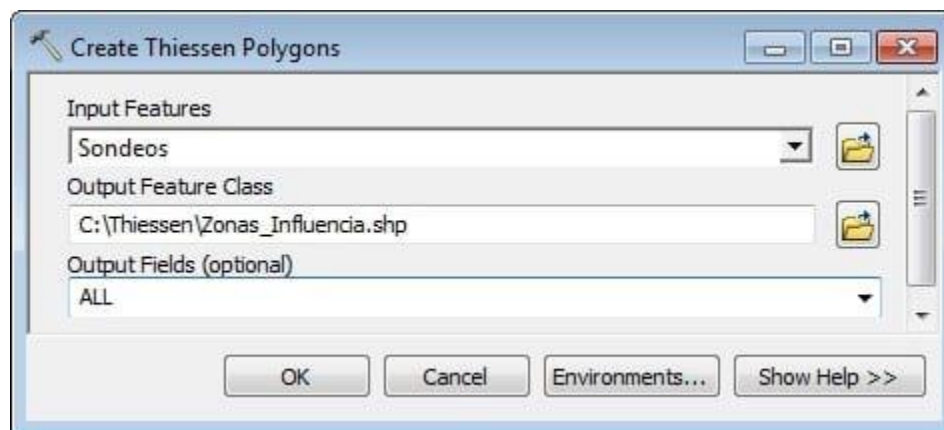


Figura 22. Pantalla que se despliega al escoger la opción Create Thiessen polygons.

4. Una vez ejecutada la aplicación, ArcMap, genera una red de polígonos basados en el principio matemático propuesto para el cálculo de zonas entre puntos. La capa representa el conjunto de zonas de influencia para cada uno de las estaciones y sus límites se encuentran a igual distancia de los puntos equidistantes (Figura 23).

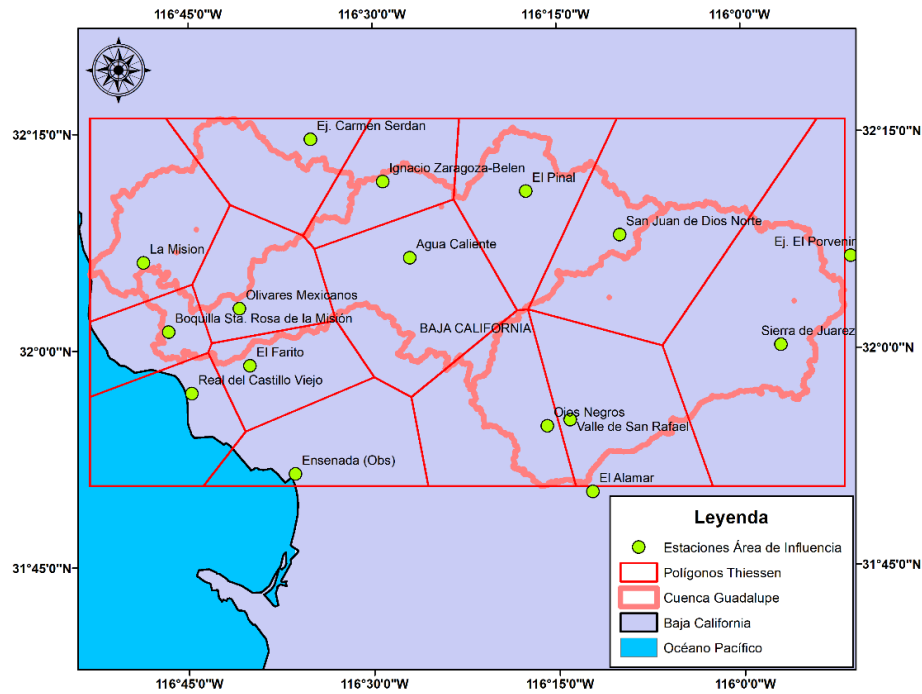


Figura 23. Polígonos de Thiessen

5. Al final se obtuvo que 10 estaciones tenían influencia dentro de la cuenca como se observa en la Figura 24; pero al ser muy pocas se decidieron complementar con las estaciones que estaban en el límite de la cuenca y algunas muy cercanas:

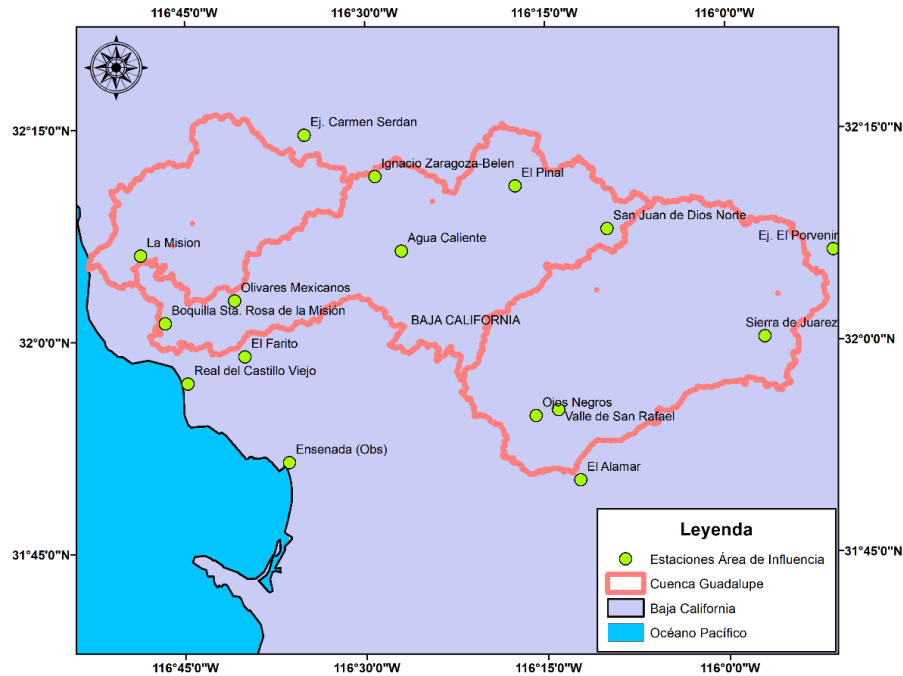


Figura 24. Estaciones de influencia en la Cuenca de Guadalupe.

3.2 Recopilación y organización de la información

Una vez identificadas las estaciones climatológicas, se procedió a la extracción de los registros de las series que se van analizar (precipitación, temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento). La recopilación de la información se logró con la ayuda de las siguientes bases de datos:

- Las variables de precipitación y temperatura fueron obtenidas del Extractor Rápido de Información Climatológica IV, en su versión web (SIG ERIC versión 1.0).
- Las variables de presión, humedad relativa y velocidad del viento la información fue descargada del servicio web **Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications**, Versión 2 (MERRA-2).

Los datos descargados de las bases fueron registros diarios. Los archivos del SIG ERIC versión 1.0, se descargan en formato *MDB Access*, por lo que se migraron a archivos con formato Excel y de igual forma se procedió con los archivos descargados del MERRA-2 que vienen en formato .csv. Se conformaron un archivo en Excel para cada estación.

Tabla 3. Estaciones climatológicas en el área de estudio y sus características de interés.

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m.	P Total Anual (mm)	T Media Anual (°C)	T Máx Anual (°C)	T Mín Anual (°C)	HR Media Anual (%)	RS Media Anual (Wh/m2)	Presión Media Anual (hPa)	VV Media Anual (m/s)	DV Media Anual (°)
2001	Agua Caliente	32.107	-116.454	400	276.63	18.06	49	-7	49.52	6016.03	933.33	2.71	225.82
2004	Ignacio Zaragoza Belén	32.195	-116.486	540	336.93	16.44	52.3	-12.03	49.88	6008.12	937.56	2.78	225.14
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	32.002	-116.777	250	265.8	15.45	42	-6.93	59.30	5941.70	975.30	2.64	245.81
2021	El Pinal	32.183	-116.292	1320	518.31	12.3	45	-2.67	44.76	6052.19	915.34	2.93	217.82
2025	Ensenada (Obs)	31.858	-116.606	21	251.53	17.12	39	0	56.79	5983.26	961.21	2.70	243.83
2035	Ojos Negros	31.912	-116.265	680	233.25	16.19	53	-17	45.89	6065.29	914.74	2.71	220.02
2036	Olivares Mexicanos	32.049	-116.681	340	302.32	16.62	47	-10.59	56.30	5963.98	962.17	2.62	239.41
2049	San Juan de Dios Norte	32.132	-116.165	1280	392.8	12.92	49	-16	41.93	6071.98	916.50	2.80	217.46
2066	Sierra de Juárez	32.004	-115.948	1580	391.2	10.68	43.14	-19	37.94	6104.63	928.51	2.54	218.17
2077	La Misión	32.102	-116.811	20	289.74	16.99	41	-2	59.68	5934.15	977.24	2.64	242.61
2079	El Alamar	31.836	-116.204	710	265.94	17.83	44	-3	45.33	6079.08	920.93	2.71	220.82
2094	El Farito	31.983	-116.667	250	253.42	16.16	33.7	1	56.54	5967.35	962.06	2.62	242.23
2114	Ejido Carmen Serdán	32.244	-116.584	560	288.46	15.4	56.35	-8	52.23	5985.77	948.28	2.76	226.98
2118	Valle San Rafael	31.919	-116.234	721	321.79	16.75	49.9	-7	44.99	6070.72	913.11	2.71	218.83
2122	Real del Castillo Viejo	31.951	-116.746	610	280.57	15.64	46.1	-8	59.44	5948.72	974.05	2.67	247.89
2164	Ejido El Porvenir	32.106	-115.852	330	276.44	17.36	45	-6.9	35.80	6109.20	942.29	2.55	225.81

3.3 Estimación de Datos Faltantes

Con el fin de que los cálculos estadísticos y el análisis fractal sea más confiable, se procedió a completar las series de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, de los archivos descargados del SIG ERIC versión 1.0.

Para esto se utilizó la herramienta CLIMGEN, que es un generador estocástico de tiempo meteorológico que se utiliza para estimar series de datos a escala diaria de variables como precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad de viento, cuyos estadísticos resultan similares a los datos climáticos históricos (Tingem, Rivington, Azam-Ali, & Colls, 2007), pudiéndose parametrizar para cada estación (Safeeq & Fares, 2011) (Esquivel, Cerano, Sánchez, López, & Gutiérrez, 2015).

La interfaz de ClimGen es la siguiente:

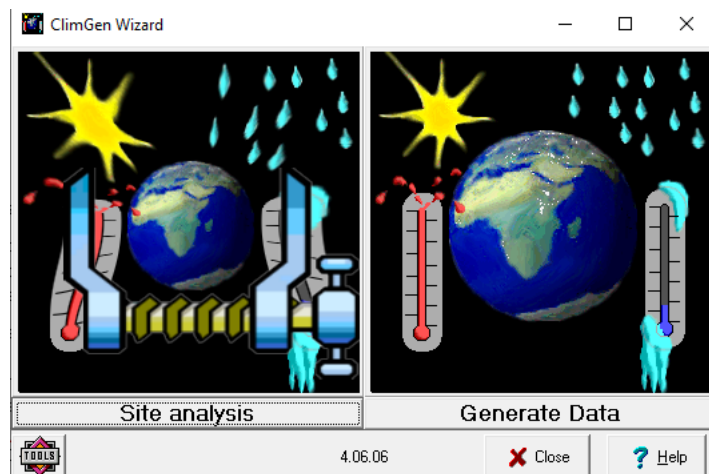


Figura 25. Interfaz del programa ClimGen.

1. Seleccionamos la opción Site analysis.
2. Se le asigna un nombre al archivo en que se va a trabajar.
3. Se selecciona la opción Edit UED file.
4. Se despliega la siguiente pantalla en la parte de Geolocation y se llenan los siguientes campos de la estación; el nombre, coordenadas, elevación, región como se observa en la Figura 26.

Figura 26. Ventana que se despliega para anotar los datos de la estación.

5. En la parte de Daily weather, se selecciona la opción data y se van agregando los años con los valores respectivos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de la estación. Después se selecciona Ok.
6. Se selecciona generate data, se selecciona el archivo que se está usando, se selecciona la opción de que corra el programa con los datos suministrados que sobrescriba sobre eso el cálculo.
7. Se establecen los años de inicio y de fin. Se selecciona la opción Generate data now. Se selecciona la opción next, luego se selecciona view the database.
8. De ahí se copian los datos al archivo Excel donde se viene trabajando.

3.4 Series de tiempo

Con el propósito de analizar la tendencia de las series de precipitación, temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento, se generaron los gráficos de las series de tiempo de las variables anteriormente mencionadas, graficando las magnitudes especificadas contra el tiempo. Se utilizó el programa Origin para generar estos gráficos.

- a) Precipitación diaria sin incluir ceros
- b) Temperatura media diaria
- c) Presión diaria
- d) Humedad relativa diaria
- e) Velocidad viento diaria

3.5 Estimación de correlograma

Con el propósito de identificar de forma visual el comportamiento de las series de precipitación, temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento y determinar si hay asociación entre valores actuales y pasados de las series anteriormente mencionadas, se generaron los correlogramas de las series de tiempo de las siguientes variables al graficar los coeficientes de autocorrelación contra los desfases o retrasos. Para esto se utilizó el programa Matlab, más exactamente la función autocorr. Primero se seleccionaba el vector con el que se deseaba trabajar para que el programa lo leyera del archivo en Excel, y luego se graficaba con la función autocorr.

- a) Precipitación diaria sin incluir ceros
- b) Temperatura media diaria
- c) Presión diaria
- d) Humedad relativa diaria
- e) Velocidad viento diaria

3.6 Cálculo exponente de Hurst y dimensión fractal

El exponente de Hurst y la dimensión fractal fueron calculados por medio del software Benoit usando el método de rango reescalado.

Para los cálculos del exponente de Hurst y la dimensión fractal de la serie de precipitación se consideró la serie sin 0.

El software Benoit v.1.3.1 utiliza el siguiente algoritmo para la obtención del exponente de Hurst:

1. Al abrir el programa se despliega la siguiente ventana con la interfaz de este.

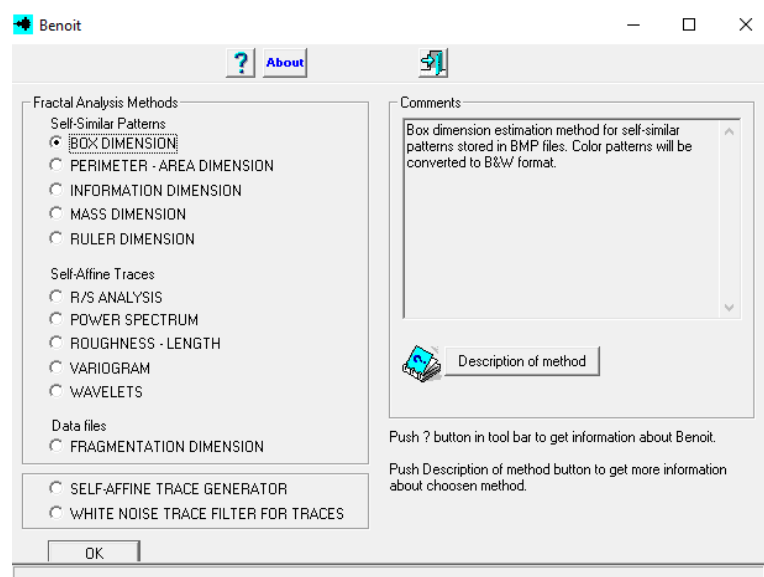


Figura 27. Interfaz del software Benoit.

2. Se procede a seleccionar el método de Rango reescalado (R/S ANALYSIS).
3. A continuación, se selecciona el archivo con formato Excel, luego se selecciona la hoja de la variable a estudiar y se selecciona la columna correspondiente al vector que se desea

analizar y se obtiene un reporte como el de la Figura 28. Los pasos siguientes corresponden al desarrollo del método que el programa utiliza.

The image shows a 'Report' dialog box with the following fields and values:

Result of calculations	
Calculated H:	0.163
SD:	0.0250263
Fractal dimension:	1.837
Method: R/S analysis	
File name and path:	c:\compartir\particiones cuenca de g
Data set name:	EXTERNAL DATA SOURCE
Number of data points:	919

At the bottom of the dialog box is an 'OK' button.

Figura 28. Reporte de resultados de Benoit para rango reescalado

4. Definir un intervalo de interés para el análisis τ .
5. Obtener las diferencias entre un valor de la serie y el próximo valor en el intervalo definido en el paso 4 aplicando la ecuación (25).
6. Obtener el promedio de diferencias del paso 5, utilizando la ecuación (26).
7. Obtener las diferencias entre la diferencia promedio del paso 6, y cada una de las diferencias calculadas en el paso 5.
8. Obtener la sumatoria de diferencias del paso 7 con base a la ecuación (27). Los pasos 5 a 8 se desarrollan para diversos intervalos de tiempo τ .
9. Se obtienen los valores de la variable R y la desviación estándar S, por medio de las ecuaciones (28) y (29), para cada intervalo de tiempo τ . Posteriormente se grafica el valor de R / S para su respectivo intervalo de tiempo τ .
10. Finalmente, se obtiene el valor del exponente de Hurst como la pendiente del gráfico de la ecuación (30). La dimensión fractal de la misma serie será determinada con respecto al exponente de Hurst mediante la ecuación (31).
11. Este resultado viene acompañado de los gráficos pertinentes al proceso del método de rango reescalado (Figura 29)

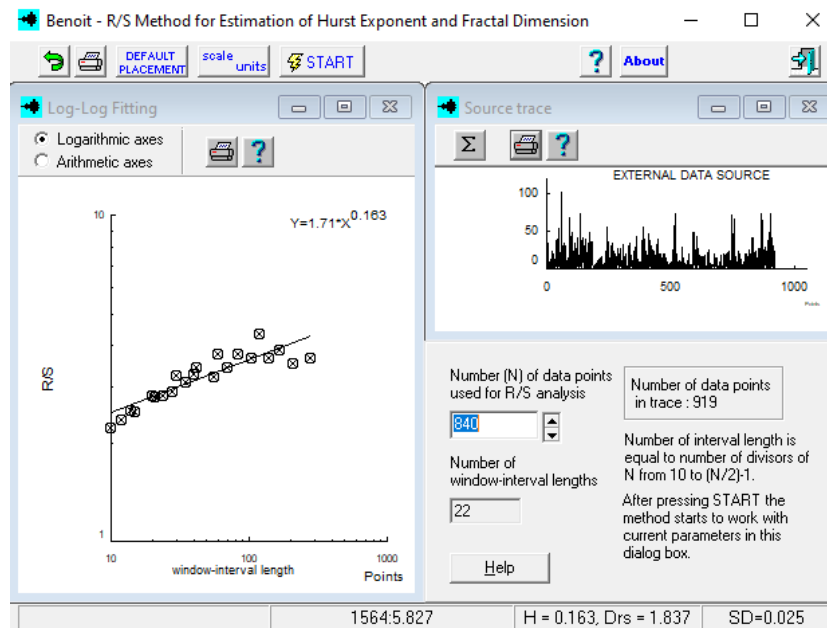


Figura 29. Gráficos R/S vs τ o longitud de los anchos de ventana.

12. Este procedimiento se repite para cada uno de las variables analizadas de cada una de las 16 estaciones climatológicas estudiadas.

3.7 Cálculo del Índice de previsibilidad para las variables en consideración

Del paso anterior se obtuvieron los exponentes de Hurst y la dimensión fractal. Por lo que solo basta aplicar las ecuaciones (35), (36), (37), (38) y (39) del índice de previsibilidad en todas las estaciones para la serie completa.

3.8 Cálculo del Índice de previsibilidad climática

Para este cálculo hay que aplicar la ecuación(40), (41) y (42).Este paso se repite en todas las estaciones de la Cuenca para la serie completa .

3.9 Vientos de Santa Ana.

Para este capítulo se realizaron dos análisis, primero se evaluó la estacionalidad de los vientos de Santa Ana para la época de octubre a mayo que son los meses donde se registra este evento frente a los meses de junio a septiembre que es la época donde no se presenta esta condición. La segunda observación fue para los días en que se presentaba vientos de Santa Ana y los días en que no ocurrían estos.

Los vectores de octubre-mayo se conformaron filtrando esos meses de todos los años que se disponían información para cada una de las variables en estudio. Lo mismo se realizó para el vector de junio-septiembre, se seleccionaron los valores de estos meses para cada año y se pegaron como consecutivos.

Luego se empleó la metodología de los capítulos 3.6, 3.7 y 3.8 para calcular el exponente de Hurst, la dimensión fractal, el índice de previsibilidad y el índice de previsibilidad climática.

Para estimar el vector de días con viento Santa Ana, se revisaron muchos criterios antes de ajustarse con uno. Al final se escogió: 1) velocidad mayor a 4.5m/s, 2) dirección del viento del primer cuadrante (norte-este), 3) humedad relativa $\leq 10\%$. Este último criterio fue difícil de aplicar pues solo las estaciones de El Pinal, Ojos Negros, San Juan de Dios Norte, Sierra de Juárez, El Alamar, Valle San Rafael y Ejido El Porvenir registraban valores menores al 10% de la humedad relativa. Además, los días que registraban humedades relativas muy bajas no coincidían con vientos fuertes o mayores a 4.5 m/s.

Se aplicó este filtro a cada una de las estaciones y se copiaron los datos de días Santa Ana a un archivo en formato .txt, de igual forma para los días sin Evento Santa Ana como se aprecia a continuación:

1. Primero se filtran la serie completa con los días que cumplan con los dos primeros criterios especificados anteriormente:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	DIA	MES	AÑO	Temperature	Promedio	precipitación	Precipitación	Pressure	Relative Humidity	Wind speed	Wind direction	kt	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad
104	12	4	1980	13.91			0	946.18	31.37	5.38	28.94	10.45789	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
300	28	10	1980	13.44			0	948.48	27.8	5.02	27.25	9.759108	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
304	29	10	1980	12.62			0	951.69	25.46	4.59	33.35	8.322254	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
331	25	11	1980	9.16			0	951.31	27.73	5.28	16.46	10.26351	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
419	21	2	1981	12.56			0	947.09	19.98	6	21.27	11.66308	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
532	15	6	1981	25.15			0	942.21	8.26	5.35	23.94	10.39958	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
671	31	10	1981	13.08			0	950.36	19.78	5.73	33.19	11.13824	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
843	21	4	1982	14.21			0	945.66	20.3	5.46	15.89	10.6134	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1014	9	10	1982	16.56			0	944.9	17.57	5.61	23.34	10.90498	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1075	9	12	1982	11.99			42.236702	935.02	91.29	4.91	68.73	9.544285	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1081	25	12	1982	4.28			0	945.5	43.48	5.82	3.5	11.31318	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1087	10	1	1983	3.31			0	947.23	37.9	4.6	17.85	8.941632	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1395	25	10	1983	20.06			0	944.6	35.82	4.8	18.17	9.330462	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1464	2	1	1984	8.97			0.000104	950.69	43.24	5.27	12.18	10.24407	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1465	3	1	1984	9.57			0.037274	949.24	55.51	5.63	37.25	10.94385	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1469	27	1	1984	11.07			0.146136	945	40.03	6.05	20.71	11.76027	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
1527	5	3	1984	10.14			0	945.45	22.51	4.59	21.29	8.922254	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2200	7	1	1986	9.19			0	951.67	41.28	5.19	25.63	10.08856	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2533	23	11	1986	11.33			0	948.67	34.25	4.58	3.91	8.902815	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2578	20	1	1987	4.31			0	944.76	41.53	4.96	5.04	9.641477	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2945	22	1	1988	4.46			0	952.6	44.73	5.63	31.72	10.94385	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2971	17	2	1988	9.38			0	943.58	37.43	4.97	2.13	9.660915	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
2973	19	2	1988	8.3			0.000808	941.53	42.37	5.38	1.93	10.45789	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
3266	8	12	1988	10.36			0.000036	939.35	35.93	6.7	23.45	13.02317	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
3287	9	12	1988	8.9			0.000769	944.1	44.03	6.96	41.33	13.52917	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
3301	12	1	1989	4.26			0	953.03	30.83	6.56	16.25	12.75863	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
3621	28	11	1989	9.15			0	943.58	19.37	5.91	24.37	11.48813	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
4036	17	1	1991	8.53			0	946.85	37.82	5.07	10.02	9.6553	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
4439	24	2	1992	11.83			0	948.36	34.97	4.86	18.63	9.447092	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
4893	4	11	1992	12.17			0	947.42	27.11	5.24	39.31	10.18575	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
5050	27	10	1993	17.68			0	944.58	20.87	6.18	13.63	12.01297	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay
588	12	2	1994	5.9			0	950.14	32.39	4.93	23.78	9.583862	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay	Santa Ana	No hay

Figura 30. Archivo Excel donde se usaron las funciones de condicional para seleccionar días con vientos de Santa Ana.

2. Creación de archivos .txt con la información arrojada por el Excel.

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
946.18
948.48
951.89
951.31
947.09
942.21
950.36
945.66
944.9
935.02
945.5
947.29
944.6
950.69
949.24
945
945.45
951.67
948.67
944.76
952.6
943.58

```

Figura 31. Archivo .txt con los datos de la presión de la estación Ejido Porvenir para los días que ocurrió Santa Ana.

3. Lo mismo se realizó para los días que no había vientos de Santa Ana.

A los vectores obtenidos de los pasos anteriores, se les aplicó la misma metodología del 3.6 para obtener el exponente de Hurst y la dimensión fractal y el paso 3.7 para calcular los índices de previsibilidad.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante esta investigación.

Para el análisis se utilizaron datos diarios de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la presión (hPa), precipitación (mm), velocidad viento (m/s) y humedad relativa (%) de las estaciones de Ojos Negros, Sierra De Juárez, El Alamar, Valle San Rafael, Ejido El Porvenir, Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión, El Pinal, Ensenada (Obs), Olivares Mexicanos, San Juan De Dios Norte, El Farito, Real Del Castillo Viejo, La Misión y Ejido Carmen Serdán. La ubicación latitud, longitud y altitud se resumen en Tabla 4. Esta tabla también incluye el periodo de tiempo de los datos disponibles de cada estación y el número de puntos usados en el análisis.

La variación a largo plazo de los valores medios diarios de temperatura, presión, velocidad de viento y la humedad relativa se muestra en las Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Figura 35, respectivamente, los valores máximos, mínimos y medios de la temperatura se basan en los valores medios diarios; los valores máximos, mínimos y medios de la presión, la velocidad viento y la humedad relativa son los valores medidos por el satélite. La temperatura media máxima fue de 18.08°C en la estación de Agua Caliente mientras que la mínima fue de 10.7°C en la Sierra De Juárez. En la subcuenca de La Misión la temperatura media encontrada en las estaciones de La Misión y Ejido Carmen Serdán fue de 17°C y 15.01°C respectivamente. En la subcuenca de Ojos Negros, la temperatura media varió entre 16.21°C , 17.85°C , 16.76°C y 17.38°C para las estaciones de Ojos Negros, El Alamar, Valle De San Rafael y Ejido El Porvenir respectivamente, mientras que en la subcuenca del Valle de Guadalupe, la temperatura media varía entre 16.46°C , 15.46°C , 12.32°C , 17.14°C , 16.64°C , 12.95°C , 16.17°C y 15.66°C para las estaciones de Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión, El Pinal, Ensenada, Olivares Mexicanos, San Juan De Dios Norte, El Farito y Real Del Castillo Viejo. La máxima temperatura de los valores medios fue de 40.67°C en la estación de ejido Carmen Serdán y la temperatura mínima fue de -7.5°C encontrada en las estaciones de Ojos Negros y El Pinal seguida de Sierra de Juárez.

La presión de aire máxima diaria general se observó en La Misión y la mínima en Valle De San Rafael, como se muestra en la Figura 33. Además, en la estación Valle de San Rafael, está la presión más baja de las mínimas diarias de 894.65hPa.

En cuanto a los valores de la humedad relativa como se muestra en la Figura 34, el porcentaje de humedad más alto dentro de los valores máximos diarios es de 95.55% en El Farito, dentro de los valores medios diario la humedad relativa puede alcanzar valores de 59.65% en la estación La Misión y valores bajos de 35.75% en Ejido Porvenir; estación que registra el valor más bajo en los mínimos diarios con 6.59%.

La velocidad media diaria oscila entre 2.53 m/s y 2.92m/s; la velocidad máxima diaria se encuentra en Real Del Castillo Viejo con 12.15m/s. Figura 35.

Para los valores de la precipitación se encontró que el máximo diario puede variar entre 69.3 mm en la estación de Real Del Castillo Viejo y 158 mm en El Pinal. La precipitación total media anual más baja se encontró en Ojos Negros con un valor de 233.25 mm y la más alta en El Pinal con 518.31 mm. Todos los datos anteriormente mencionados se agrupan en la Tabla 5.

Tabla 4. Información sobre las estaciones utilizadas en este estudio.

Estaciones				SIG ERIC V.1	MERRA-2	Duración		# Datos	
Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Altitud	P - T	HR-P-RS- VV-DV	P - T	HR-P-RS- VV-DV
2035	Ojos Negros	31.91	-116.26	680	981	1948 - 1990	1980-2018	15706	14245
2066	Sierra de Juárez	32.00	-115.95	1580	981	1961 - 1986	1980-2018	9496	14245
2079	El Alamar	31.84	-116.20	710	981	1980 - 2011	1980-2018	11688	14245
2118	Valle San Rafael	31.92	-116.23	721	981	1979 - 2012	1980-2018	12419	14245
2164	Ejido El Porvenir	32.11	-115.85	330	525	1999 - 2012	1980-2018	5114	14245
2001	Agua Caliente	32.11	-116.46	400	981	1969 - 2012	1980-2018	16071	14245
2004	Ignacio Zaragoza Belén	32.20	-116.49	540	981	1964 - 2012	1980-2018	17898	14245
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	32.02	-116.78	250	220	1948 - 2007	1980-2018	21915	14245
2021	El Pinal	32.18	-116.29	1320	981	1969 - 2009	1980-2018	11322	14245
2025	Ensenada (Obs)	31.86	-116.61	21	220	2000 - 2012	1980-2018	4749	14245
2036	Olivares Mexicanos	32.05	-116.68	340	220	1936 - 2012	1980-2018	28125	14245
2049	San Juan de Dios Norte	32.13	-116.15	1280	981	1956 - 1985	1980-2018	10958	14245

Estaciones				SIG ERIC V.1	MERRA-2	Duración		# Datos	
Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Altitud	P - T	HR-P-RS- VV-DV	P - T	HR-P-RS- VV-DV
2094	El Farito	31.98	-116.67	250	220	1974 - 1986	1980-2018	4748	14245
2122	Real del Castillo Viejo	31.95	-116.75	610	220	1980 - 1990	1980-2018	4018	14245
2077	La Misión	32.10	-116.81	20	220	2000 - 2012	1980-2018	4749	14245
2114	Ejido Carmen Serdán	32.24	-116.58	560	220	1979 - 2011	1980-2018	12053	14245

Tabla 5. Variación de los valores diarios de precipitación, temperatura, humedad relativa, presión y velocidad del viento.

Código	Nombre	P Total Anual (mm)	P Máx Diaria (mm)	T Media Diaria (°C)	T Media Máx Diaria (°C)	T Media Mín Diaria (°C)	Hr Media Diaria (%)	Hr Máxima Diaria (%)	Hr Mínima Diaria (%)	Presión Media Diaria (hPa)	Presión Máx. Diaria (hPa)	Presión Mín. Diaria (hPa)	VV Media Diaria (m/s)	VV Máxima Diaria (m/s)
2001	Agua Caliente	276.63	112.00	18.08	35.00	2.25	49.47	95.38	12.20	933.32	945.50	913.97	2.70	10.65
2004	Ignacio Zaragoza Belén	336.93	132.00	16.46	40.00	-1.03	49.83	95.35	12.21	937.55	950.16	917.85	2.77	10.66
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	265.8	121.00	15.46	32.00	2.25	59.27	95.47	18.82	957.29	987.87	955.67	2.63	12.04
2021	El Pinal	518.31	158.00	12.32	33.00	-7.50	44.70	95.10	9.05	915.33	927.70	895.86	2.92	10.71
2025	Ensenada (Obs)	251.53	76.60	17.14	27.75	7.00	56.76	95.51	17.43	961.20	973.39	942.16	2.70	11.90
2035	Ojos Negros	233.25	85.00	16.21	38.00	-7.50	45.84	95.28	9.40	914.73	925.83	896.33	2.70	11.07
2036	Olivares Mexicanos	302.32	109.33	16.64	39.50	0.69	56.26	95.45	16.77	962.16	974.58	942.65	2.61	11.58
2049	San Juan de Dios Norte	392.8	126.42	12.95	38.25	-7.00	41.87	93.84	8.24	916.49	929.23	897.08	2.79	10.60
2066	Sierra de Juárez	391.2	97.00	10.70	32.50	-7.43	37.89	91.87	7.20	928.51	942.43	908.77	2.53	10.83
2077	La Misión	289.74	80.00	17.00	31.00	7.50	59.65	95.36	18.44	977.23	990.00	957.41	2.63	11.94
2079	El Alamar	265.94	98.00	17.85	32.50	5.00	45.28	94.48	9.16	920.92	932.26	902.58	2.71	11.31
2094	El Farito	253.42	126.40	16.17	27.50	6.19	56.50	95.55	17.22	962.05	974.32	942.70	2.61	11.69
2114	Ejido Carmen Serdán	288.46	101.82	15.01	40.67	-0.19	52.18	95.39	13.38	948.28	961.14	928.35	2.76	10.86
2118	Valle San Rafael	321.79	89.20	16.76	36.23	1.01	44.94	94.90	8.98	913.10	924.29	894.65	2.70	10.97
2122	Real del Castillo Viejo	280.57	69.30	15.66	32.78	-4.07	59.41	95.49	19.24	974.04	986.57	954.58	2.67	12.15
2164	Ejido El Porvenir	276.44	125.00	17.38	32.5	1.29	37.75	91.93	6.59	942.28	957.60	922.11	2.55	10.61

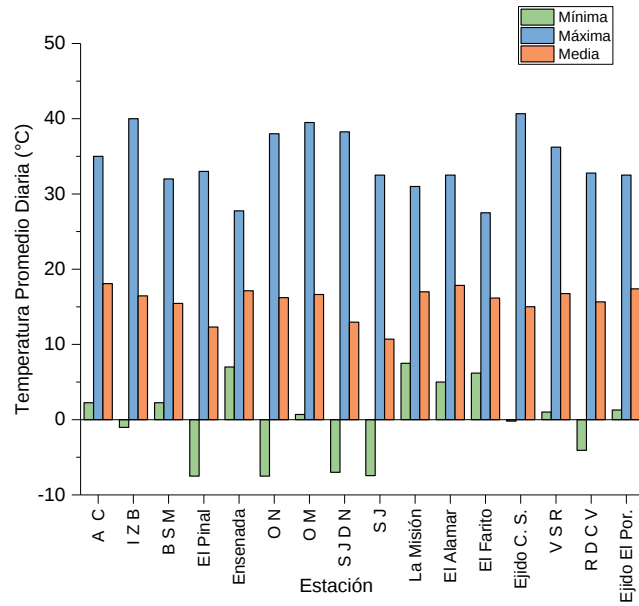


Figura 32. Variación de los valores de temperatura media diaria.

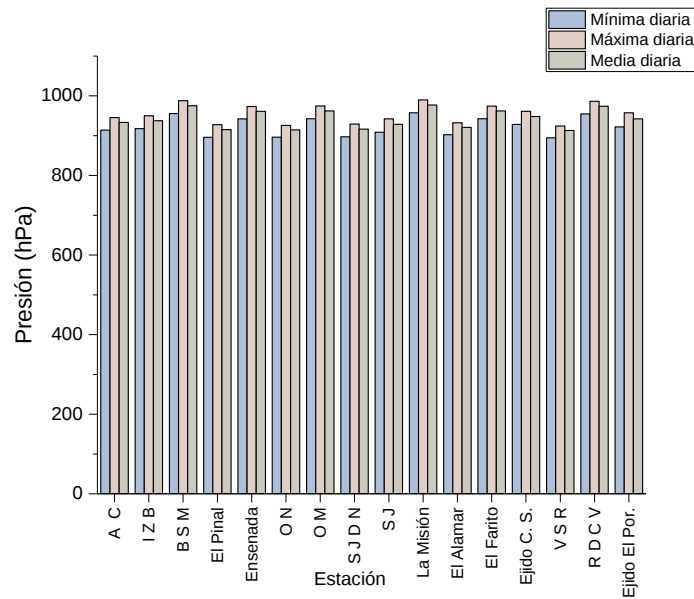


Figura 33. Variación de los valores de presión diarios.

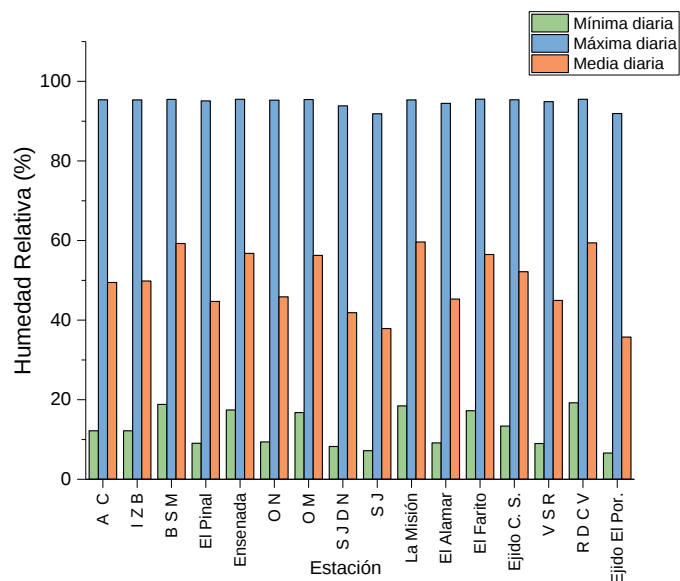


Figura 34. Variación de los valores de humedad relativa diarios.

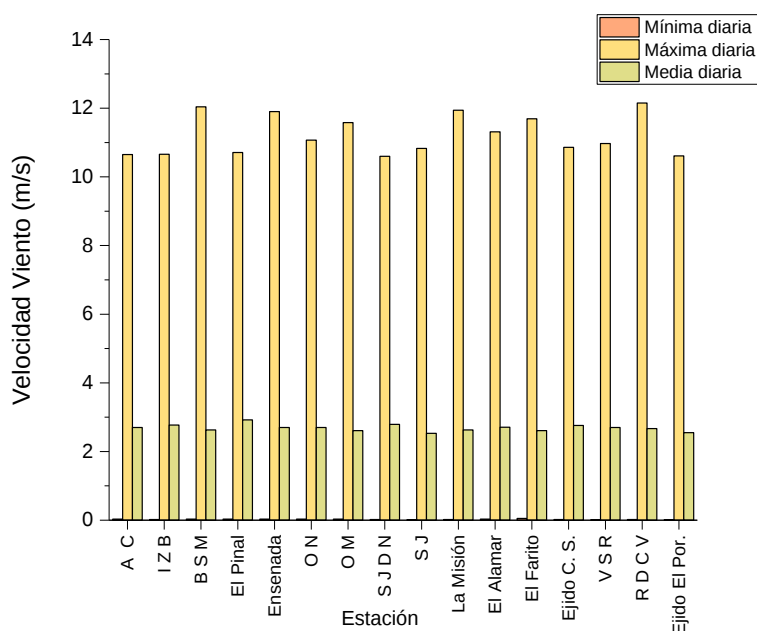


Figura 35. Variación de los valores de velocidad viento diarios.

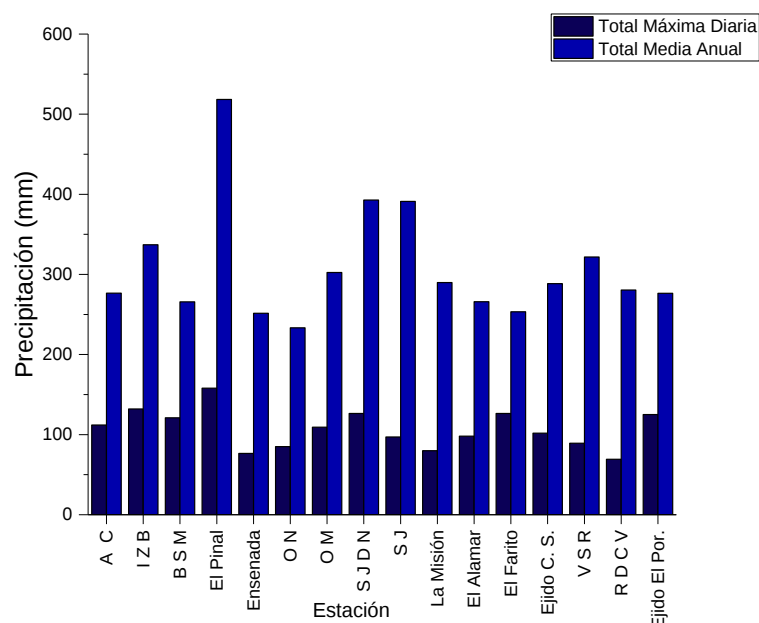


Figura 36. Precipitación a largo plazo en diferentes estaciones.

La variación de los datos diarios de las series temporales de la temperatura, presión, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento se muestran de la Figura 37 a la Figura 56. Las estaciones de Agua Caliente, Boquilla Santa Rosa de la Misión, Olivares Mexicanos, El Alamar y Valle San Rafael tienen variaciones muy alto en comparación con El Pinal, Ojos Negros, Ignacio Zaragoza Belén y Ejido Carmen Serdán; esto se debe a que las primeras cinco estaciones mencionadas tienen el mismo tipo de clima y están cercanas en su mayoría, siendo la estación de Ojos Negros la que pese a compartir el mismo tipo de clima no presenta el mismo patrón en la gráfica de la temperatura. Las estaciones que tienen un rango de variación más pequeño son Ensenada, San Juan de Dios Norte, Sierra Juárez, La Misión, Real del Castillo Viejo, Ejido El Porvenir y El Farito. La variación diaria en los valores de la presión presenta un rango similar en todas las estaciones; presentándose el valor más amplio en la Sierra De Juárez y en Ejido El Porvenir. Además, los valores máximos y mínimos en los que oscilan las presiones en estas estaciones permite agruparlas de la siguiente manera: las de las presiones más bajas que incluye las estaciones de El Pinal, Ojos Negros, San Juan De Dios Norte, El Alamar y Valle De San Rafael; con valores intermedios se encuentran Sierra De Juárez, Ejido El Porvenir, Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén y Ejido

Carmen Serdán; y finalizando las zonas donde están los valores de presión más altas: Boquilla De Santa Rosa De La Misión, Ensenada (Observatorio), Olivares Mexicanos, El Farito, Real Del Castillo Viejo y La Misión. Presentándose de esta forma en las zonas más bajas las presiones más altas y en las zonas más altas las más bajas presiones.

En cuanto a los valores de la humedad relativa, el rango de variación es muy similar en todas las estaciones. Teniendo la estación Ejido El Porvenir y Sierra de Juárez los promedios más bajos. Las variaciones más bajas se encuentran en Boquilla Santa Rosa De La Misión, La Misión y Real Del Castillo Viejo. Y los rangos de variación más alta se encuentran en El Pinal, Ojos Negros, San Juan De Dios Norte y Valle De San Rafael como se observa en las Figura 45, Figura 46, Figura 47 y Figura 48.

En las Figura 49, Figura 50, Figura 51 y Figura 52, se observa que la variación de la velocidad del viento es igual en todas las estaciones. El total de precipitación diaria que ocurre en cada estación se muestran en las Figura 53, Figura 54, Figura 55 y Figura 56. Es evidente a partir de estas cifras que se registraron mayores precipitaciones en las estaciones de Olivares Mexicanos, Boquilla Santa Rosa De La Misión, El Pinal, Ignacio Zaragoza Belén, Agua Caliente, San Juan De Dios Norte, Sierra Juárez, Valle San Rafael, Ojos Negros, El Alamar, Ejido Carmen Serdán con respecto a las estaciones de la Misión, El Farito, Real Del Castillo Viejo, Ejido El Porvenir y Ensenada (Observatorio); esto podría deberse a que estas últimas son las estaciones con menos registros.

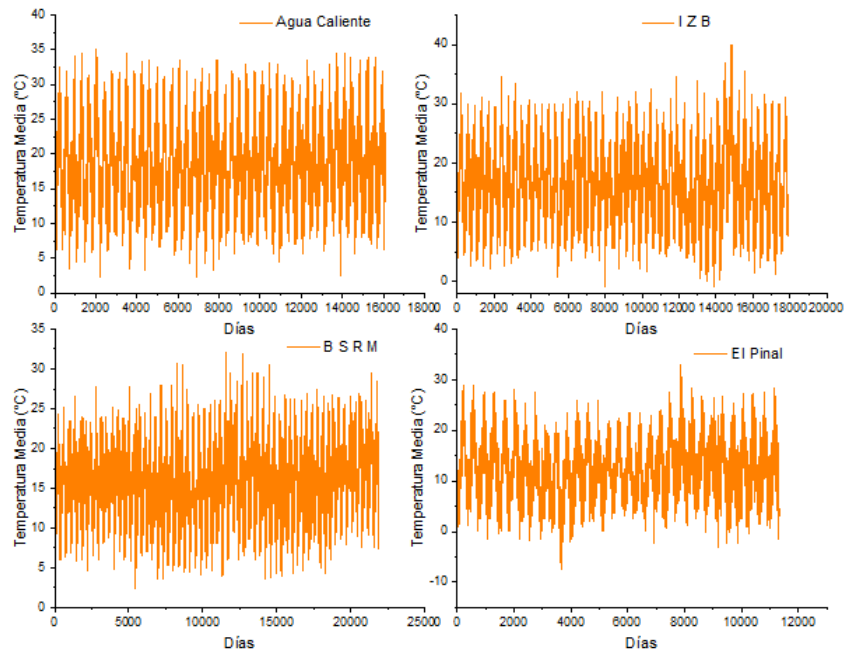


Figura 37. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.

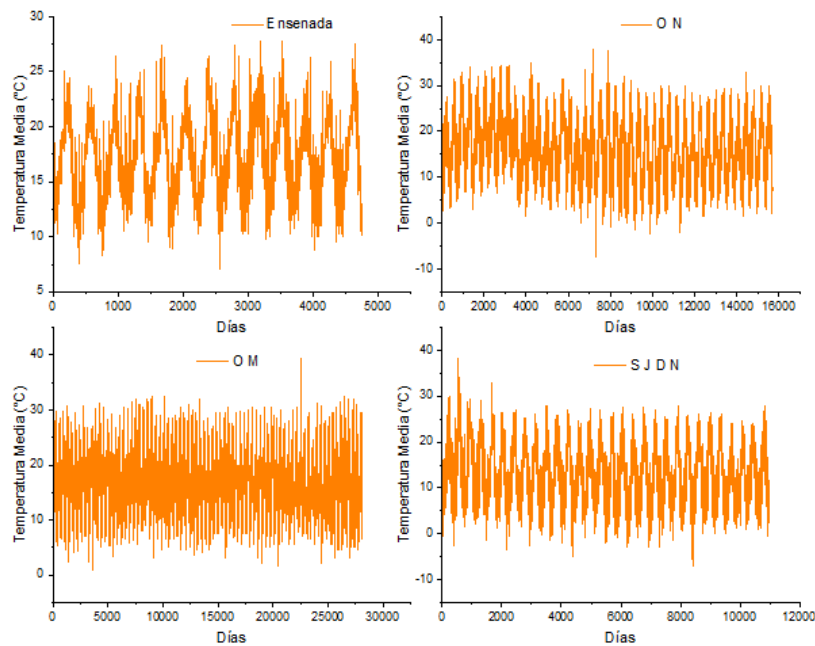


Figura 38. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.

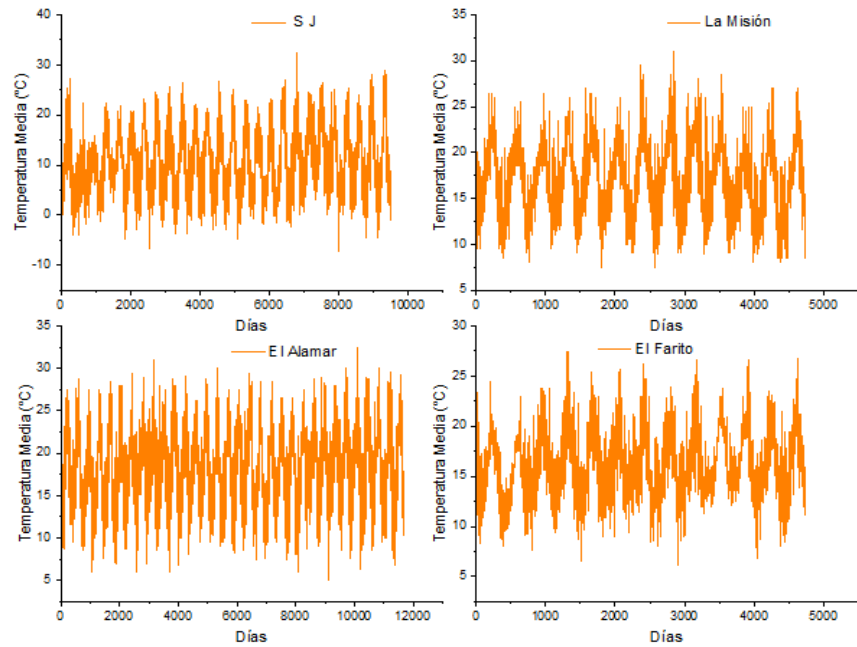


Figura 39. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.

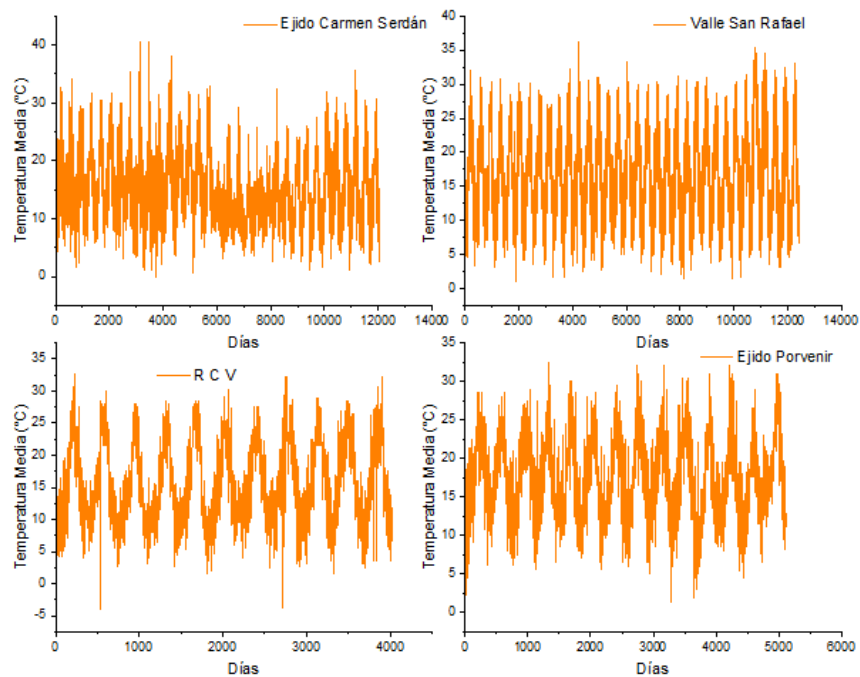


Figura 40. Variación de los valores diarios de la temperatura media en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

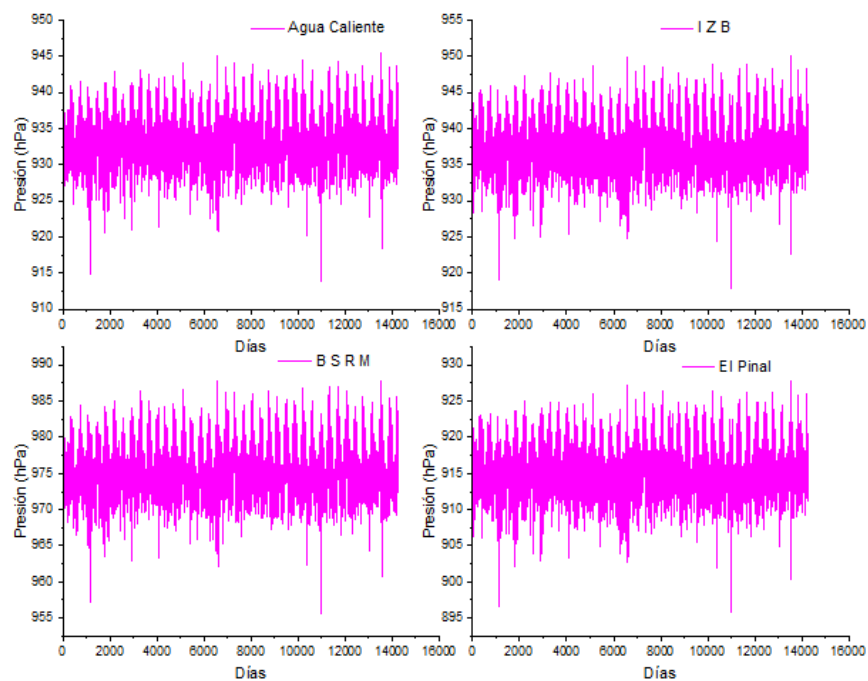


Figura 41. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.

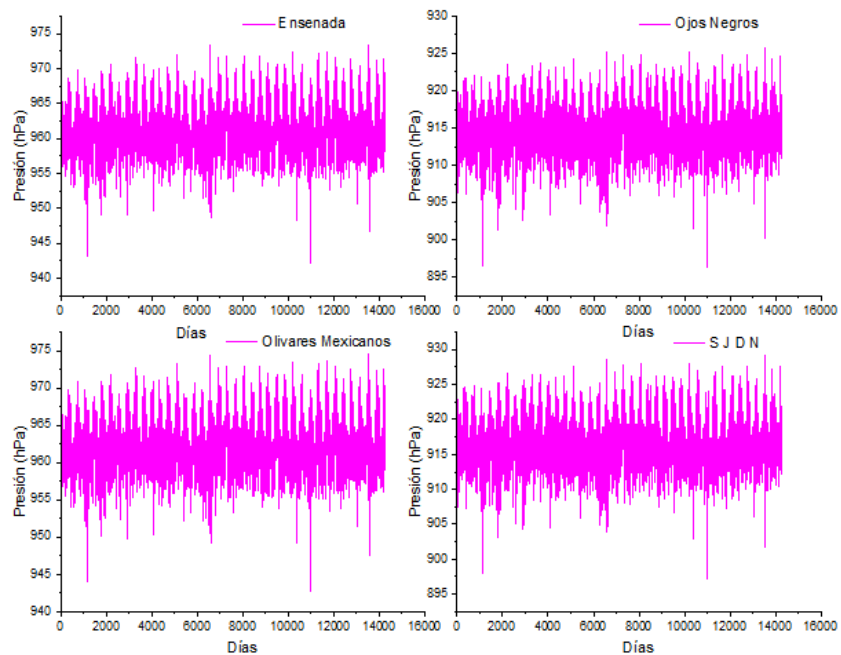


Figura 42. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.

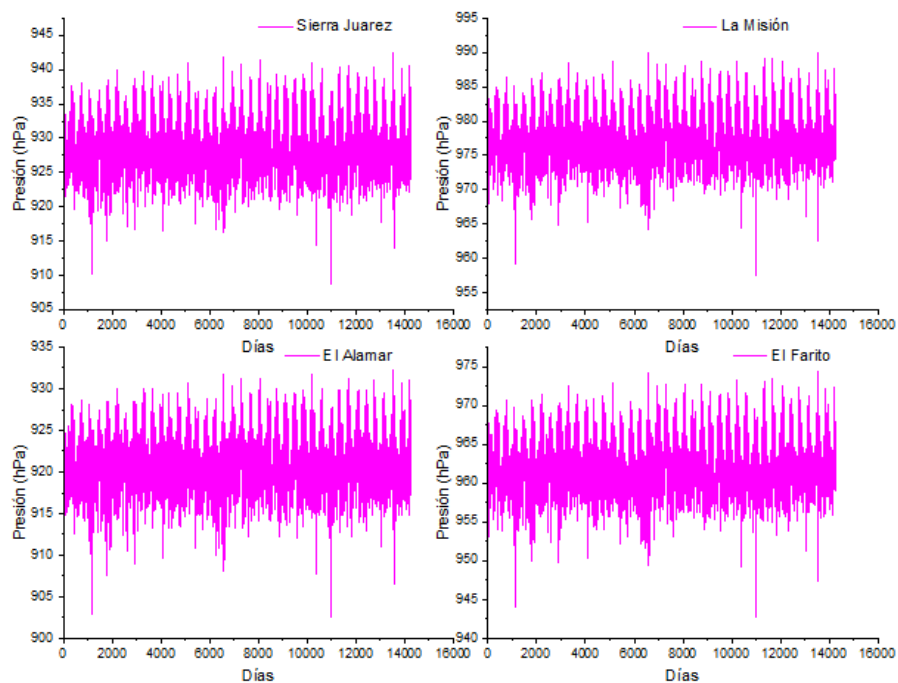


Figura 43. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.

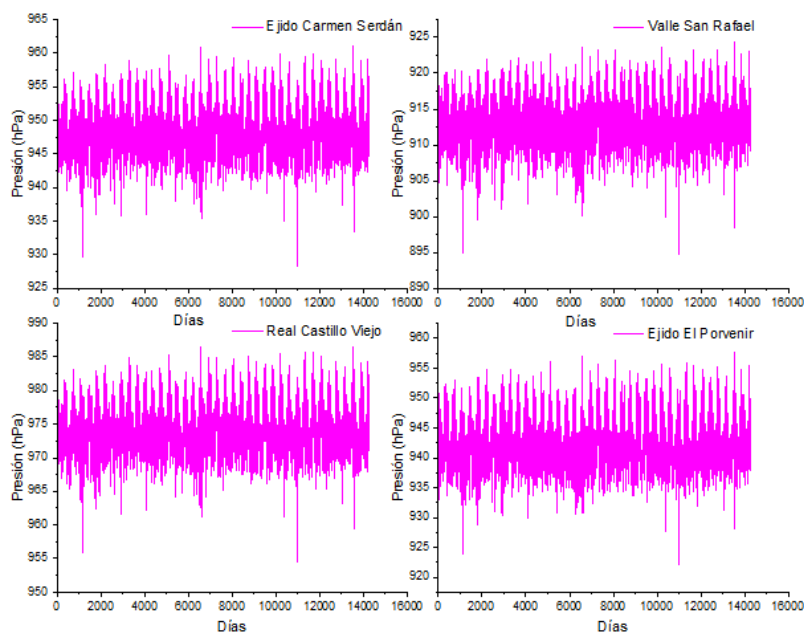


Figura 44. Variación de los valores diarios de la presión en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

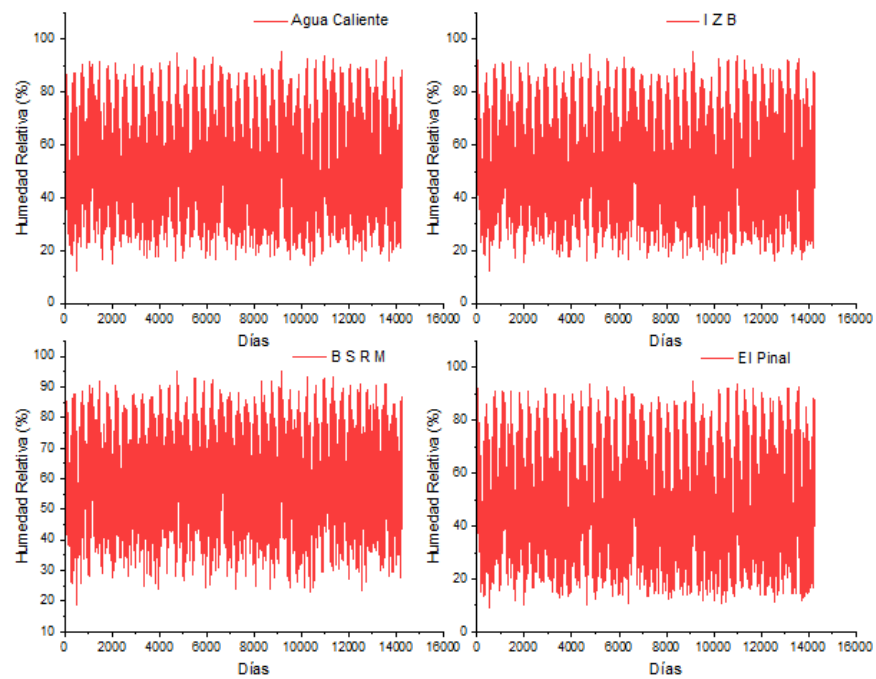


Figura 45. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión y El Pinal.

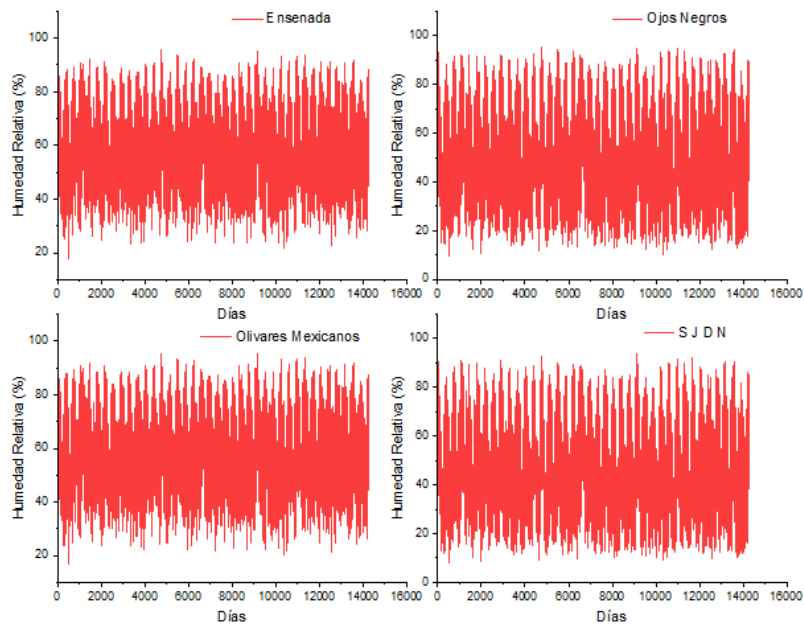


Figura 46. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

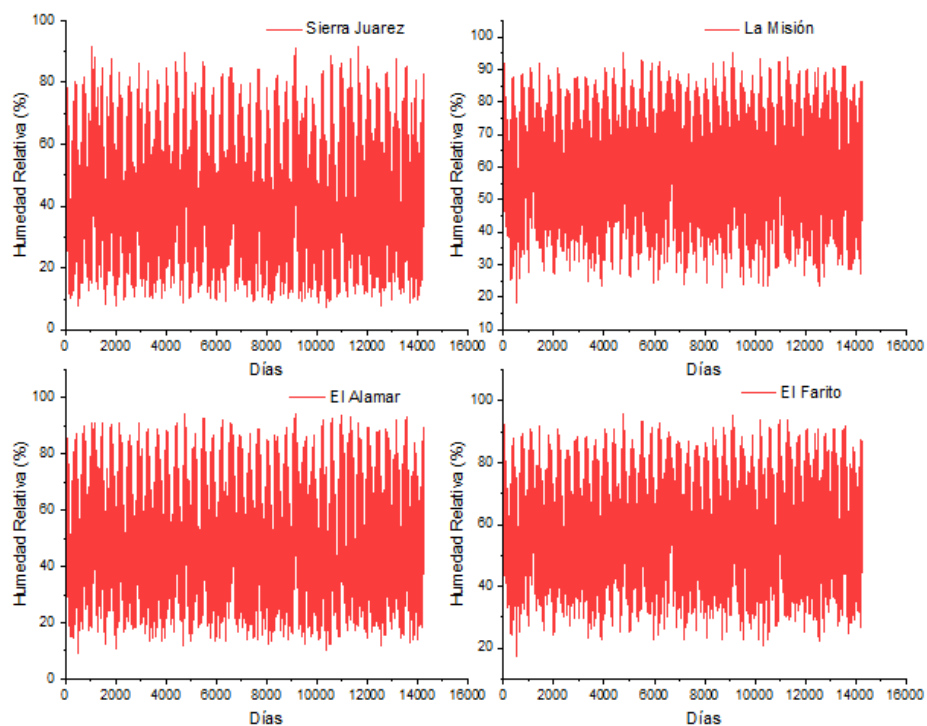


Figura 47. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.

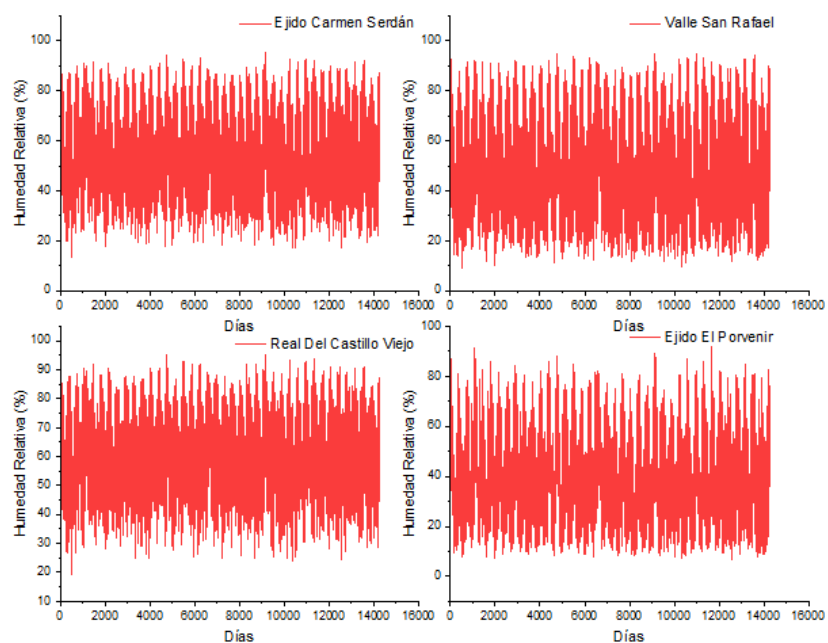


Figura 48. Variación de los valores diarios de la humedad relativa en las estaciones de Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

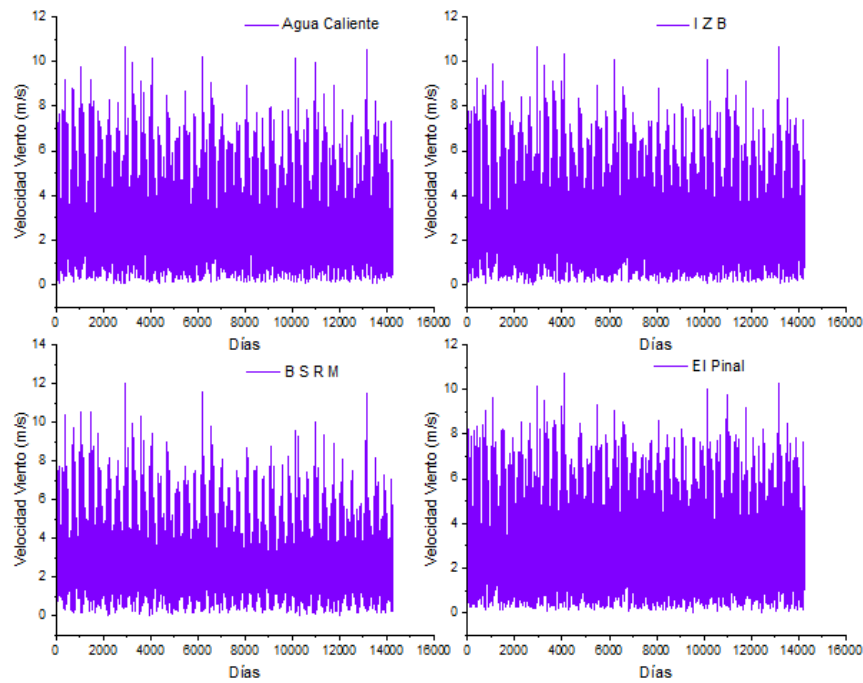


Figura 49. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.

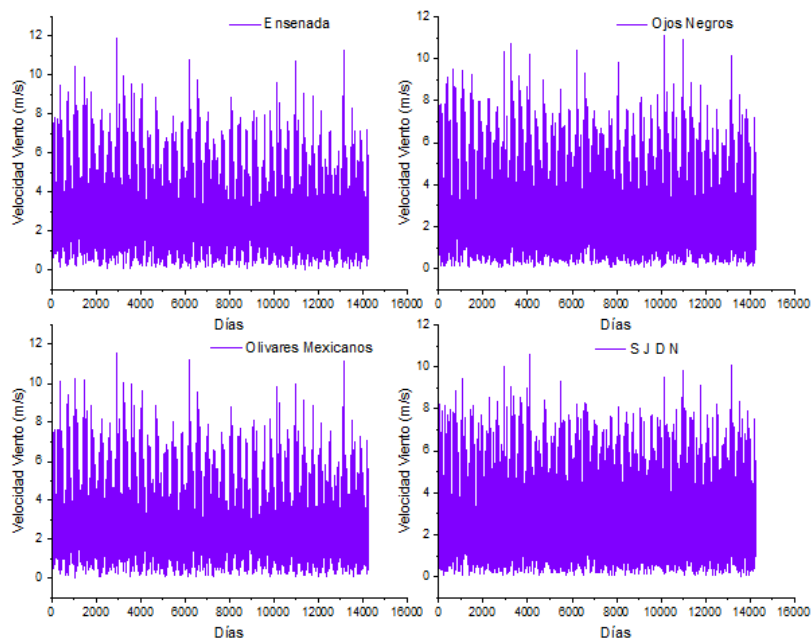


Figura 50. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

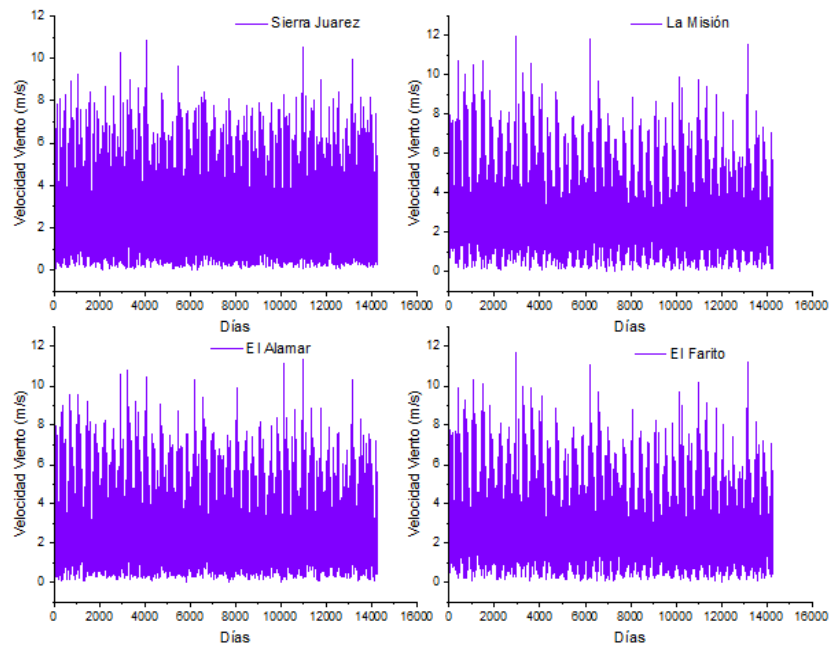


Figura 51. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.

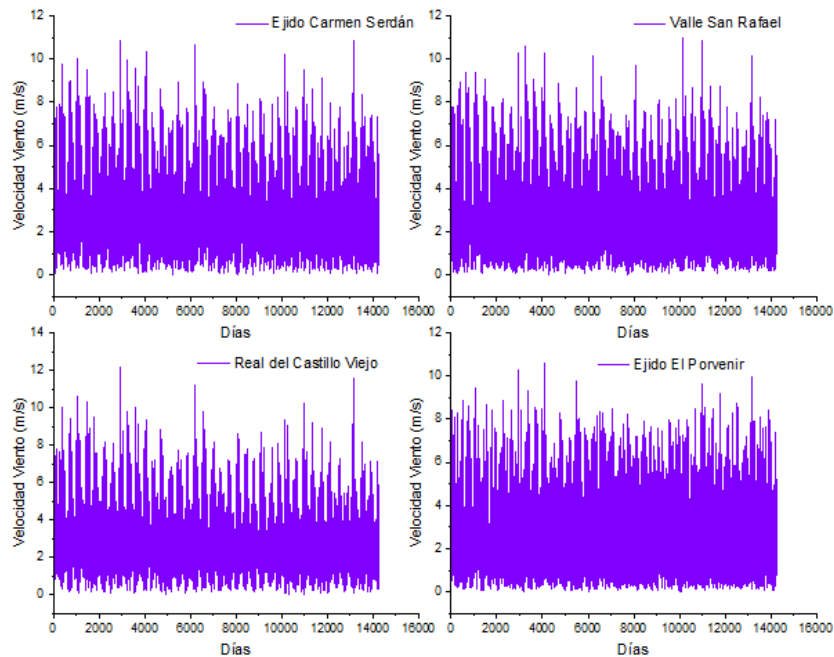


Figura 52. Variación de los valores diarios de la velocidad del viento en las estaciones Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

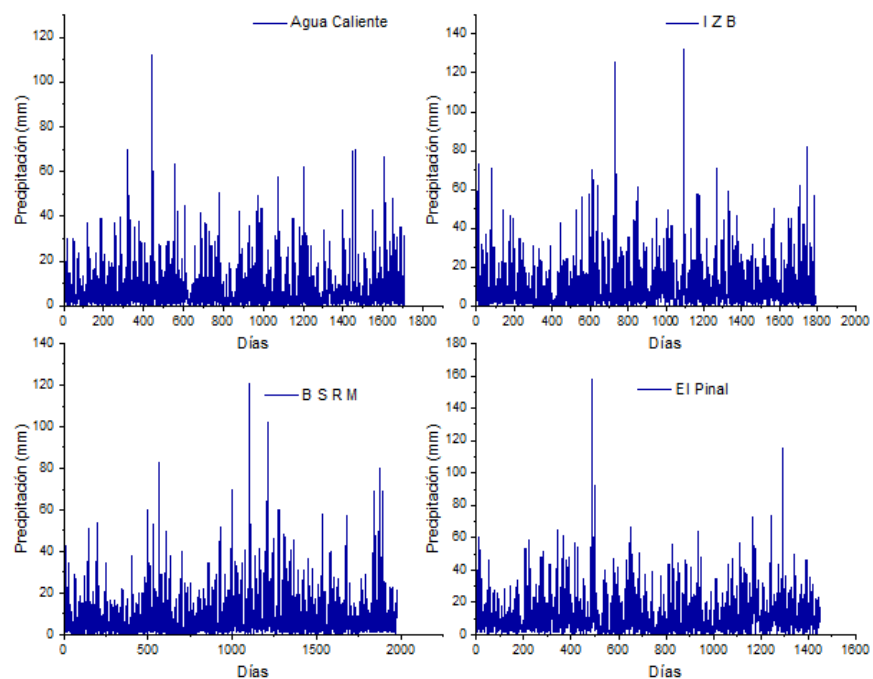


Figura 53. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM y El Pinal.

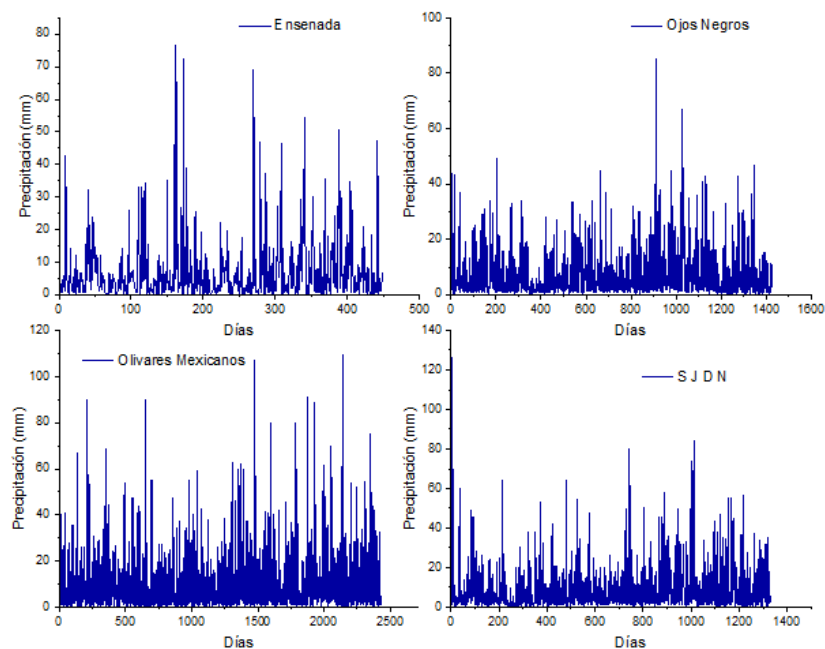


Figura 54. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.

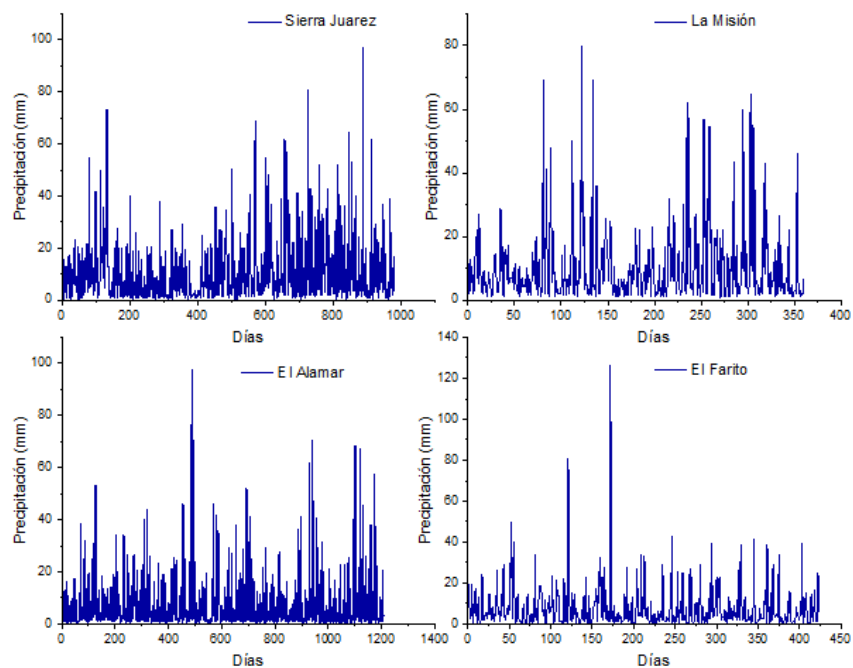


Figura 55. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Sierra Juárez, La Misión, El Alamar y El Farito.

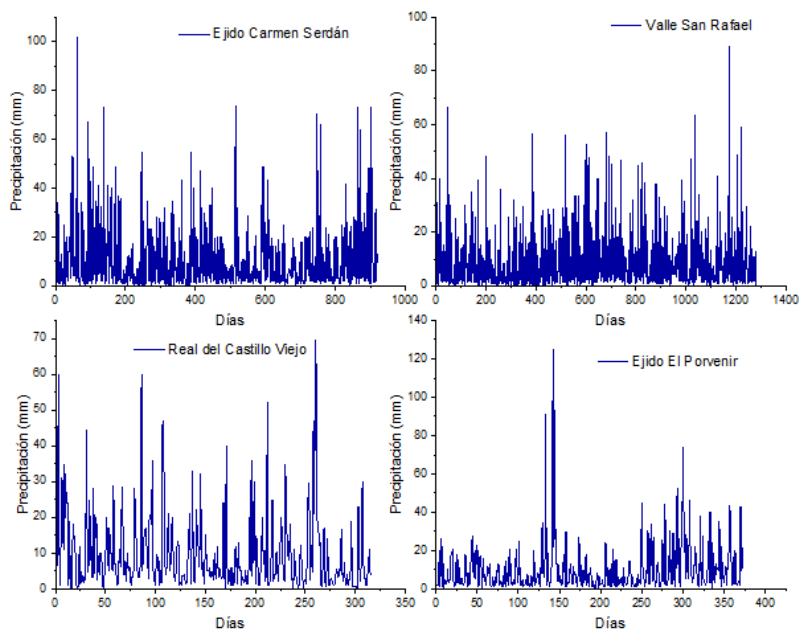


Figura 56. Variación de los valores diarios de precipitación en las estaciones Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

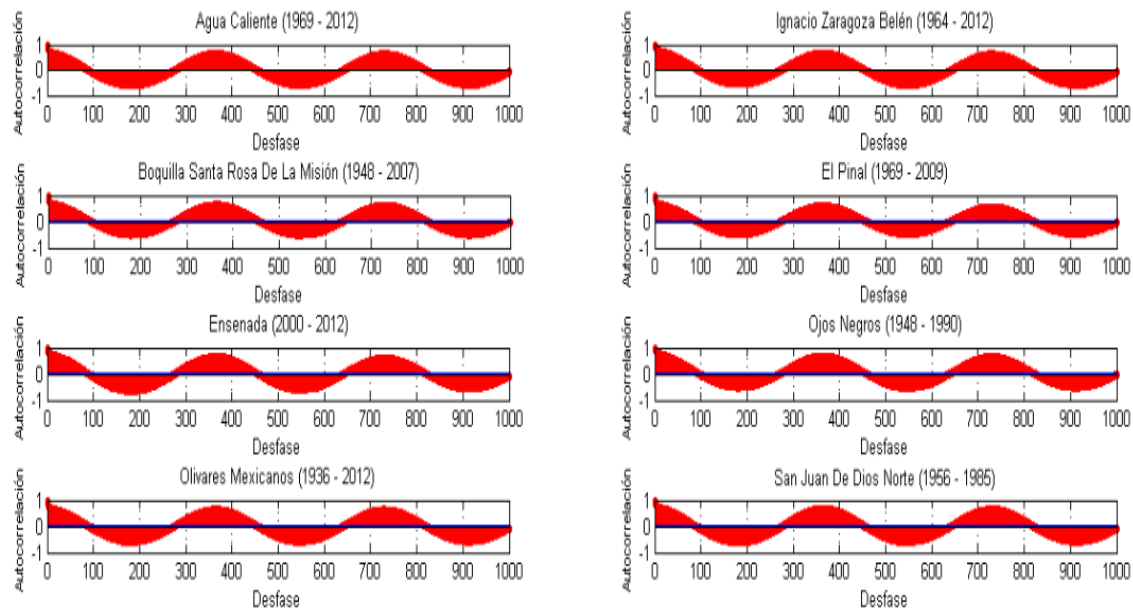


Figura 57. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la temperatura media con los desfases para las estaciones Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Sta Rosa de la Misión, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

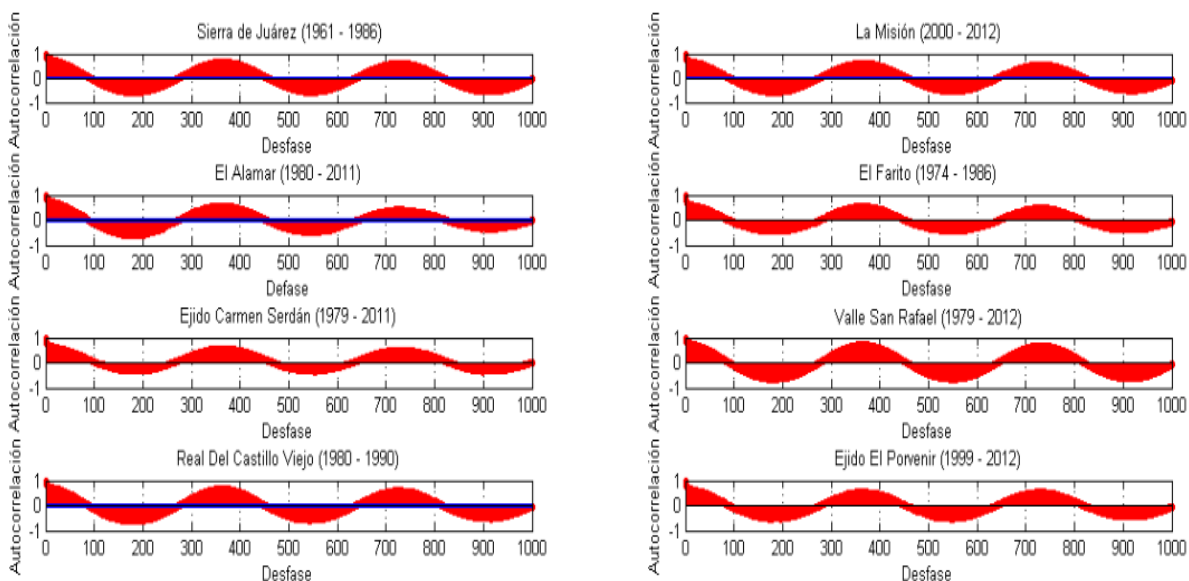


Figura 58. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la temperatura media con los desfases para las estaciones de Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

Los coeficientes de autocorrelación de temperatura, precipitación, presión, humedad relativa y la velocidad del viento durante varios retrasos se muestran en la Figura 57 a la Figura 66. Los coeficientes de autocorrelación para todas las estaciones meteorológicas muestran que la temperatura sigue un patrón estacional bien definido, como se puede ver en la Figura 57 y la Figura 58. Los patrones estacionales mostrados por las funciones de autocorrelación son similares al patrón formado por los datos de series temporales de temperatura que se muestran en la Figura 37, Figura 38, Figura 39 y Figura 40.

El coeficiente de autocorrelación para los datos de precipitación diaria total para todas las estaciones meteorológicas se muestra en las Figura 59 y Figura 60.

La función de autocorrelación para los datos de la presión diaria, también sigue el mismo patrón estacional que tienen las series de tiempo de los datos de la presión graficados en la Figura 41, Figura 42, Figura 43 y Figura 44.

El coeficiente de autocorrelación para los datos de la humedad relativa diaria, mostraron que sigue un patrón estacional bien definido, como se puede ver las Figura 63 y Figura 64. Siendo más marcado en algunas estaciones que otras, y mostrando el mismo comportamiento que la de la serie de tiempo de las humedades relativas que se muestran en las gráficas de la humedad relativa vs tiempo.

Los coeficientes de autocorrelación para los datos de la velocidad del viento, sigue un patrón, pero el valor del coeficiente de autocorrelación después del primer desfase es bajo y cercanos a cero, como se observa en las Figura 65 y Figura 66.

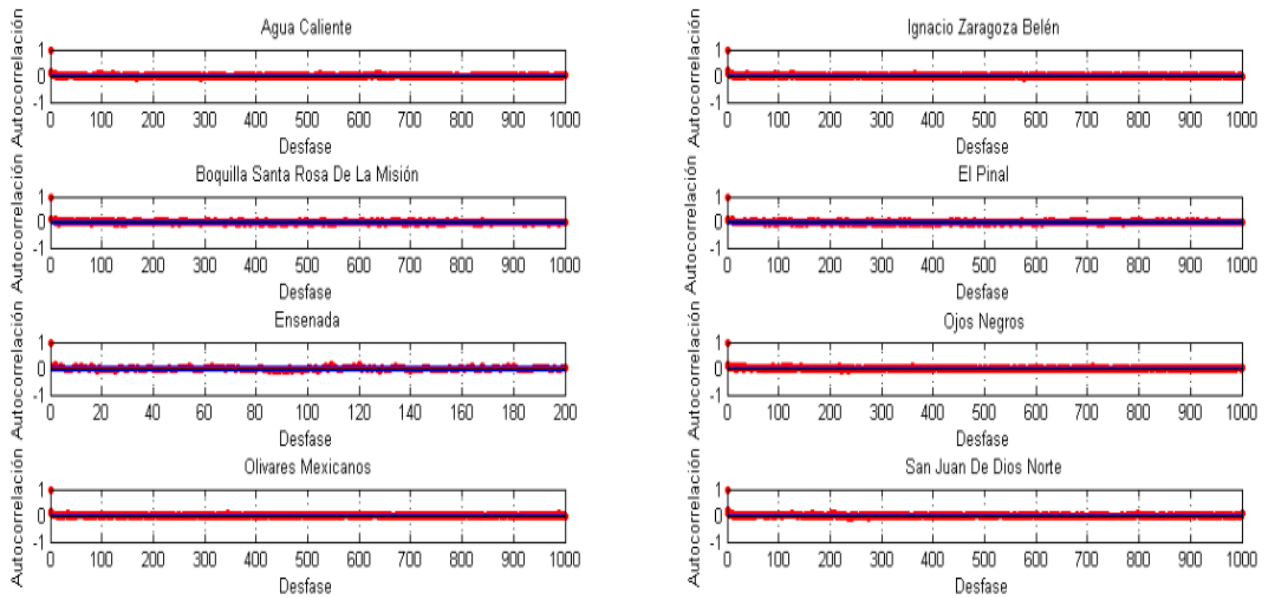


Figura 59. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la precipitación con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan de Dios Norte.

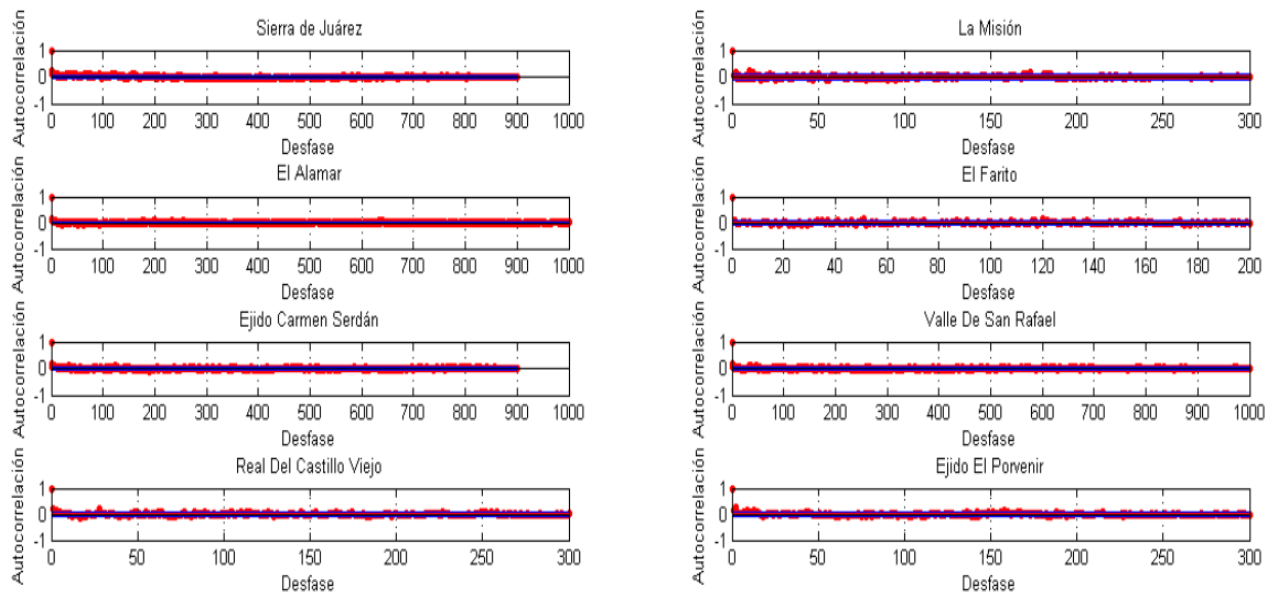


Figura 60. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la precipitación con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

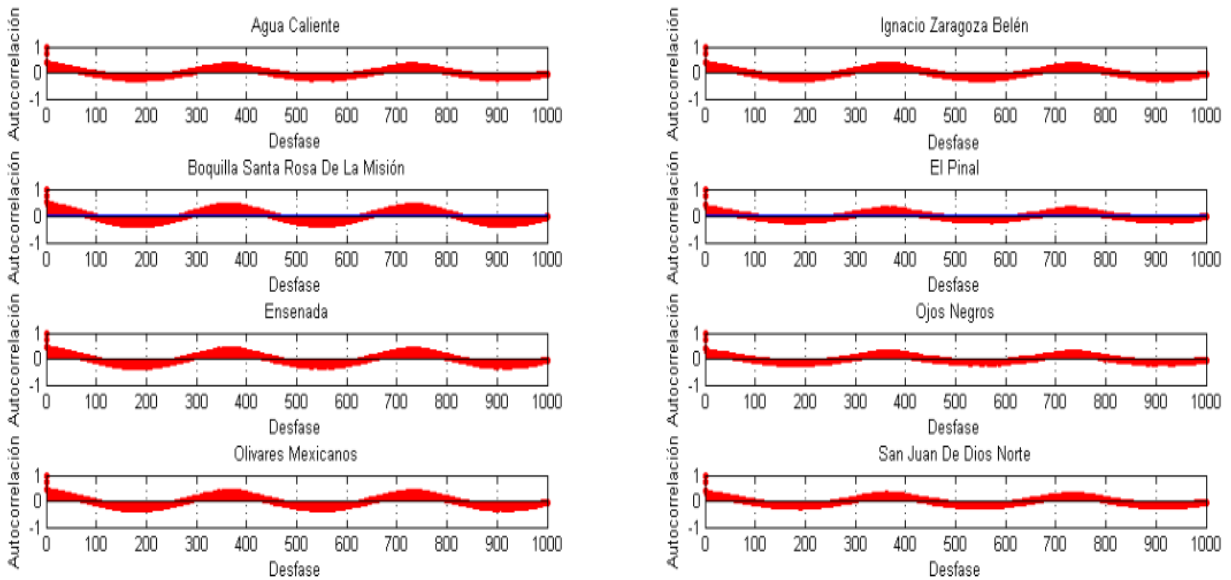


Figura 61. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la presión con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

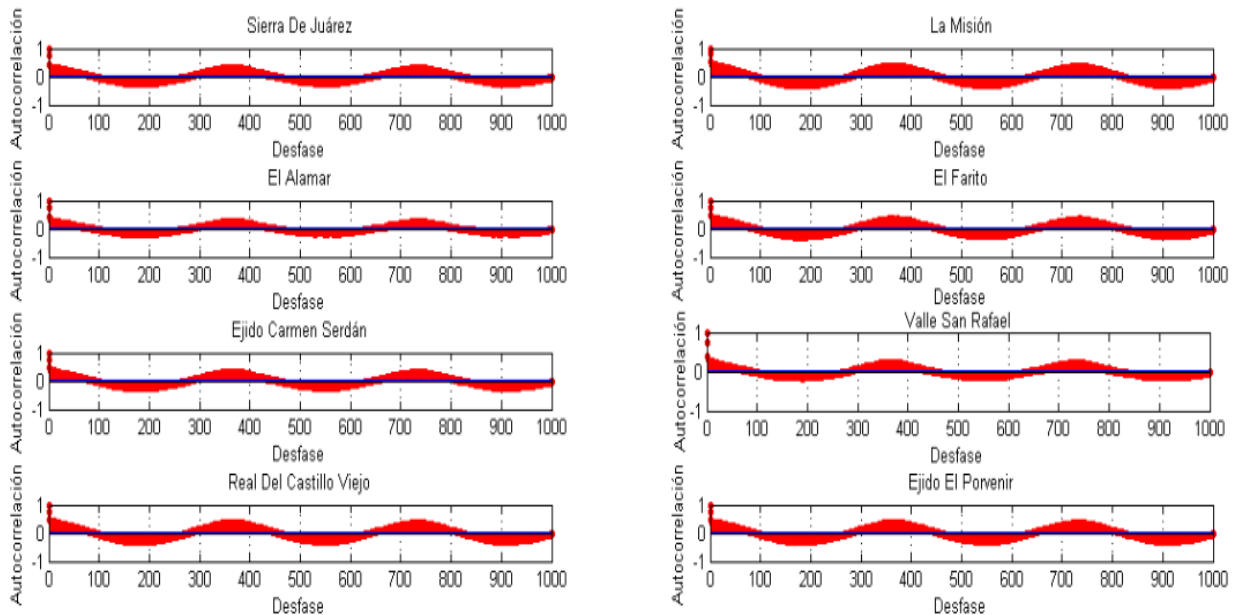


Figura 62. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la presión con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

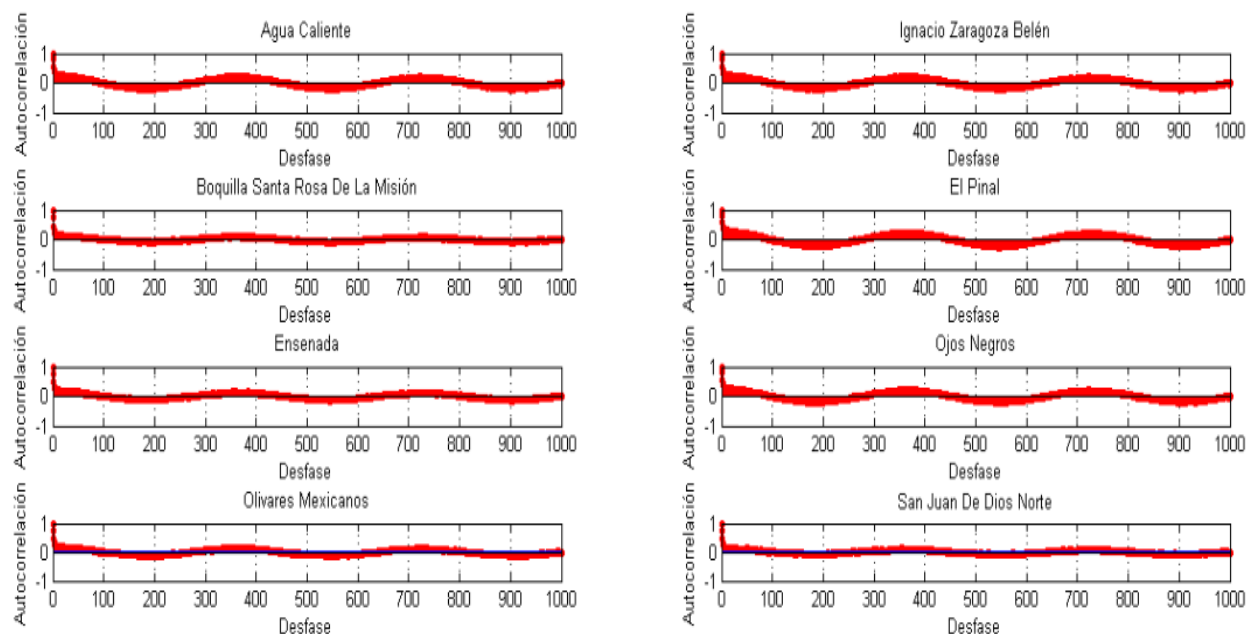


Figura 63. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la humedad relativa con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

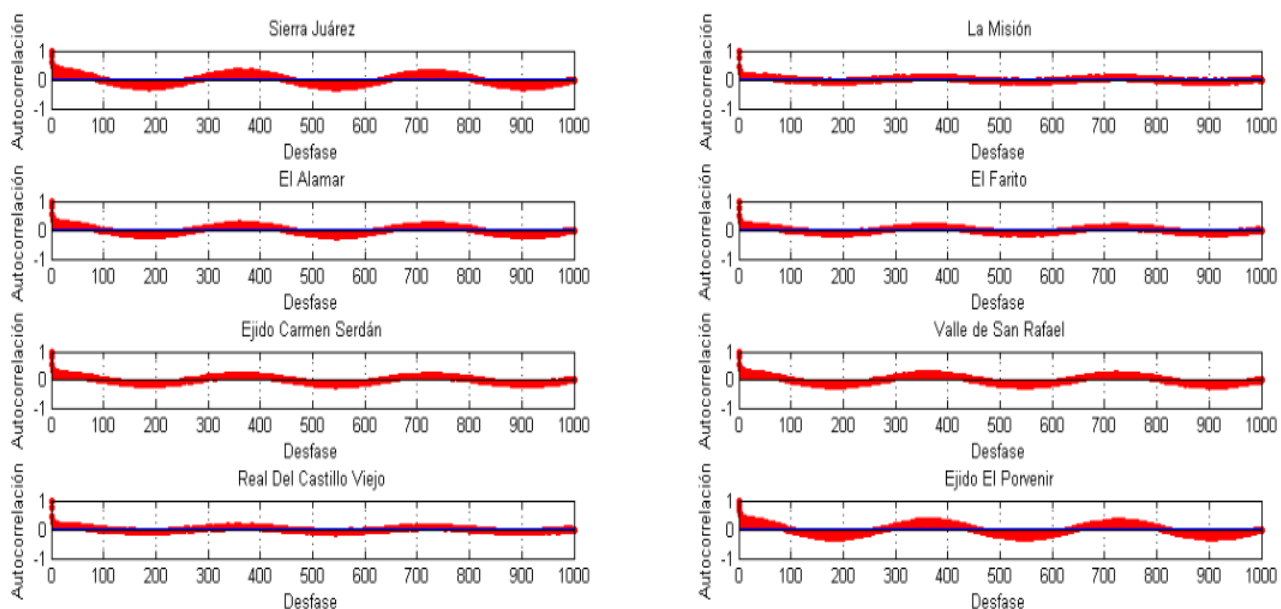


Figura 64. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la humedad relativa con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

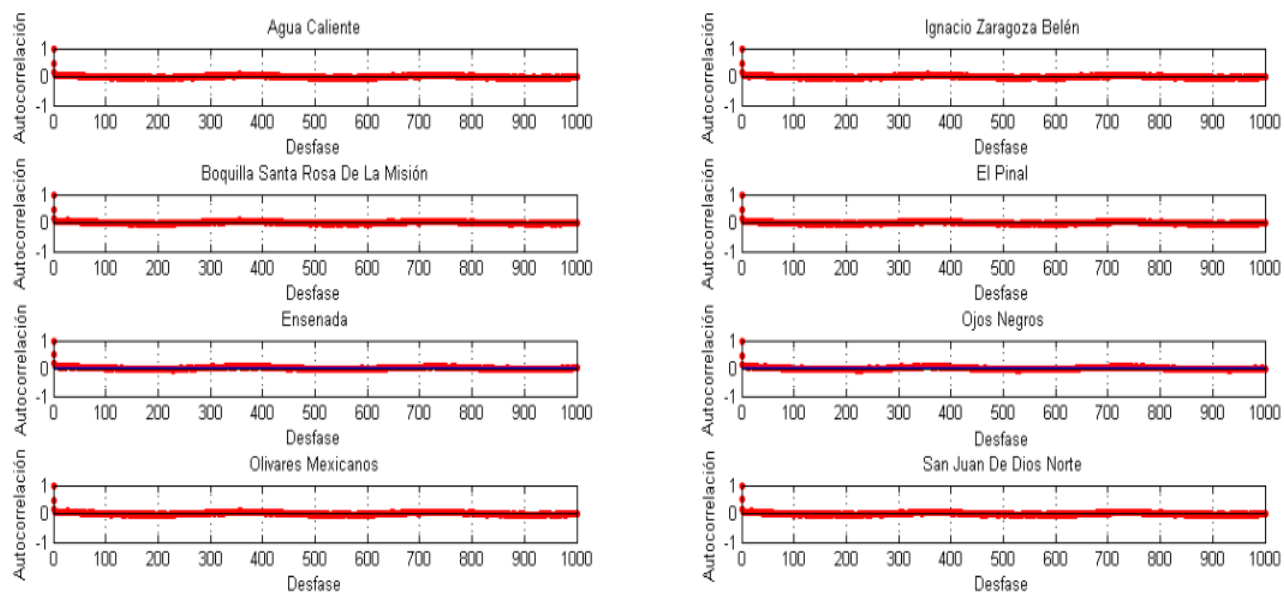


Figura 65. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la velocidad del viento con los desfases para las estaciones de Agua Caliente, IZB, BSRM, El Pinal, Ensenada, Ojos Negros, Olivares Mexicanos y San Juan De Dios Norte.

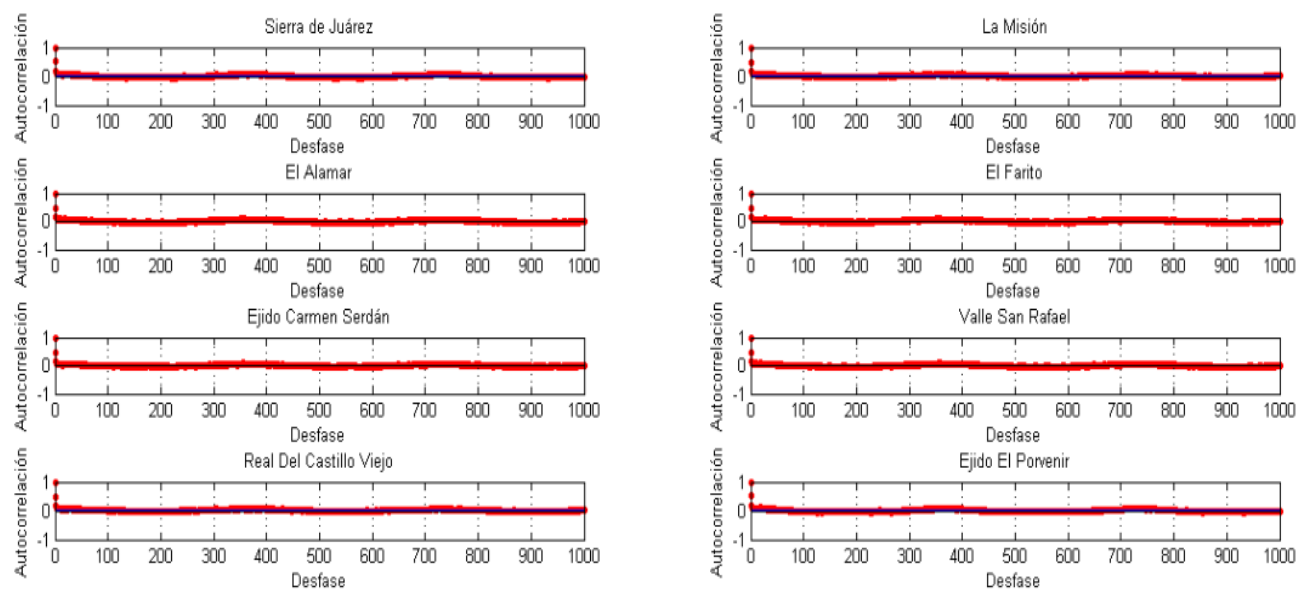


Figura 66. Coeficientes de correlación de la serie de tiempo de la velocidad del viento con los desfases para las estaciones Sierra de Juárez, La Misión, El Alamar, El Farito, Ejido Carmen Serdán, Valle de San Rafael, Real Del Castillo Viejo y Ejido El Porvenir.

4.1 Fractalidad e índice de previsibilidad para variables climatológicas

Los exponentes de Hurst (H) para presión, temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad viento, fueron calculados usando el método de análisis rango reescalado (R/S), se resume en la Tabla 6. El software Benoit se utilizó para el cálculo de Hurst como se explicó en la parte de metodología. Los valores de H para la presión, como se ve en la primera columna de la Tabla 6, están muy por encima de 0.5 para todas las estaciones. Esto indica que los valores de presión en el paso de tiempo futuro dependen de los valores anteriores. El máximo H se observó para las series temporales de presión de Boquilla Santa Rosa De La Misión, Real Del Castillo Viejo y La Misión; mientras que el mínimo de 0.77 para Ojos Negros, Valle San Rafael, y el Pinal. Para el resto de la estación H varió entre 0.78-0.82, reflejando una persistencia débil. Para la serie temporal de temperatura, los Hurst tienen valores de entre 0.88 y 1.00 en todas las estaciones, mostrando un comportamiento de persistencia fuerte, por lo que se puede afirmar que los valores de temperatura en un tiempo futuro dependen en gran medida de los valores anteriores y presentan tendencia, especialmente en las estaciones de Sierra de Juárez, Ejido El Porvenir, Ensenada, La Misión y Real Del Castillo Viejo, es decir es un proceso cíclico a largo plazo.

Los valores del Hurst para la precipitación, estuvieron por encima de 0.5 para la mayoría de estaciones exceptuando la estación El Farito que alcanzó un Hurst de 0.47, mostrando antipersistencia. El máximo valor del Hurst fue encontrado en Ojos Negros con un valor de 0.73 y el más bajo en el Farito con 0.47; esto para los datos de precipitación tomados de las estaciones; cuando se calculó el Hurst para los registros de precipitación suministrados por el MERRA-2, Tabla 7, el Hurst de todas las estaciones estuvo por encima 0.5, lo que es indicativo de la dependencia de los valores futuros de precipitación con respecto a los anteriores; con estos datos el Hurst máximo fue de 0.76 repitiéndose en cuatro estaciones: Boquilla Santa Rosa De La Misión, Ensenada, Olivares Mexicanos, Real Del Castillo Viejo y La Misión; y el valor más bajo de 0.68 en la estación Ejido El porvenir.

Para el Hurst de la serie de tiempo de la humedad relativa también se observaron valores más grandes de 0.5 para todas las estaciones, siendo más fuerte la persistencia en las estaciones de Ojos Negros, Sierra de Juárez, El Alamar, Valle de San Rafael, Ejido El Porvenir, Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, El Pinal, San Juan de Dios Norte y Ejido Carmen Serdán; y una

persistencia más débil en las estaciones de Boquilla Santa Rosa de la Misión, Ensenada, Olivares Mexicanos, El Farito, Real Del Castillo Viejo y La Misión.

Aunque la velocidad del viento es un parámetro altamente impredecible (Shafiqur, 2009), se encontró que los valores del Hurst eran mayores que 0.5 para todos los datos de las series de tiempo utilizados en este estudio, con valores entre 0.64 y 0.68, encontrándose el más bajo en la estación de Ignacio Zaragoza Belén, El Pinal y Ejido Carmen Serdán; y el valor más alto de 0.68 en Sierra De Juárez y Ejido El Porvenir . Esto muestra una dependencia relativamente mayor de la velocidad del viento en el tiempo futuro dominada por los valores anteriores(Shafiqur, 2009).

Tabla 6. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para la serie completa de los datos.

Estaciones		SERIE COMPLETA				
Código	Nombre	Presión	T	Precipitación	HR	VV
2035	Ojos Negros	0.77	0.96	0.63	0.81	0.66
2066	Sierra de Juárez	0.80	1.00	0.67	0.85	0.68
2079	El Alamar	0.78	0.95	0.59	0.81	0.66
2118	Valle San Rafael	0.77	0.95	0.59	0.82	0.66
2164	Ejido El Porvenir	0.82	1.00	0.62	0.86	0.68
2001	Agua Caliente	0.79	0.88	0.62	0.81	0.65
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.80	0.92	0.60	0.81	0.64
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.83	0.87	0.62	0.75	0.65
2021	El Pinal	0.77	0.95	0.64	0.83	0.64
2025	Ensenada (Obs)	0.82	1.00	0.59	0.77	0.66
2036	Olivares Mexicanos	0.82	0.85	0.59	0.77	0.65
2049	San Juan de Dios Norte	0.78	0.96	0.61	0.83	0.65
2094	El Farito	0.82	0.99	0.47	0.77	0.65
2122	Real del Castillo Viejo	0.83	1.00	0.55	0.75	0.65
2077	La Misión	0.83	1.00	0.58	0.74	0.65
2114	Ejido Carmen Serdán	0.81	0.95	0.65	0.80	0.64

Tabla 7. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para la serie completa de los datos con registros de precipitación y temperatura del Merra-2.

Estaciones		SERIE COMPLETA				
Código	Nombre	Presión	T	Precipitación	HR	VV
2035	Ojos Negros	0.77	0.93	0.73	0.81	0.66
2066	Sierra de Juárez	0.80	0.96	0.69	0.85	0.68
2079	El Alamar	0.78	0.93	0.73	0.81	0.66
2118	Valle San Rafael	0.77	0.94	0.72	0.82	0.66
2164	Ejido El Porvenir	0.82	0.96	0.68	0.86	0.68
2001	Agua Caliente	0.79	0.93	0.74	0.81	0.65
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.80	0.93	0.74	0.81	0.64
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.83	0.91	0.76	0.75	0.65
2021	El Pinal	0.77	0.94	0.72	0.83	0.64
2025	Ensenada (Obs)	0.82	0.92	0.76	0.77	0.66
2036	Olivares Mexicanos	0.82	0.92	0.76	0.77	0.65
2049	San Juan de Dios Norte	0.78	0.95	0.70	0.83	0.65
2094	El Farito	0.82	0.92	0.75	0.77	0.65
2122	Real del Castillo Viejo	0.83	0.90	0.76	0.75	0.65
2077	La Misión	0.83	0.91	0.76	0.74	0.65
2114	Ejido Carmen Serdán	0.81	0.93	0.75	0.80	0.64

Al comparar los Hurst obtenidos con los resultados de investigaciones en distintas regiones del mundo, se observa que la precipitación presenta un comportamiento similar al encontrarse bajo condiciones climáticas similares. La primera comparación fue realizada con respecto a los valores reportados en la tesis de maestría de Carrillo Yee en 2015, donde se realizó un estudio de la Fractalidad de Series de Tiempo de Precipitación y Temperatura en el estado de Baja California y al hacer parte de este la Cuenca Hidrográfica del Valle de Guadalupe

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los datos obtenidos en la investigación de 2015 frente a los obtenidos en este presente trabajo para los valores de la precipitación. Se observa que los valores de precipitación promedio anual son muy parecidos en todas las estaciones, pero al haberse realizado estimación de datos faltantes en esta investigación los valores de precipitación promedio anual son más altos, columna derecha, que los del trabajo de 2015, columna izquierda.

En cuanto a los valores del exponente de Hurst en la investigación de 2015 se estimaron por tres métodos: rango reescalado, box-counting y MF-DFA, pero solo se reportó el promedio de estos tres mientras que en este solo se calculó por medio del rango reescalado. Para las estaciones en común en las dos monografías las series de precipitación fueron persistentes con Hurst mayores a 0.5.

Tabla 8. Cuadro comparativo de valores de precipitación de la investigación 2015 vs resultados del presente trabajo.

Código	Estación climatológica	Longitud	Latitud	Elevación en msnm	Precipitación promedio anual (mm)		Exponente de Hurst promedio (R/S, Box-counting, MF-DFA)	Exponente de Hurst R/S	Dimensión fractal promedio (R/S, Box-counting, MF-DFA)	Dimensión fractal R/S
Año					2015	2020	2015	2020	2015	2020
2001	Agua caliente Ignacio	-116.454	32.107	400	272.7	276.63	0.51	0.62	1.49	1.38
2004	Zaragoza Belén	-116.486	32.195	540	294.04	336.93	0.54	0.60	1.46	1.40
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	-116.777	32.022	250	260.9	265.8	0.54	0.62	1.46	1.38
2021	El Pinal	-116.292	32.183	1320	453.8	518.31	0.55	0.64	1.46	1.36
2035	Ojos Negros	-116.265	31.912	680	222.32	233.25	0.50	0.63	1.50	1.37
2036	Olivares Mexicanos	-116.681	32.049	340	279.9	302.32	0.53	0.59	1.47	1.41
2049	San Juan de Dios Norte	-116.165	32.132	1280	362.9	392.8	0.52	0.61	1.48	1.39
20790	El Alamar	-116.204	31.836	710	264.08	265.94	0.54	0.59	1.46	1.41
2114	Ejido Carmen Serdán	-116.584	32.244	560	231.8	288.46	0.62	0.65	1.38	1.35
2118	Valle San Rafael	-116.234	31.919	721	218.4	321.79	0.54	0.59	1.46	1.41

Para los valores de la serie de temperatura media se resumen en la Tabla 10, también se estimaron datos faltantes por lo cual los valores de temperatura promedio anual para la disertación anterior están más bajos que los del presente análisis. En el caso de los Hurst el valor para todas las estaciones en la tesis de 2015 es menor a 0.5, antipersistente, mientras que en el tratado actual son mayores a 0.5 es decir con valores persistentes; esto se debe a que los Hurst calculados se les aplicó una transformada “Running Sum”, el programa Benoit no distingue entre ruido azul, blanco y rosa. Afortunadamente Benoit cuenta con dos transformadas simples que cambian la pendiente y por tanto Hurst y la dimensión fractal, “Running Sum” y “First Difference”. La Tabla 9 resume el

rango y la relación entre la pendiente β de una gráfico log-log, el exponente de Hurst, el nombre del ruido y la dimensión fractal.

Tabla 9. Rango y relación entre la pendiente β en un gráfico log-log, el exponente de Hurst, los nombres de los ruidos utilizados en física y la dimensión fractal D.

Pendiente grafico Log-log en el análisis del espectro de potencia	Exponente de Hurst H	Ruido de color	Dimensión Fractal D
-1	0	Azul	2
0	0	Blanco	2
1	0	Rosa	2
2	0.5	Marrón	1.5
3	1	Negro	1

Fuente: Manual Benoit

Tabla 10. Cuadro comparativo de valores de temperatura de la investigación 2015 vs resultados del presente trabajo.

Código	Estación climatológica	Longitud	Latitud	Elevación en msnm	Temperatura promedio anual (°C)		Exponente de Hurst promedio (R/S, Box- counting, MF-DFA)	Exponente de Hurst R/S	Dimensión fractal promedio (R/S, Box- counting, MF-DFA)	Dimensión fractal R/S
Año					2015	2020	2015	2020	2015	2020
2001	Agua caliente	-116.454	32.107	400	12.68	18.06	0.39	0.88	1.61	1.12
2004	Ignacio Zaragoza Belén	-116.486	32.195	540	12.21	16.44	0.46	0.92	1.54	1.08
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	-116.777	32.022	250	13.22	15.45	0.41	0.87	1.59	1.13
2021	El Pinal	-116.292	32.183	1320	9.22	12.3	0.33	0.95	1.67	1.05
2035	Ojos Negros	-116.265	31.912	680	12.73	16.19	0.31	0.96	1.69	1.04
2036	Olivares Mexicanos	-116.681	32.049	340	14.46	16.62	0.33	0.85	1.67	1.15
2049	San Juan de Dios Norte	-116.165	32.132	1280	12.09	12.92	0.31	0.96	1.69	1.04
20790	El Alamar	-116.204	31.836	710	12.8	17.83	0.35	0.95	1.65	1.05
2114	Ejido Carmen Serdán	-116.584	32.244	560	11.57	15.4	0.35	0.95	1.64	1.05
2118	Valle San Rafael	-116.234	31.919	721	12.45	16.75	0.34	0.95	1.63	1.05

Al comparar los valores del Hurst de la temperatura promedio de las estaciones que, si están reportadas el cálculo para cada uno de los métodos utilizados, los Hurst obtenidos por medio del R/S, son antipersistentes, valores <0.5 . En las estaciones de Ejido José María Morelos, Chapala, El Arco y San Juan de Dios Sur para el método de MF-DFA se obtuvieron valores persistentes como los obtenidos en este trabajo.

Además, en la tesis de 2015, se presentan unas tablas que recolectan los valores del Hurst para otras regiones del mundo con condiciones climáticas similares a Baja California como se muestra en la Figura 67.

Figura 67. Comparación de exponentes de Hurst de eventos de precipitación con otras investigaciones en condiciones climáticas similares a Baja California.

Región	Exponente de Hurst	Precipitación promedio (mm/año)	Clima	Método utilizado
Islas Canarias	0.45	900	BSh	Box- Counting
Zacatecas, México	0.22	431	Bsk	Ondoleta
Querétaro, México	0.44	823	Csa	MF DFA
Israel	0.7	476	BWh	DFA
La Pampa, Argentina	0.86	564	Csa	Rango rescalado
Alice Springs, Australia	0.56	286	BSh	Box- Counting
Madrid, España	0.55	636	Csa	Box- Counting
Porto, Portugal	0.45	854	Csb	Box- Counting
Botsuana	0.82	457	Csa	Rango rescalado
Galicia, España	0.85	524	Csb	Rango rescalado
Nápoles, Italia	0.15	894	Csa	Box-Counting
Adelaide, Australia	0.6	536	Bsk	Correlación
Arabia Saudita	0.65	94.6	BWh	Rango rescalado

Fuente: (Yee, 2015)

De acuerdo a la Figura 67 se puede observar que la mayoría de regiones con condiciones climáticas similares a Baja California muestran comportamiento persistente en el tiempo en las series de precipitación registradas. En la Cuenca Hidrográfica del Valle de Guadalupe algunas estaciones tienen un clima mediterráneo y otras un clima estepario frío, los cuales muestran exponentes de Hurst muy parecidos a los obtenidos en Madrid, Alice Springs, Adelaide y Arabia Saudita. Asimismo, existen regiones en las que, a pesar de presentar climas similares, se obtienen valores del exponente de Hurst menores a 0.5, tales como Islas Canarias, Zacatecas y Querétaro.

Referente a investigaciones enfocadas a estudiar el comportamiento de la temperatura, las regiones con condiciones similares a Baja California se presentan en la Figura 68, para posteriormente realizar la comparación con la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe.

Figura 68. Comparación de exponentes de Hurst de eventos de temperatura con otras investigaciones en condiciones climáticas similares a Baja California

Región	Exponente de Hurst	Temperatura promedio (°C/año)	Clima	Método utilizado
Querétaro, México	0.44	18	Csa	MF DFA
Mashad, Irán	0.65	21	BSk	Box- Counting
Arabia Saudita	0.4	26	BWh	Rango rescalado
Nuevo León	0.37	23	BSh	Espectro de potencia

Fuente: (Yee, 2015)

De acuerdo a la Figura 68, se puede observar que se obtienen valores del exponente de Hurst para series de temperatura que indican antipersistencia en el tiempo, a excepción de Mashad, Irán; siendo esta la única zona que comparte un comportamiento similar al encontrado en las series de temperatura de la cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe.

En cuanto a las otras variables en estudio se compararon con el trabajo realizado en Arabia Saudita en 20009, en la Tabla 11 se resumen los valores obtenidos para el Hurst por el método de rango reescalado y del valor absoluto.

Tabla 11. Valores del exponente de Hurst para Arabia Saudita para la presión, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento.

Presión	Temperatura	Precipitación	H.R.	Velocidad Viento	Método utilizado
0.23	0.4	0.64	0.61	0.64	Rango rescalado
0.56	0.55	0.51	0.52	0.69	Valor Absoluto

Para la humedad relativa tenemos que los exponentes de Hurst también son persistentes como los reportados en la investigación de Arabia Saudita, lo mismo sucede con los exponentes de Hurst de

la velocidad del viento que presentan valores muy similares a los encontrados. Caso contrario ocurre con la presión que para el rango rescalado reporta un valor antipersistente y para este análisis se obtuvieron valores persistentes.

En 2017, se reportó una investigación sobre las series de temperatura diaria en Grecia, el método utilizado fue el MF-DFA y el exponente de Hurst generalizado fue de 0.65 para la serie de temperatura media un valor persistente como los de la cuenca del Valle de Guadalupe. En este trabajo la temperatura mostraba una estacionalidad, ciclo anual, caso muy similar al de este trabajo donde se observó estacionalidad en la temperatura.

En cuanto al índice de previsibilidad de la precipitación en la subcuenca de Ojos Negros se observa que, al aumentar el índice de previsibilidad de la presión, aumenta el de la temperatura y al igual que el índice de previsibilidad de la precipitación. De igual forma disminuyen los tres valores cuando se comparan los valores de Sierra de Juárez con El Alamar; pero al comparar el valor de El Alamar con Valle de San Rafael el $IP_{Temperatura}$ se mantiene al igual que el $IP_{Precipitación}$ mientras que el $IP_{Presión}$ disminuye. Al contrastar los valores de Valle San Rafael con Ejido El Porvenir los tres índices aumentan. Estos crecimientos y disminuciones se deben al microclima propio de cada zona.

En la subcuenca del Valle de Guadalupe, la estación Ignacio Zaragoza Belén el $IP_{Presión}$ se mantiene, el $IP_{Temperatura}$ aumenta, pero la $IP_{precipitación}$ disminuye; en la estación Boquilla de Santa Rosa De La Misión el $IP_{Presión}$ aumenta, $IP_{Temperatura}$ disminuye y $IP_{Precipitación}$ aumenta; en El Pinal $IP_{Presión}$ disminuye, el $IP_{Temperatura}$ aumenta y el $IP_{Precipitación}$ aumenta. Con respecto a Ensenada, el $IP_{Temperatura}$ y el $IP_{Presión}$ aumentan ligeramente pero el $IP_{Precipitación}$ disminuye. En Olivares Mexicanos el $IP_{Precipitación}$ se mantiene al igual que $IP_{Precipitación}$ y el $IP_{Temperatura}$ aumenta ligeramente. Al comparar los valores de San Juan de Dios Norte con los del Farito y Real del castillo Viejo, en estos últimos el $IP_{Presión}$ aumenta ligeramente al igual que $IP_{Temperatura}$ pero el $IP_{Precipitación}$ disminuye.

Para la estación de La Misión y Ejido El Porvenir en la subcuenca de la Misión, el índice de previsibilidad de la precipitación cambia significativamente de 0.16 a 0.31, el índice de previsibilidad de presión disminuye de 0.66 a 0.61 y el índice de previsibilidad de la temperatura aumenta de 0.9 a 1.0. Lo que demuestra que en estos dos lugares la precipitación depende tanto de

la presión local como de los cambios de temperatura, sin importar cuan pequeños sean estos cambios.

Además, podemos notar que la precipitación es impredecible en todas las estaciones y la temperatura y la presión son muy predecibles en todas las estaciones. Lo que podría sugerir que el índice de previsibilidad de la precipitación es independiente del índice de previsibilidad de la temperatura y del índice de previsibilidad de la presión; pero a nivel local vemos que hay estaciones donde si guardan una relación sin importar que tan grande sean los cambios.

Para el Índice de previsibilidad climática de la humedad relativa se observó que el IP_{HR} y $IP_{Presión}$ están relacionados como es el caso de la estación Ensenada y Olivares mexicanos donde los $IP_{Presión}$ y el IP_{HR} mantienen el mismo valor aun cuando el $IP_{temperatura}$ disminuye ligeramente. O el caso de las estaciones de Real del castillo Viejo y la misión donde el $IP_{presión}$ se mantiene invariante al igual que el $IP_{temperatura}$ pero el índice de previsibilidad de la humedad relativa disminuye pero no de manera significativa. Para las estaciones de Agua Caliente e Ignacio Zaragoza Belén, el $IP_{Presión}$ y IP_{HR} se mantienen, pero el $IP_{temperatura}$ aumenta. Para El Alamar y Valle De San Rafael, el $IP_{temperatura}$ se mantiene y al igual que IP_{HR} , pero el $IP_{Presión}$ disminuye de 0.56 a 0.53. Si comparamos Boquilla Santa Rosa De La Misión con El Pinal, el $IP_{Presión}$ disminuye, pero el $IP_{temperatura}$ y IP_{HR} aumentan. De forma muy general, los IP_{HR} están por encima de 0.5 en la mayoría de estaciones exceptuando La Misión y Boquilla De Santa Rosa De La Misión con valores de 0.48 y 0.49 respectivamente.

El Índice de previsibilidad de la velocidad del viento en general se mantiene en algunas estaciones independientemente de los cambios del $IP_{Presión}$ y $IP_{temperatura}$; pero hay estaciones como Sierra de Juárez y Ejido El Porvenir donde el $IP_{presión}$, $IP_{temperatura}$ y el IP_{vv} aumentan simultáneamente, o estaciones como El Farito, Real Del Castillo Viejo y La Misión donde los valores de los tres índices se mantienen igual sin ningún cambio drástico. O estaciones como Ensenada y Olivares Mexicanos donde el $IP_{presión}$ y IP_{vv} se mantienen aun cuando el $IP_{temperatura}$ disminuye. Se encontró que la velocidad del viento es impredecible para todas las estaciones y que su previsibilidad es independiente de los índices de previsibilidad de la temperatura y la presión.

Tabla 12. Índices de predictibilidad climática de la precipitación, humedad relativa y velocidad viento.

Estaciones					Serie Completa		
Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	$IP_{Cprec} = (IP_P, IP_T, IP_{Preci.})$	$IP_{CHR} = (IP_P, IP_T, IP_{HR})$	$IP_{CVV} = (IP_P, IP_T, IP_{VV})$
2035	Ojos Negros	31.91	-116.26	680	(0.536,0.926,0.262)	(0.536,0.926,0.628)	(0.536,0.926,0.316)
2066	Sierra de Juárez	32.00	-115.95	1580	(0.598,1.000,0.348)	(0.598,1.000,0.694)	(0.598,1.000,0.350)
2079	El Alamar	31.84	-116.20	710	(0.558,0.890,0.184)	(0.558,0.890,0.626)	(0.558,0.890,0.320)
2118	Valle San Rafael	31.92	-116.23	721	(0.534,0.904,0.182)	(0.534,0.904,0.634)	(0.534,0.904,0.318)
2164	Ejido El Porvenir	32.11	-115.85	330	(0.642,1.000,0.248)	(0.642,1.000,0.712)	(0.642,1.000,0.354)
2001	Agua Caliente	32.11	-116.46	400	(0.578,0.766,0.242)	(0.578,0.766,0.622)	(0.578,0.766,0.294)
2004	Ignacio Zaragoza Belén	32.20	-116.49	540	(0.590,0.832,0.200)	(0.590,0.832,0.620)	(0.590,0.832,0.280)
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	32.02	-116.78	250	(0.660,0.748,0.248)	(0.660,0.748,0.490)	(0.660,0.748,0.304)
2021	El Pinal	32.18	-116.29	1320	(0.540,0.890,0.276)	(0.540,0.890,0.652)	(0.540,0.890,0.288)
2025	Ensenada (Obs)	31.86	-116.61	21	(0.638,1.000,0.178)	(0.638,1.000,0.544)	(0.638,1.000,0.316)
2036	Olivares Mexicanos	32.05	-116.68	340	(0.638,0.698,0.174)	(0.638,0.698,0.544)	(0.638,0.698,0.308)
2049	San Juan de Dios Norte	32.13	-116.15	1280	(0.556,0.926,0.210)	(0.556,0.926,0.668)	(0.556,0.926,0.304)
2094	El Farito	31.98	-116.67	250	(0.638,0.986,0.066)	(0.638,0.986,0.544)	(0.638,0.986,0.306)
2122	Real del Castillo Viejo	31.95	-116.75	610	(0.658,1.000,0.090)	(0.658,1.000,0.496)	(0.658,1.000,0.306)
2077	La Misión	32.10	-116.81	20	(0.662,1.000,0.158)	(0.662,1.000,0.478)	(0.662,1.000,0.298)
2114	Ejido Carmen Serdán	32.24	-116.58	560	(0.612,0.906,0.308)	(0.612,0.906,0.594)	(0.612,0.906,0.274)

En la Tabla 13, se resumen algunas de las investigaciones realizadas con el índice de previsibilidad. Al comparar los valores del índice de previsibilidad de la zona de estudio con los de Arabia Saudita la precipitación es impredecible como en la primera investigación realizada donde los Hurst se calcularon con el rango rescalado al igual que la presión que coincide en ser predecible; pero la temperatura resulto predecible como en el análisis realizado por medio de Wavelets y no impredecible como el resultado obtenido por rango rescalado. Al revisar el estudio por wavelets, la velocidad del viento también fue impredecible y la humedad relativa también fue predecible coincidiendo con los reportado en la investigación de igual forma sucede con la presión y la temperatura que fueron muy predecibles, pero no pasa lo mismo con la precipitación que fue impredecible.

Tabla 13. Comparación de índices de previsibilidad de la presión, temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa de algunas investigaciones realizadas alrededor del mundo.

Región	Presión	Temperatura	Precipitación	Velocidad Viento	Humedad Relativa	Método utilizado para calcular el Hurst
Arabia Saudita	0.54	0.23	0.27			Rango rescalado
	0.82	0.72	0.80	0.44	0.58-0.91	Wavelets
India (monzón sudoeste)	0.55	0.55	0.30			Rango rescalado
India (monzón noreste)	0.37	0.45	0.18			Rango rescalado
India (monzón sudoeste)	0.60	0.54	0.29			Rango rescalado
India (monzón noreste)	0.25	0.38	0.00			Rango rescalado
China	0.62	0.86	0.06	0.00	0.45	DFA

4.2 Análisis de las series de tiempo correspondientes a los vientos de Santa Ana

4.2.1 Determinación del exponente de Hurst

Además de calcular el Hurst, la dimensión fractal y el índice de previsibilidad para la serie completa, es decir para todos los datos de las estaciones de los cinco parámetros meteorológicos en estudio, se evaluó la estacionalidad de estos valores en los meses de octubre-mayo y de junio-septiembre debido a que son las épocas donde se presenta Eventos de Santa Ana y cuando no hay eventos de Santa Ana.

Los Hurst para estas fechas mantuvieron los mismos valores que para la serie completa como se aprecia en la Tabla 14. El Hurst de la serie de tiempo de la presión oscilo entre 0.74 y 0.77, siendo de persistencia débil. El Hurst de la temperatura bajo en algunas estaciones, pero no de manera significativa pues las series continuaron siendo persistentes con valores entre 0.74 y 0.95. El Hurst de la precipitación se mantuvo igual como los de las otras variables, en un rango de 0.49 y 0.73. Para la humedad relativa los Hurst oscilaron entre 0.69 y 0.82; un rango un poco más bajo que para la serie completa. De la misma forma sucedió con el Hurst para la velocidad del viento, que se encontró entre 0.58 y 0.62, un poco más debajo de los valores para la serie completa.

Tabla 14. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para estacionalidad octubre-mayo de los datos.

Código	Estaciones Nombre	OCTUBRE - MAYO				
		Presión	T	Precipitación	HR	VV
2035	Ojos Negros	0.75	0.89	0.64	0.75	0.58
2066	Sierra de Juárez	0.75	0.90	0.73	0.80	0.61
2079	El Alamar	0.75	0.85	0.60	0.76	0.58
2118	Valle San Rafael	0.75	0.84	0.60	0.76	0.58
2164	Ejido El Porvenir	0.76	0.87	0.60	0.82	0.62
2001	Agua Caliente	0.75	0.79	0.60	0.75	0.59
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.76	0.84	0.61	0.75	0.59
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.77	0.81	0.61	0.69	0.60
2021	El Pinal	0.74	0.85	0.64	0.76	0.59
2025	Ensenada (Obs)	0.77	0.92	0.59	0.71	0.60
2036	Olivares Mexicanos	0.77	0.74	0.60	0.71	0.59
2049	San Juan de Dios Norte	0.75	0.81	0.62	0.78	0.60
2094	El Farito	0.77	0.87	0.51	0.71	0.60
2122	Real del Castillo Viejo	0.77	0.95	0.49	0.70	0.60
2077	La Misión	0.77	0.90	0.54	0.69	0.60
2114	Ejido Carmen Serdán	0.76	0.89	0.63	0.73	0.58

Los Hurst para la época de junio-septiembre de la presión bajan con respecto a la serie completa y la estacionalidad de octubre-mayo; pero siguen siendo persistentes con valores entre 0.62-0.71. Los valores de la temperatura si bien bajaron en algunas estaciones se mantuvieron casi que en el mismo rango que en la estacionalidad de octubre-mayo. Los Hurst de la precipitación bajaron, caso como El Alamar donde llego a ser de 0.23, además estaciones reportaron Hurst por debajo de 0.5

como El Alamar, Valle De San Rafael, Ignacio Zaragoza Belén y Olivares Mexicanos. Además, hubo inconvenientes con la estimación del Hurst en algunas estaciones porque la cantidad de datos que se disponían no llegaban al mínimo de datos que requiere el análisis de rango reescalado para implementarse, presentándose esto en las estaciones que tienen menos de 15 años. Los Hurst de la humedad relativa bajaron, pero tuvieron un rango intermedio entre la serie completa y la estacionalidad de octubre-mayo, pero siguen siendo valores persistentes. De igual forma sucede con los Hurst de la velocidad, bajaron con respecto a la serie completa pero el rango es similar a los valores de la estacionalidad de octubre-mayo. Tabla 15.

Tabla 15. Exponente de Hurst para las estaciones de la cuenca hidrográfica del Valle De Guadalupe para estacionalidad junio-septiembre de los datos.

Código	Estaciones Nombre	JUNIO - SEPTIEMBRE				
		Presión	T	Precipitación	HR	VV
2035	Ojos Negros	0.70	0.72	0.61	0.71	0.63
2066	Sierra de Juárez	0.69	0.90	0.54	0.73	0.65
2079	El Alamar	0.70	0.78	0.23	0.71	0.63
2118	Valle San Rafael	0.70	0.77	0.40	0.71	0.63
2164	Ejido El Porvenir	0.69	0.76		0.73	0.64
2001	Agua Caliente	0.62	0.72	0.54	0.71	0.62
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.70	0.84	0.42	0.71	0.62
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.71	0.78	0.53	0.70	0.59
2021	El Pinal	0.69	0.83	0.50	0.71	0.64
2025	Ensenada (Obs)	0.71	0.93		0.70	0.60
2036	Olivares Mexicanos	0.71	0.74	0.49	0.70	0.59
2049	San Juan de Dios Norte	0.69	0.79	0.53	0.72	0.64
2094	El Farito	0.69	0.81		0.72	0.59
2122	Real del Castillo Viejo	0.71	0.88		0.70	0.59
2077	La Misión	0.71	0.85		0.70	0.59
2114	Ejido Carmen Serdán	0.70	0.88	0.50	0.71	0.61

Al realizar la comparación entre las dos épocas no se evidencio mucha diferencia, se procedió a detallar el evento en una escala de tiempo más pequeña, por días.

Primero se realizó el filtro para conformar los vectores con días de Viento de Santa Ana y los vectores con días en que no hubo este evento. La Tabla 16 resume los datos obtenidos.

Tabla 16. Criterio de selección de días con Santa Ana.

Código	Estaciones				Días con Viento Santa Ana		
	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Criterio de velocidad (≥ 4.5 m/s)	Criterio dirección viento ($0^\circ - 90^\circ$)	Cumplen con los dos criterios
2035	Ojos Negros	31.91	-116.26	680	1644	2859	463
2066	Sierra de Juárez	32.00	-115.95	1580	1673	2905	163
2079	El Alamar	31.84	-116.20	710	1675	2863	460
2118	Valle San Rafael	31.92	-116.23	721	1661	2889	447
2164	Ejido El Porvenir	32.11	-115.85	330	1778	2479	83
2001	Agua Caliente	32.11	-116.46	400	1535	2622	364
2004	Ignacio Zaragoza Belén	32.20	-116.49	540	1659	2578	360
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	32.02	-116.78	250	1290	1992	349
2021	El Pinal	32.18	-116.29	1320	2175	2774	342
2025	Ensenada (Obs)	31.86	-116.61	21	1412	2134	332
2036	Olivares Mexicanos	32.05	-116.68	340	1296	2215	361
2049	San Juan de Dios Norte	32.13	-116.15	1280	1998	2818	266
2094	El Farito	31.98	-116.67	250	1288	2154	351
2122	Real del Castillo Viejo	31.95	-116.75	610	1346	1952	325
2077	La Misión	32.10	-116.81	20	1285	2052	370
2114	Ejido Serdán	32.24	-116.58	560	1580	2494	372

Para este análisis se prefirió usar los datos del Merra-2 debido a que al cruzar la información del satélite (humedad relativa, velocidad viento y la presión) con los de las estaciones (precipitación y temperatura), los vectores de la precipitación y la temperatura resultaban con pocos valores, perdiéndose información debido a que los datos del Merra-2 van de 1980 a 2018 y muchas estaciones contenían información anterior a esos años y solo llegaban hasta 2012 las que tenían años más recientes. Los valores obtenidos se reportaron en la Tabla 17.

Para la serie de datos de días con Vientos de Santa Ana, el Hurst de la presión fue mayor a 0.5 en la mayoría de estaciones, exceptuando Sierra De Juárez y Ejido El Porvenir donde el Hurst fue

0.48 y 0.36 respectivamente, lo que significa antipersistencia y estas zonas estar afectadas por microclimas locales. El comportamiento de la presión en general es de persistencia débil. Para la temperatura el Hurst osciló entre 0.43 y 0.59; en la estación Valle De San Rafael el Hurst fue de 0.5 mientras que, en Ejido Porvenir, Boquilla De Santa Rosa De La Misión y el Farito el Hurst fue de 0.49 compartiendo esta antipersistencia con las estaciones de Agua Caliente, El Pinal, Olivares Mexicanos, San Juan De Dios Norte y Ejido Carmen Serdán.

Tabla 17. Exponente de Hurst para las variables meteorológicas en estudio en los días que hay Vientos de Santa Ana y los días que no hay Vientos de Santa Ana.

Código	Estaciones Nombre	Días con Vientos de Santa Ana						Días sin Vientos de Santa Ana					
		Presión	T	Preci.	HR	VV	DV	Presión	T	Preci.	HR	VV	DV
2035	Ojos Negros	0.64	0.53	0.66	0.72	0.43	0.50	0.75	0.93	0.73	0.83	0.66	0.70
2066	Sierra de Juárez	0.48	0.59		0.60	0.63	0.18	0.79	0.95	0.69	0.85	0.68	0.65
2079	El Alamar	0.61	0.51	0.50	0.72	0.40	0.53	0.76	0.93	0.72	0.82	0.67	0.70
2118	Valle San Rafael	0.63	0.50	0.65	0.71	0.40	0.50	0.75	0.93	0.72	0.83	0.66	0.70
2164	Ejido El Porvenir	0.36	0.49		0.60	0.63	0.32	0.82	0.96	0.68	0.86	0.68	0.62
2001	Agua Caliente	0.65	0.45		0.81	0.45	0.41	0.73	0.92	0.75	0.87	0.68	0.72
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.66	0.44	0.87	0.78	0.48	0.49	0.78	0.93	0.75	0.82	0.65	0.72
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.65	0.49	0.77	0.74	0.50	0.46	0.82	0.90	0.77	0.75	0.65	0.72
2021	El Pinal	0.54	0.42	0.62	0.78	0.44	0.41	0.76	0.93	0.72	0.83	0.66	0.71
2025	Ensenada (Obs)	0.63	0.52	0.95	0.77	0.54	0.40	0.81	0.91	0.76	0.78	0.65	0.72
2036	Olivares Mexicanos	0.68	0.47		0.79	0.49	0.46	0.81	0.91	0.76	0.78	0.65	0.72
2049	San Juan de Dios Norte	0.57	0.44		0.72	0.45	0.33	0.77	0.94	0.70	0.83	0.66	0.71
2094	El Farito	0.62	0.49	0.90	0.75	0.49	0.45	0.81	0.91	0.76	0.77	0.65	0.72
2122	Real del Castillo Viejo	0.63	0.53	0.31	0.77	0.55	0.44	0.81	0.91	0.76	0.76	0.66	0.72
2077	La Misión	0.68	0.53	0.23	0.75	0.47	0.47	0.82	0.90	0.76	0.75	0.65	0.72
2114	Ejido Carmen Serdán	0.64	0.43	0.73	0.74	0.46	0.41	0.79	0.91	0.75	0.80	0.64	0.72

Para la precipitación de los días con Vientos De Santa Ana, el Hurst no se pudo calcular para todas las estaciones debido a que no había suficientes datos para aplicar el análisis de rango reescalado. Los valores del Hurst de esta variable también estuvieron por encima de 0.5 en su mayoría de

localizaciones, exceptuando las estaciones de Real Del Castillo Viejo y La Misión donde alcanzó valores de 0.31 y 0.23 respectivamente. La humedad relativa reportó Hurst mayores de 0.5 en todas las estaciones. La velocidad del viento presento Hurst con valores menores a 0.5 para la mayoría de estaciones exceptuando Sierra de Juárez y Ejido El Porvenir ambas con valores de 0.63 y Ensenada y Real Del Castillo Viejo con 0.54 y 0.55 respectivamente. Basados en estos resultados se podría decir que la velocidad del viento y la temperatura están controlada por estructuras locales en este caso los Vientos De Santa Ana durante esa época y no por procesos a gran escala como es el caso de la presión y de la humedad relativa, que indistintamente que haya Santa Ana o mantienen el mismo comportamiento. La humedad relativa no está reflejando los cambios que se esperarían que se presente en la época de Santa Ana y puede deberse como se mencionó anteriormente a que los registros en la mayoría de estaciones no tenían valores de $<10\%$ como sugerían los criterios de clasificación, y en los meses que se registraron no coincidía con la temporada de Santa Ana, sino en la época en la que no se esperaba que ocurriera este tipo de vientos. Que se evidencia en obtener valores más bajos del Hurst en la época de junio-septiembre.

Adicionalmente se calculó el Hurst de la dirección del viento obteniéndose valores menores a 0.5 para la mayoría de estaciones; solo en El Alamar el Hurst fue de 0.53. En Ojos Negros y Valle De San Rafael alcanzo el valor de 0.5, es decir aleatoriedad. En la estación Sierra de Juárez la antipersistencia fue más fuerte que en las otras estaciones con un valor de 0.18.

Para los días en que no hay vientos de Santa Ana, el Hurst de la presión se mantuvo con valores mayores a 0.5 para todas las estaciones, pero con valores más grandes que para los Hurst de días con VSA (Vientos de Santa Ana). Los valores de los Hurst de la temperatura fueron mayores a 0.5 y exhibían una persistencia fuerte con valores de entre 0.9-0.96. Para la precipitación, los Hurst también fueron mayores a 0.5 en todas las estaciones. Los Hurst de la humedad relativa también estuvieron por encima de 0.5 y con valores más altos que para los días con VSA. La velocidad del viento fue persistente con valores mayores a 0.5 al igual que la dirección del viento. Por lo que podemos decir que los VSA se ven reflejado en la velocidad y la dirección del viento pues estos días tienen un comportamiento antipersistente en contra posición con los días sin VSA. En la temperatura también se ve un cambio significativo. En cuanto a la presión y la humedad relativa se ve un leve cambio, reflejando más persistencia los días sin VSA que los días que ocurren estos.

Esto se debe a que cuando hay Vientos Santa Ana el clima se ve alterado, al bajar la humedad relativa, aumentar la velocidad del viento, la dirección de estos vientos solo es del primer cuadrante, y las temperaturas pueden bajar y también pueden no hacerlo. En los valores de los Hurst de los días en que no hay vientos de Santa Ana, se observa que la ocurrencia de la presión, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la velocidad del viento y hasta la dirección del viento son influidas por muchos sistemas climáticos regionales y / o de gran escala.

4.2.2 Cálculo del Índice de previsibilidad climática

Para los índices de previsibilidad, el índice de la precipitación se mantuvo casi que invariante; si bien en algunas estaciones bajó o subió este valor no fue de manera significativa por ejemplo para la serie completa en la estación Ojos Negros el $IP_{Precipitación}$ era igual a 0.262, para los meses de octubre-mayo este fue de 0.280. O como es el caso de la estación de Agua Caliente donde el $IP_{Precipitación}$ era de 0.242 y bajo a 0.202. la precipitación siguió siendo impredecible para el análisis de octubre-mayo, Tabla 18.

Tabla 18. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y la precipitación.

Código	Estaciones Nombre	Serie Completa	Octubre - Mayo	Junio - Septiembre
		$IP_{Cprecip.} = (IP_P, IP_T, IP_{Preci.})$	$IP_{Cprecip.} = (IP_P, IP_T, IP_{Preci.})$	$IP_{Cprecip.} = (IP_P, IP_T, IP_{Preci.})$
2035	Ojos Negros	(0.536,0.926,0.262)	(0.490,0.776,0.280)	(0.400,0.442,0.210)
2066	Sierra de Juárez	(0.598,1.000,0.348)	(0.508,0.800,0.464)	(0.374,0.808,0.080)
2079	El Alamar	(0.558,0.890,0.184)	(0.502,0.708,0.192)	(0.402,0.564,0.536)
2118	Valle San Rafael	(0.534,0.904,0.182)	(0.490,0.676,0.190)	(0.398,0.540,0.198)
2164	Ejido El Porvenir	(0.642,1.000,0.248)	(0.526,0.748,0.206)	(0.370,0.526,)
2001	Agua Caliente	(0.578,0.766,0.242)	(0.506,0.582,0.202)	(0.242,0.442,0.070)
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.590,0.832,0.200)	(0.510,0.680,0.218)	(0.400,0.688,0.166)
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.660,0.748,0.248)	(0.540,0.624,0.226)	(0.410,0.558,0.058)
2021	El Pinal	(0.540,0.890,0.276)	(0.486,0.692,0.284)	(0.384,0.668,0.008)
2025	Ensenada (Obs)	(0.638,1.000,0.178)	(0.536,0.830,0.178)	(0.414,0.85,)
2036	Olivares Mexicanos	(0.638,0.698,0.174)	(0.532,0.470,0.198)	(0.412,0.470,0.012)

2049	San Juan de Dios Norte	(0.556,0.926,0.210)	(0.492,0.622,0.230)	(0.380,0.586,0.056)
2094	El Farito	(0.638,0.986,0.066)	(0.534,0.732,0.020)	(0.380,0.622,)
2122	Real del Castillo Viejo	(0.658,1.000,0.090)	(0.540,0.902,0.016)	(0.412,0.756,)
2077	La Misión	(0.662,1.000,0.158)	(0.540,0.798,0.080)	(0.410,0.702,)
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.612,0.906,0.308)	(0.520,0.782,0.252)	(0.404,0.766,0.002)

Los índices de previsibilidad de la temperatura bajaron, pero en la mayoría de estaciones se mantuvieron con valores por encima de 0.5 salvo en la estación Olivares Mexicanos. Los índices de previsibilidad de la presión bajaron al igual que con la temperatura la mayoría de estaciones mantuvo valores por encima de 0.5 menos Ojos Negros, Valle San Rafael, El Pinal y San Juan De Dios Norte con valores de 0.49,0.49, 0.486 y 0.492 respectivamente.

En cuanto al índice de previsibilidad climática de la humedad relativa, Tabla 19, aumentaron el número de estaciones donde la humedad relativa se vuelve más impredecible como Agua Caliente, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión, Ensenada, Olivares Mexicanos, El Farito, Real Del Castillo Viejo La Misión y Ejido Carmen Serdán. Y las que son predecible con valores de 0.5 a 0.63. Que podría denotar un cambio en el comportamiento de la humedad relativa, alguna variación del clima o cambio climático que este alterando el patrón que sigue el clima en estas regiones.

Tabla 19. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y la humedad relativa.

Código	Estaciones Nombre	Serie Completa	Octubre - Mayo	Junio - Septiembre
		$IP_{CHR} = (IP_P, IP_T, IP_{HR})$	$IP_{CHR} = (IP_P, IP_T, IP_{HR})$	$IP_{CHR} = (IP_P, IP_T, IP_{HR})$
2035	Ojos Negros	(0.536,0.926,0.628)	(0.490,0.776,0.508)	(0.400,0.442,0.414)
2066	Sierra de Juárez	(0.598,1.000,0.694)	(0.508,0.800,0.602)	(0.374,0.808,0.456)
2079	El Alamar	(0.558,0.890,0.626)	(0.502,0.708,0.510)	(0.402,0.564,0.414)
2118	Valle San Rafael	(0.534,0.904,0.634)	(0.490,0.676,0.516)	(0.398,0.540,0.416)
2164	Ejido El Porvenir	(0.642,1.000,0.712)	(0.526,0.748,0.630)	(0.370,0.526,0.460)
2001	Agua Caliente	(0.578,0.766,0.622)	(0.506,0.582,0.496)	(0.242,0.442,0.414)
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.590,0.832,0.620)	(0.510,0.680,0.490)	(0.400,0.688,0.414)
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.660,0.748,0.490)	(0.540,0.624,0.386)	(0.410,0.558,0.400)
2021	El Pinal	(0.540,0.890,0.652)	(0.486,0.692,0.528)	(0.384,0.668,0.420)

2025	Ensenada (Obs)	(0.638,1.000,0.544)	(0.536,0.830,0.426)	(0.414,0.850,0.406)
2036	Olivares Mexicanos	(0.638,0.698,0.544)	(0.532,0.470,0.424)	(0.412,0.470,0.404)
2049	San Juan de Dios Norte	(0.556,0.926,0.668)	(0.492,0.622,0.554)	(0.380,0.586,0.436)
2094	El Farito	(0.638,0.986,0.544)	(0.534,0.732,0.424)	(0.380,0.622,0.432)
2122	Real del Castillo Viejo	(0.658,1.000,0.496)	(0.540,0.902,0.390)	(0.412,0.756,0.400)
2077	La Misión	(0.662,1.000,0.478)	(0.540,0.798,0.380)	(0.410,0.702,0.400)
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.6120,0.906,0.594)	(0.520,0.782,0.466)	(0.404,0.766,0.412)

Con el índice de previsibilidad de la velocidad del viento ocurre algo similar; si bien se mantiene impredecible, los valores del IP_{vv} bajan en todas las estaciones de 0.164 a 0.242 frente al rango de la serie completa de 0.274 a 0.354.

Tabla 20. Índice de predictibilidad climática para la presión, temperatura y velocidad viento.

Código	Estaciones Nombre	Serie Completa	Octubre - Mayo	Junio - Septiembre
		$PI_{CV} = (PI_P, PI_T, PI_V)$	$PI_{CV} = (PI_P, PI_T, PI_V)$	$PI_{CV} = (PI_P, PI_T, PI_V)$
2035	Ojos Negros	(0.536,0.926,0.316)	(0.490,0.776,0.164)	(0.400,0.442,0.254)
2066	Sierra de Juárez	(0.598,1.000,0.350)	(0.508,0.800,0.210)	(0.374,0.808,0.290)
2079	El Alamar	(0.558,0.890,0.320)	(0.502,0.708,0.164)	(0.402,0.564,0.256)
2118	Valle San Rafael	(0.534,0.904,0.318)	(0.490,0.676,0.164)	(0.398,0.540,0.258)
2164	Ejido El Porvenir	(0.642,1.000,0.354)	(0.526,0.748,0.242)	(0.370,0.526,0.288)
2001	Agua Caliente	(0.578,0.766,0.294)	(0.506,0.582,0.172)	(0.242,0.442,0.242)
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.590,0.832,0.280)	(0.510,0.680,0.172)	(0.400,0.688,0.244)
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.660,0.748,0.304)	(0.540,0.624,0.194)	(0.410,0.558,0.184)
2021	El Pinal	(0.540,0.890,0.288)	(0.486,0.692,0.186)	(0.384,0.668,0.270)
2025	Ensenada (Obs)	(0.638,1.000,0.316)	(0.536,0.830,0.198)	(0.414,0.850,0.194)
2036	Olivares Mexicanos	(0.638,0.698,0.308)	(0.532,0.470,0.186)	(0.412,0.470,0.186)
2049	San Juan de Dios Norte	(0.556,0.926,0.304)	(0.492,0.622,0.200)	(0.380,0.586,0.274)
2094	El Farito	(0.638,0.986,0.306)	(0.534,0.732,0.200)	(0.380,0.622,0.188)
2122	Real del Castillo Viejo	(0.658,1.000,0.306)	(0.540,0.902,0.200)	(0.412,0.756,0.188)
2077	La Misión	(0.662,1.000,0.298)	(0.540,0.798,0.190)	(0.410,0.702,0.176)
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.612,0.906,0.274)	(0.520,0.782,0.168)	(0.404,0.766,0.222)

Los índices de previsibilidad para la época de junio-septiembre de la precipitación llegaron a valores casi cercanos al cero en las estaciones de Sierra De Juárez, Agua Caliente, Boquilla Santa

Rosa De La Misión, El Pinal, Olivares Mexicanos, San Juan De Dios Norte y Ejido Carmen Serdán. Solo en la estación El Alamar el índice tomo un valor por encima de 0.5. El índice de previsibilidad de la presión bajo más que para la estacionalidad de octubre-mayo, pasando a valores por debajo de 0.5, es decir impredecibles. Que debe estar relacionado con el hecho que son las fechas donde no hay lluvias o no se espera que estas ocurrirán.

Los índices de previsibilidad de la temperatura bajaron con respecto a la serie completa y la estacionalidad octubre-mayo, si viene en algunas estaciones los valores se mantuvieron por encima de 0.5 como es el caso de Sierra De Juárez, El Alamar, Valle De San Rafael, Ejido El Porvenir, Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión, El Pinal, Ensenada, San Juan De Dios Norte, El Farito, Real Del Castillo Viejo, La Misión Y Ejido Carmen Serdán. En otras el $IP_{temperatura}$ tomo valores menores a 0.5 como es el caso de Ojos Negros, Agua Caliente y Olivares Mexicanos. De manera similar el índice de previsibilidad de la presión para todas las estaciones bajó con respecto a la serie completa y la estacionalidad de octubre-mayo, pasando de ser predecible a no predecible. El índice de previsibilidad de la humedad relativa bajó de la misma forma que el de temperatura, presión y precipitación; también pasó de ser predecible a no predecible. Además, que la humedad relativa pareciese que está más relacionada a la presión que a la temperatura en esta época.

Con respecto al índice de previsibilidad de la velocidad del viento, los valores bajaron con respecto a los de la serie completa; pero en algunas estaciones los IP_{VV} están más pequeños que en la estacionalidad de octubre-mayo como es el caso de Boquilla Santa rosa De La Misión, Olivares Mexicanos, Ensenada, El Farito, Real Del Castillo Viejo y La Misión.

De acuerdo a todo lo anterior no es posible asegurar que la antipersistencia y la no predictibilidad de los valores de la velocidad del viento en época de octubre-mayo estén relacionadas con un evento Santa Ana, pues esas mismas condiciones se presentan en el periodo de junio-septiembre; si bien los valores más bajos del exponente de Hurst y del IP_{VV} se presentan en la estacionalidad octubre-mayo, en la estacionalidad de junio-septiembre hay estaciones que reflejan ese mismo comportamiento. Por tal se requiere un análisis más detallado por lo cual se estudia a una escala de tiempo más pequeña, por días, días donde se compruebe que ocurrió dicho evento.

Con respecto a los índices de previsibilidad en general cuando hay VSA, las variables de presión, temperatura, velocidad del viento y dirección de viento se vuelven más impredecibles. La humedad relativa también se vuelve más impredecible; como se evidencia en la Tabla 21. Además, se observa que para el índice de previsibilidad de la precipitación en las estaciones Ignacio Zaragoza Belén, Boquilla Santa Rosa De La Misión, Ensenada, El Farito y La Misión tienen valores mayores a 0.5 es decir su previsibilidad está más cerca de 1 lo que significa que son bastante predecibles en contraste con las estaciones de Ojos Negros, El Alamar, Valle De San Rafael, El Pinal, Real Del Castillo Viejo y Ejido Carmen Serdán que el índice tiene valores más cercanos a 0, significando que la variable de precipitación es impredecible. Algo similar sucede con los índices de previsibilidad de la humedad relativa, en la estación de Sierra De Juárez y Ejido El Porvenir alcanza un valor de 0.19 a diferencia de las demás estaciones donde está por encima de 0.5 y las estaciones que presentan un bajo índice tienen valores alrededor de 0.42 a 0.49.

Tabla 21. Índices de previsibilidad de la presión, temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad viento y dirección del viento para días con Viento de Santa Ana y días sin evento de Viento de Santa Ana.

Estaciones		Días con Vientos de Santa Ana						Días sin evento Vientos de Santa Ana					
Código	Nombre	IP _P	IP _T	IP _{PREC.}	IP _{HR}	IP _{VV}	IP _{DV}	IP _P	IP _T	IP _{PREC.}	IP _{HR}	IP _{VV}	IP _{DV}
2035	Ojos Negros	0.27	0.06	0.31	0.43	0.15	0.00	0.50	0.85	0.45	0.65	0.33	0.40
2066	Sierra de Juárez	0.04	0.18		0.19	0.26	0.65	0.59	0.90	0.38	0.69	0.35	0.30
2079	El Alamar	0.22	0.02	0.00	0.43	0.20	0.05	0.53	0.85	0.45	0.65	0.34	0.41
2118	Valle San Rafael	0.25	0.00	0.30	0.42	0.20	0.00	0.50	0.86	0.44	0.65	0.32	0.40
2164	Ejido El Porvenir	0.29	0.03		0.19	0.26	0.35	0.64	0.93	0.36	0.71	0.35	0.23
2001	Agua Caliente	0.30	0.11		0.61	0.10	0.18	0.47	0.84	0.50	0.73	0.35	0.44
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.32	0.13	0.74	0.56	0.04	0.03	0.56	0.85	0.49	0.64	0.30	0.45
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.31	0.02	0.54	0.47	0.01	0.09	0.64	0.80	0.53	0.50	0.29	0.44
2021	El Pinal	0.07	0.17	0.24	0.55	0.13	0.19	0.51	0.86	0.44	0.65	0.31	0.43

Estaciones		Días con Vientos de Santa Ana						Días sin evento Vientos de Santa Ana					
Código	Nombre	IP _P	IP _T	IP _{PREC.}	IP _{HR}	IP _{VV}	IP _{DV}	IP _P	IP _T	IP _{PREC.}	IP _{HR}	IP _{VV}	IP _{DV}
2025	Ensenada (Obs)	0.25	0.04	0.90	0.53	0.08	0.19	0.62	0.82	0.51	0.55	0.31	0.44
2036	Olivares Mexicanos	0.36	0.07		0.58	0.02	0.09	0.62	0.81	0.52	0.55	0.30	0.44
2049	San Juan de Dios Norte	0.14	0.11		0.44	0.09	0.33	0.54	0.87	0.40	0.67	0.32	0.42
2094	El Farito	0.25	0.01	0.80	0.50	0.01	0.11	0.62	0.82	0.51	0.55	0.30	0.43
2122	Real del Castillo Viejo	0.25	0.06	0.38	0.54	0.09	0.12	0.62	0.81	0.52	0.53	0.32	0.43
2077	La Misión	0.36	0.05	0.53	0.49	0.06	0.06	0.64	0.80	0.53	0.49	0.29	0.44
2114	Ejido Carmen Serdán	0.29	0.15	0.46	0.47	0.09	0.19	0.59	0.83	0.50	0.60	0.29	0.45

4.3 Correlación entre los índices de previsibilidad.

En cuanto a la relación o el impacto de la temperatura y la presión sobre la precipitación, la humedad relativa y la velocidad del viento se aplicaron dos análisis. El primero consta de establecer un límite donde pueden ocurrir cambios y el índice después de esta medida se vuelve muy predecible y se observa como varían los índices de previsibilidad de la temperatura y la presión con respecto al de las otras variables y si están en el mismo rango. Al estar interesados en observar cómo los tres subíndices cambian en relación uno al otro a medida que cambia la época y para eliminar posibles errores por el proceso de cálculo, cuando $IP_C \geq 0.4$, se considera que la serie tuvo un gran cambio y una alta previsibilidad; y cuando $IP_C \leq 0.1$, la secuencia se considera como sin previsibilidad.

Para la serie completa es decir todos los años de las estaciones, el índice de previsibilidad de la precipitación tiene valores cercanos a cero, y se comporta de forma diferente que el índice de previsibilidad de la presión y la temperatura. Además, la precipitación se mantiene impredecible independiente de la época sea octubre-mayo o junio-septiembre, exceptuando en la estación Sierra De Juárez donde es predecible en época de octubre-mayo; algo particular que pasa es que los índices de previsibilidad de la temperatura y la presión son muy predecibles para toda la serie, pero al evaluarlos por periodos el índice de previsibilidad de la humedad relativa va volviéndose menos

predecible lo mismo que el índice de previsibilidad de la temperatura; como se observa en las Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 22. Índice de previsibilidad climática para la serie completa y correlación entre parámetros meteorológicos

Estaciones		Serie de datos completa									Impacto Temperatura y Presión		
Código	Nombre	IP climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PREC.})			IP climática hum. relativa = (IP _P , IP _T , IP _{HR})			IP climática v. v. = (IP _P , IP _T , IP _{VV})			IP _{CPrec.}	IP _{CHR}	IP _{CVV}
2035	Ojos Negros	0.54	0.93	0.26	0.54	0.93	0.63	0.54	0.93	0.32	X	2	X
2066	Sierra de Juárez	0.60	1.00	0.35	0.60	1.00	0.69	0.60	1.00	0.35	X	2	X
2079	El Alamar	0.56	0.89	0.18	0.56	0.89	0.63	0.56	0.89	0.32	X	2	X
2118	Valle San Rafael	0.53	0.90	0.18	0.53	0.90	0.63	0.53	0.90	0.32	X	2	X
2164	Ejido El Porvenir	0.64	1.00	0.25	0.64	1.00	0.71	0.64	1.00	0.35	X	2	X
2001	Agua Caliente	0.58	0.77	0.24	0.58	0.77	0.62	0.58	0.77	0.29	X	2	X
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.59	0.83	0.20	0.59	0.83	0.62	0.59	0.83	0.28	X	2	X
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.66	0.75	0.25	0.66	0.75	0.49	0.66	0.75	0.30	X	2	X
2021	El Pinal	0.54	0.89	0.28	0.54	0.89	0.65	0.54	0.89	0.29	X	2	X
2025	Ensenada (Obs)	0.64	1.00	0.18	0.64	1.00	0.54	0.64	1.00	0.32	X	2	X
2036	Olivares Mexicanos	0.64	0.70	0.17	0.64	0.70	0.54	0.64	0.70	0.31	X	2	X
2049	San Juan de Dios Norte	0.56	0.93	0.21	0.56	0.93	0.67	0.56	0.93	0.30	X	2	X
2094	El Farito	0.64	0.99	0.07	0.64	0.99	0.54	0.64	0.99	0.31	X	2	X
2122	Real del Castillo Viejo	0.66	1.00	0.09	0.66	1.00	0.50	0.66	1.00	0.31	X	2	X
2077	La Misión	0.66	1.00	0.16	0.66	1.00	0.48	0.66	1.00	0.30	X	2	X
2114	Ejido Carmen Serdán	0.61	0.91	0.31	0.61	0.91	0.59	0.61	0.91	0.27	X	2	X

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

Tabla 23. Índice de previsibilidad climática para la época octubre-mayo y correlación entre parámetros meteorológicos.

Estaciones		Octubre-mayo									Impacto Temperatura y Presión		
Código	Nombre	IP climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PREC.})			IP climática hum. relativa = (IP _P , IP _T , IP _{HR})			IP climática v. v. = (IP _P , IP _T , IP _{VV})			IP _{CPrec.}	IP _{CHR}	IP _{CVV}
2035	Ojos Negros	0.49	0.78	0.28	0.49	0.78	0.51	0.490	0.776	0.164	X	2	X
2066	Sierra de Juárez	0.51	0.80	0.46	0.51	0.80	0.60	0.508	0.800	0.210	2	2	X
2079	El Alamar	0.50	0.71	0.19	0.50	0.71	0.51	0.502	0.708	0.164	X	2	X
2118	Valle San Rafael	0.49	0.68	0.19	0.49	0.68	0.52	0.490	0.676	0.164	X	2	X
2164	Ejido El Porvenir	0.53	0.75	0.21	0.53	0.75	0.63	0.526	0.748	0.242	X	2	X
2001	Agua Caliente	0.51	0.58	0.20	0.51	0.58	0.50	0.506	0.582	0.172	X	2	X
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.51	0.68	0.22	0.51	0.68	0.49	0.510	0.680	0.172	X	2	X
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.54	0.62	0.23	0.54	0.62	0.39	0.540	0.624	0.194	X	X	X
2021	El Pinal	0.49	0.69	0.28	0.49	0.69	0.53	0.486	0.692	0.186	X	2	X
2025	Ensenada (Obs)	0.54	0.83	0.18	0.54	0.83	0.43	0.536	0.830	0.198	X	2	X
2036	Olivares Mexicanos	0.53	0.47	0.20	0.53	0.47	0.42	0.532	0.470	0.186	X	2	X
2049	San Juan de Dios Norte	0.49	0.62	0.23	0.49	0.62	0.55	0.492	0.622	0.200	X	2	X
2094	El Farito	0.53	0.73	0.02	0.53	0.73	0.42	0.534	0.732	0.200	X	2	X
2122	Real del Castillo Viejo	0.54	0.90	0.02	0.54	0.90	0.39	0.540	0.902	0.200	X	X	X
2077	La Misión	0.54	0.80	0.08	0.54	0.80	0.38	0.540	0.798	0.190	X	X	X
2114	Ejido Carmen Serdán	0.52	0.78	0.25	0.52	0.78	0.47	0.520	0.782	0.168	X	2	X

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

La humedad relativa es predecible para la serie completa, para la temporada de octubre-mayo es predecible en la mayoría de estaciones siendo impredecible en la estación Boquilla de Santa Rosa de la Misión, Real Del Castillo Viejo y La Misión. Para la estación junio-septiembre, se vuelve

más impredecible en más estaciones como Sierra de Juárez, Valle San Rafael, Ejido el Porvenir, Agua caliente, El Pinal, San Juan De Dios Norte y El Farito, pero exhibiendo relación con el índice de previsibilidad de la temperatura.

La velocidad del viento es impredecible en cualquier época del año como se observa en las Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 24. Índice de previsibilidad climática para la época junio-septiembre y correlación entre parámetros meteorológicos.

Código	Estaciones	Época junio-septiembre									Impacto Temperatura y Presión		
		IP climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PREC.})			IP climática hum. relativa = (IP _P , IP _T , IP _{HR})			IP climática vel. Viento = (IP _P , IP _T , IP _{VV})			IP _{CPrec.}	IP _{CHR}	IP _{CVV}
2035	Ojos Negros	0.400	0.442	0.210	0.400	0.442	0.414	0.400	0.442	0.254	X	2	X
2066	Sierra de Juárez	0.374	0.808	0.080	0.374	0.808	0.456	0.374	0.808	0.290	P	T	P
2079	El Alamar	0.402	0.564	0.536	0.402	0.564	0.414	0.402	0.564	0.256	2	2	X
2118	Valle San Rafael	0.398	0.540	0.198	0.398	0.540	0.416	0.398	0.540	0.258	P	T	P
2164	Ejido El Porvenir	0.370	0.526		0.370	0.526	0.460	0.370	0.526	0.288		T	P
2001	Agua Caliente	0.242	0.442	0.070	0.242	0.442	0.414	0.242	0.442	0.242	P	T	P
2004	Ignacio Zaragoza Belén	0.400	0.688	0.166	0.400	0.688	0.414	0.400	0.688	0.244	X	2	X
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	0.410	0.558	0.058	0.410	0.558	0.400	0.410	0.558	0.184	X	2	X
2021	El Pinal	0.384	0.668	0.008	0.384	0.668	0.420	0.384	0.668	0.270	X	T	P
2025	Ensenada (Obs)	0.414	0.850		0.414	0.850	0.406	0.414	0.850	0.194		2	X
2036	Olivares Mexicanos	0.412	0.470	0.012	0.412	0.470	0.404	0.412	0.470	0.186	X	2	X
2049	San Juan de Dios Norte	0.380	0.586	0.056	0.380	0.586	0.436	0.380	0.586	0.274	P	T	P
2094	El Farito	0.380	0.622		0.380	0.622	0.432	0.380	0.622	0.188		T	P
2122	Real del Castillo Viejo	0.412	0.756		0.412	0.756	0.400	0.412	0.756	0.188		2	X
2077	La Misión	0.410	0.702		0.410	0.702	0.400	0.410	0.702	0.176		2	X
2114	Ejido Carmen Serdán	0.404	0.766	0.002	0.404	0.766	0.412	0.404	0.766	0.222	X	2	X

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

Para el análisis de los días con viento de Santa Ana y los días sin viento de Santa Ana, al establecer 0.4 como el límite o el valor donde empieza a ser considerada predecible la serie, se observó que la temperatura y la presión controlan o impactan al parámetro de la humedad relativa en dos estaciones en Sierra de Juárez y Ejido El Porvenir, es decir que el índice de previsibilidad de la presión y el índice de previsibilidad de la temperatura afectan o varían en la misma medida, pero no son predecibles; esto para el caso cuando hay días de Santa Ana. Caso contrario sucede con los días donde no hay evento Santa Ana donde la humedad relativa es muy predecible en la mayoría de estaciones y el índice de previsibilidad de la humedad relativa es controlado por el índice de previsibilidad de la temperatura y de la presión.

La velocidad del viento es impredecible sea temporada de Santa Ana o de no Santa Ana. Solo que para la época de Santa Ana tanto la presión, temperatura y velocidad del viento se vuelven impredecibles por lo que aparentan una correlación. Caso contrario sucede en la época de no Santa Ana donde el índice de previsibilidad de la presión y la temperatura son muy predecibles pero el índice de previsibilidad de la velocidad del viento no lo es. El índice de previsibilidad climática es definido como la colección de los tres índices: temperatura, presión, y la variable en estudio sea precipitación, humedad relativa o velocidad del viento. Si uno de estos índices está cercano a cero, le corresponde un proceso aproximado al movimiento Browniano y por lo tanto impredecible.

En cuanto al índice de previsibilidad de la precipitación para los datos del MERRA-2 se encontró que no era predecible para los días con vientos de Santa Ana y las estaciones de Ojos Negros, El Alamar, Valle De San Rafael, El Pinal y Real Del Castillo Viejo mostraron índices con la misma previsibilidad para la presión, temperatura y la presión; pero con los registros de la base del SIG ERIC V.1 no se pudo calcular el índice de previsibilidad de la precipitación para los días con Santa Ana porque no se podía aplicar el rango reescalado para hallar el Hurst y la dimensión fractal debido al número de datos; en cuanto a los días sin vientos de Santa Ana con los registros del MERRA-2, la precipitación se halló predecible en la mayoría de estaciones, solo la estación Sierra Juárez, Ejido Porvenir y San Juan De Dios Norte mostraron imprevisibilidad, Tabla 26, pero

contrario a lo mostrado por los resultados con los registros del MERRA-2 los resultados obtenidos con los datos del SIG ERIC V.1, Tabla 27, la precipitación fue impredecible en todas las estaciones.

Tabla 25. Índice de previsibilidad climática para días con viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros MERRA-2.

Estaciones		Días con Viento Santa Ana			Impacto Temperatura y Presión		
Código	Nombre	IP Climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PRECL})	IP Climática hum. relativa = (IP _P , IP _T , IP _{HR})	IP climática v. v. = (IP _P , IP _T , IP _{VV})	IP _{CPrec}	IP _{HR}	IP _{VV}
2035	Ojos Negros	(0.270,0.058,0.314)	(0.270,0.058,0.432)	(0.270,0.058,0.002)	2	X	2
2066	Sierra de Juárez	(0.042,0.184,)	(0.042,0.184,0.194)	(0.042,0.184,0.648)		2	2
2079	El Alamar	(0.222,0.018,0.000)	(0.222,0.018,0.434)	(0.222,0.018,0.052)	2	X	2
2118	Valle San Rafael	(0.254,0.004,0.296)	(0.254,0.004,0.418)	(0.254,0.004,0.000)	2	X	2
2164	Ejido El Porvenir	(0.290 ,0.028,)	(0.290,0.028,0.192)	(0.290,0.028,0.352)		2	2
2001	Agua Caliente	(0.302,0.108,)	(0.302,0.108,0.610)	(0.302,0.108,0.180)		X	2
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.318,0.130,0.740)	(0.318,0.130,0.558)	(0.318,0.130,0.030)	X	X	2
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.308,0.024,0.538)	(0.308,0.024,0.472)	(0.308,0.024,0.086)	X	X	2
2021	El Pinal	(0.072,0.170,0.238)	(0.072,0.170,0.552)	(0.072,0.170,0.188)	2	X	2
2025	Ensenada (Obs)	(0.252,0.038,0.896)	(0.252,0.038,0.532)	(0.252,0.038,0.194)	X	X	2
2036	Olivares Mexicanos	(0.356,0.070,)	(0.356,0.070,0.582)	(0.356,0.070,0.086)		X	2
2049	San Juan de Dios Norte	(0.144,0.112,)	(0.144,0.112,0.436)	(0.144,0.112,0.334)		X	2
2094	El Farito	(0.248,0.014,0.796)	(0.248,0.014,0.498)	(0.248,0.014,0.106)	X	X	2
2122	Real del Castillo Viejo	(0.254,0.060,0.382)	(0.254,0.060,0.544)	(0.254,0.060,0.116)	2	X	2
2077	La Misión	(0.364,0.052,0.532)	(0.364,0.052,0.494)	(0.364,0.052,0.056)	X	X	2
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.286,0.150,0.456)	(0.286,0.150,0.474)	(0.286,0.150,0.190)	X	X	2

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

Tabla 26. Índice de previsibilidad climática para días sin viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros MERRA-2.

Estaciones		Días sin Viento Santa Ana			Impacto Temperatura y Presión		
Código	Nombre	IP climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PRECL})	IP climática hum. relativa= (IP _P , IP _T , IP _{HR})	IP climática v. v.= (IP _P , IP _T , IP _{VV})	IP _{Cprec.}	IP _{CHR}	IP _{CVV}
2035	Ojos Negros	(0.504,0.852,0.454)	(0.504,0.852,0.650)	(0.504,0.852,0.328)	2	2	X
2066	Sierra de Juárez	(0.588,0.904,0.380)	(0.588,0.904,0.692)	(0.588,0.904,0.350)	X	2	X
2079	El Alamar	(0.528,0.852,0.448)	(0.528,0.852,0.646)	(0.528,0.852,0.336)	2	2	X
2118	Valle San Rafael	(0.502,0.856,0.444)	(0.502,0.856,0.654)	(0.502,0.856,0.318)	2	2	X
2164	Ejido El Porvenir	(0.636,0.926,0.360)	(0.636,0.926,0.710)	(0.636,0.926,0.350)	X	2	X
2001	Agua Caliente	(0.466,0.836,0.496)	(0.466,0.836,0.732)	(0.466,0.836,0.352)	2	2	X
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.562,0.854,0.492)	(0.562,0.854,0.644)	(0.562,0.854,0.304)	2	2	X
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.644,0.802,0.532)	(0.644,0.802,0.500)	(0.644,0.802,0.294)	2	2	X
2021	El Pinal	(0.512,0.858,0.436)	(0.512,0.858,0.650)	(0.512,0.858,0.312)	2	2	X
2025	Ensenada (Obs)	(0.620,0.820,0.510)	(0.620,0.820,0.550)	(0.620,0.820,0.306)	2	2	X
2036	Olivares Mexicanos	(0.618,0.814,0.520)	(0.618,0.814,0.552)	(0.618,0.814,0.300)	2	2	X
2049	San Juan de Dios Norte	(0.536,0.874,0.398)	(0.536,0.874,0.666)	(0.536,0.874,0.318)	X	2	X
2094	El Farito	(0.620,0.816,0.512)	(0.620,0.816,0.548)	(0.620,0.816,0.304)	2	2	X
2122	Real del Castillo Viejo	(0.624,0.810,0.520)	(0.624,0.810,0.528)	(0.624,0.810,0.316)	2	2	X
2077	La Misión	(0.644,0.798,0.526)	(0.644,0.798,0.490)	(0.644,0.798,0.292)	2	2	X
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.588,0.826,0.500)	(0.588,0.826,0.596)	(0.588,0.826,0.288)	2	2	X

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

Tabla 27. Índice de previsibilidad climática para días sin viento Santa Ana y correlación entre parámetros meteorológicos, registros SIG ERIC V.1.

Estaciones		Días sin Viento Santa Ana			Impacto Temperatura y Presión		
Código	Nombre	IP climática precipitación = (IP _P , IP _T , IP _{PRECI.})	IP climática hum. relativa = (IP _P , IP _T , IP _{HR})	IP climática v. v. = (IP _P , IP _T , IP _{VV})	IP _{CPreci.}	IP _{CHR}	IP _{CVV}
2035	Ojos Negros	(0.504,1.130,0.282)	(0.504,1.130,0.650)	(0.504,1.130,0.328)	X	2	X
2066	Sierra de Juárez	(0.588,1.282,0.114)	(0.588,1.282,0.692)	(0.588,1.282,0.350)	X	2	X
2079	El Alamar	(0.528,0.900,0.190)	(0.528,0.900,0.646)	(0.528,0.900,0.336)	X	2	X
2118	Valle San Rafael	(0.502,0.922,0.184)	(0.502,0.922,0.654)	(0.502,0.922,0.318)	X	2	X
2164	Ejido El Porvenir	(0.636,1.032,0.300)	(0.636,1.032,0.710)	(0.636,1.032,0.350)	X	2	X
2001	Agua Caliente	(0.466,0.818,0.290)	(0.466,0.818,0.732)	(0.466,0.818,0.352)	X	2	X
2004	Ignacio Zaragoza Belén	(0.562,0.970,0.176)	(0.562,0.970,0.644)	(0.562,0.970,0.304)	X	2	X
2005	Boquilla Santa Rosa de la Misión	(0.644,0.914,0.110)	(0.644,0.914,0.500)	(0.644,0.914,0.294)	X	2	X
2021	El Pinal	(0.512,0.934,0.312)	(0.512,0.934,0.650)	(0.512,0.934,0.312)	X	2	X
2025	Ensenada (Obs)	(0.620,1.110,0.202)	(0.620,1.110,0.550)	(0.620,1.110,0.306)	X	2	X
2036	Olivares Mexicanos	(0.618,0.854,0.276)	(0.618,0.854,0.552)	(0.618,0.854,0.300)	X	2	X
2049	San Juan de Dios Norte	(0.536,1.176,0.176)	(0.536,1.176,0.666)	(0.536,1.176,0.318)	X	2	X
2094	El Farito	(0.620,1.120,0.164)	(0.620,1.120,0.548)	(0.620,1.120,0.304)	X	2	X
2122	Real del Castillo Viejo	(0.624,1.156,0.090)	(0.624,1.156,0.528)	(0.624,1.156,0.316)	X	2	X
2077	La Misión	(0.644,1.068,0.100)	(0.644,1.068,0.490)	(0.644,1.068,0.292)	X	2	X
2114	Ejido Carmen Serdán	(0.588,0.922,0.280)	(0.588,0.922,0.596)	(0.588,0.922,0.288)	X	2	X

X representa que los parámetros meteorológicos no son afectados por la temperatura y la presión, muestra previsibilidad independiente;

2 representa que los parámetros meteorológicos fueron controlados por la temperatura y la presión, con la misma previsibilidad;

T y P exhibe que los parámetros meteorológicos fueron impactados por la temperatura o la presión respectivamente.

Al aplicar la metodología usada por Li, Xia y Meng (2012) en su artículo *DFA based predictability indices analysis of climatic dynamics in Beijing area, China* (de la Tabla 22 a la Tabla 27), comparar con la matriz de correlación entre los diferentes índices y los mapas de altitud y de los

índices de previsibilidad se encontraron las siguientes relaciones para los diferentes escenarios analizados:

El índice de previsibilidad de la presión mantiene una relación inversamente proporcional para el análisis de la serie completa, la estacionalidad de octubre a mayo y los días con vientos de Santa Ana con la altitud, para la época de junio a septiembre es nula y para los días sin vientos de Santa Ana hay una relación inversa pero no es tan fuerte.

El índice de previsibilidad de la temperatura mantiene poca relación con la altitud para los análisis de la serie completa, octubre-mayo y junio septiembre. Para los días con vientos de Santa Ana y días sin vientos de santa la relación es directamente proporcional.

Para el índice de previsibilidad climática de la precipitación analizada en todos sus registros, la presión y la temperatura no tenían impacto es decir no se veía afectada por estas variables que se confirma con la matriz de correlación en la que los índices de previsibilidad de la presión y la temperatura muestran baja relación de manera inversa. Con respecto a la altitud de la comparación entre el mapa de los índices de previsibilidad de la precipitación del anexo dd. Y el mapa de altitudes del anexo c, la altitud tiene una relación positiva con los índices de la precipitación en algunas estaciones y la matriz de correlación ratifica esta. La precipitación evaluada en días con vientos de Santa Ana tiene una previsibilidad asociada a la temperatura y la presión, más fuerte con presión y positiva mientras que con la temperatura es cercana a cero y no se presenta en todas las estaciones esta relación. Para los días con vientos de Santa Ana la matriz de correlación muestra una relación fuerte e inversa entre la altitud y la previsión de la precipitación existiendo estaciones que se comportan de manera diferente que se evidencia al comparar los mapas, esta relación inversa se mantiene para los días sin vientos de santa y el impacto de la presión se mantiene positivo, pero en menor grado y negativo pero muy fuerte con la temperatura.

El índice de previsibilidad climática de la humedad relativa está afectado por el índice de previsibilidad de la presión y la temperatura, de la matriz de correlación se tiene que la relación entre la predictibilidad de la presión y la humedad es alta e inversa y el grado de relación con temperatura es bajo. En cuanto a la altitud la relación es directa y de un grado representativo. Además, se encontraron otras relaciones como que en zonas donde hay mayor precipitación, la humedad relativa es más predecible y a mayor temperatura la humedad relativa es menos

predecible. Para la estacionalidad de octubre-mayo la presión sigue manteniendo la relación inversa con la humedad relativa y una baja relación con la temperatura si bien ambas son predecibles los valores de la temperatura son mucho más altos que los de la humedad relativa. Para la temporada de junio a septiembre la relación entre estas tres variables baja, la relación entre la presión y la humedad relativa y la presión era fuerte y cae bastante mientras que con la temperatura hay estaciones donde se mantiene la relación con respecto a la humedad relativa aun cuando en la matriz de correlación el coeficiente es cero. La altitud y la humedad relativa tienen una relación positiva independiente de la estacionalidad evaluada. Para los días con vientos de Santa Ana el índice de la humedad relativa no esta tan afectado por la presión y la temperatura, con la presión la correlación entre los índices es de 0.38 es decir positiva y es pequeña pero cuando no hay vientos de Santa Ana la previsibilidad de la humedad relativa si esta impactada o relacionada de gran manera por la previsibilidad de la temperatura y de la presión, negativa y positiva, respectivamente. La relación entre la altitud y la previsibilidad de la humedad relativa posee una relación inversa para los días con vientos de santa y positiva para días sin vientos de Santa Ana.

El índice de previsibilidad de la velocidad del viento es independiente de la temperatura y de la presión que se ve también en la matriz de correlación donde el coeficiente de correlación de la velocidad del viento y la presión es casi cercano a cero y es bajo para la temperatura. Este comportamiento se mantiene para la época de octubre a mayo y en junio a septiembre la presión influye sobre la velocidad del viento; con las matrices de correlación para la temporada de octubre-mayo los índices muestran una correlación positiva de grado muy bajo, y para junio-septiembre la relación pasa a ser negativa y se mantiene un poco relación. Con respecto a la altitud para la serie completa y la época de octubre a mayo la relación es muy poca casi cercana a cero, pero en época de junio a septiembre hay una gran relación positiva entre estas. Para días con vientos de Santa Ana la presión y la temperatura impactan en la previsibilidad de la velocidad del viento, la presión en mayor medida y de forma negativa y la temperatura es casi nula la relación; para los días sin vientos de Santa Ana de acuerdo a la metodología de Li la temperatura y la presión no impactan a la velocidad del viento pero de acuerdo a la matriz de correlación la presión tiene una correlación negativa y no tan fuerte con la velocidad del viento y fuertemente positiva con la temperatura; en cuanto a la altitud la relación es positiva para ambos periodos.

5 CONCLUSIONES

A partir del análisis fractal mediante el cálculo del exponente de Hurst y los índices de previsibilidad climática, se establecieron las siguientes conclusiones:

- Las series de precipitación, temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento en la Cuenca hidrográfica del Valle de Guadalupe pueden ser caracterizadas mediante el uso del exponente de Hurst, mostrando tendencia persistencia en el tiempo con excepción de la estación El Farito donde la precipitación fue <0.5 . Esta tendencia se mantuvo para la estacionalidad de octubre a mayo con excepción de la precipitación en la estación de Real Del Castillo Viejo con un $H < 0.5$; de junio a septiembre se mantuvo esa tendencia, pero la precipitación mostro variación en algunas estaciones donde se pasó de persistente a antipersistente y aleatorio lo que evidencia que las características climatológicas de la Cuenca Hidrográficas del Valle de Guadalupe son muy variadas.
- Se evaluó la ocurrencia de los vientos de Santa Ana para la temporada de octubre-mayo, pero al no encontrar una variación significativa con los variables climáticas que están involucradas en este fenómeno se pasó a estudiar su incidencia diaria. El exponente de Hurst en días con Vientos de Santa variaron entre variables y estaciones, la presión mantuvo valores >0.5 en la mayoría de estaciones solo dos reportaron valores <0.5 , la temperatura también presento valores persistentes y antipersistentes casi en 50% para ambos casos, la precipitación mantuvo valores >0.5 en la mayoría de estaciones donde se logró calcular H solo real del castillo viejo y la misión presentaron valores <0.5 , la humedad relativa presentó $H > 0.5$, la velocidad del viento tuvo $H < 0.5$ en la mayoría de las estaciones con excepción de Sierra De Juárez, Ejido El Provenir, Ensenada (Obs) y Real Del Castillo Viejo con $H > 0.5$ y Boquilla De Santa Rosa De La Misión con $H = 0.5$ en contraposición a los valores del exponente de Hurst para los días sin Vientos De Santa Ana donde los parámetros presentaron persistencia.
- Para el índice de previsibilidad climática de la precipitación analizada en todos sus registros, la presión y la temperatura no tenían impacto es decir no se veía afectada por estas variables que se confirma con la matriz de correlación en la que los índices de previsibilidad de la presión y la temperatura muestran baja relación de manera inversa. Con respecto a la altitud de la comparación entre el mapa de los índices de previsibilidad de la

precipitación (ver ANEXO DD). y el mapa de altitudes del ANEXO C, la altitud tiene una relación positiva con los índices de la precipitación en algunas estaciones y la matriz de correlación ratifica esta. La precipitación evaluada en días con vientos de Santa Ana tiene una previsibilidad asociada a la temperatura y la presión, más fuerte con presión y positiva mientras que con la temperatura es cercana a cero y no se presenta en todas las estaciones esta relación. Para los días con vientos de Santa Ana la matriz de correlación muestra una relación fuerte e inversa entre la altitud y la previsión de la precipitación existiendo estaciones que se comportan de manera diferente que se evidencia al comparar los mapas, esta relación inversa se mantiene para los días sin vientos de Santa Ana y el impacto de la presión se mantiene positivo, pero en menor grado y negativo pero muy fuerte con la temperatura.

- El índice de previsibilidad climática mostró que en la mayoría de los casos la lluvia no dependía de los índices de predicción de presión y temperatura, la humedad relativa si evidenció dependencia con el índice de la presión y la temperatura, en la velocidad del viento tampoco se encontró dependencia como en la precipitación para el análisis de toda la serie de tiempo. Este comportamiento de la precipitación se mantuvo para las épocas de octubre-mayo y junio-septiembre, el índice de previsibilidad climática de la humedad relativa mostró dependencia de los índices de la presión y la temperatura en la mayoría de estaciones para la serie completa, octubre-mayo y junio-septiembre, pero en esta última se encontraron estaciones donde la temperatura tenía más influencia que la presión. Para la velocidad del viento el índice de previsibilidad climática evaluado en esos mismos escenarios mantuvo el mismo comportamiento para la serie completa y de octubre a mayo, sin relación con la presión y la temperatura, pero para junio-septiembre los valores de la velocidad en algunas estaciones tenían relación con el índice de previsibilidad de la presión.
- Para los días con Vientos De Santa Ana hay una dependencia entre la predicción del índice de la velocidad del viento con respecto a la temperatura y la presión caso contrario ocurre en los días sin Vientos De Santa Ana, la humedad relativa presentó independencia de los índices de la presión y la temperatura a excepción de dos estaciones mientras que en días sin Vientos De Santa Ana existe dependencia entre dichas variables. La precipitación presentó relación en algunas estaciones y en otras no para ambos análisis, pero mostrando

mayor dependencia en días que no ocurre la condición de Santa Ana esto para los datos del MERRA-2 mientras que los datos del SIGERIC V.1 no mostraron dependencia para esas mismas fechas.

- Al trabajar con las series de precipitación sin ceros, para los datos del SIGERIC V.1 no se pudo calcular el índice de previsibilidad de la precipitación pues los datos no fueron suficientes para calcular el exponente de Hurst en días con vientos de Santa Ana por lo que se decidió trabajar con información del MERRA-2 para la precipitación en este escenario pero al comparar los datos de ambas estaciones se logró una buena aproximación para el caso de días sin Vientos De Santa Ana donde el índice de previsibilidad de la precipitación con los datos del MERRA-2 arrojaba valores predecibles mientras que con el SIG ERIC V.1 no predecibles, esto se puede deber a que los ceros en una estación eran más sensibles al análisis del rango reescalado, al usar los datos del MERRA-2 no se perdían o desechaban datos como ocurría con el SIG ERIC V.1.
- En el exponente de Hurst de la presión diaria los valores más bajos corresponden a parte de la zona más alta y zona de altura media; y los valores más altos corresponden a la zona más bajas, el comportamiento espacial de esta variable se mantiene igual para el análisis del vector completo y para la estacionalidad de octubre-mayo, pero para la época de junio-septiembre el mapa es más uniforme donde predominan los valores más altos en toda la cuenca. Para los días que ocurre vientos de Santa Ana, los valores más altos se encuentran en la zona más baja de la cuenca y el valor más bajo también se encuentra en una zona de altitud baja (estación ejido el porvenir). Cuando no hay vientos de Santa Ana la presión es muy persistente en toda la cuenca, pero al ocurrir este evento algunas zonas, las más bajas de la cuenca, pasan de ser persistentes a antipersistente. Al comparar con el mapa de temperaturas medias, las zonas más bajas presentan las temperaturas más altas y en estas la presión es antipersistente cuando hay Vientos De Santa Ana en contra posición a las zonas más altas que son las más frías y donde la presión se mantiene persistente.
- Para la temperatura tenemos que en zonas donde la temperatura media anual es más baja los exponentes de Hurst son de valores altos y medios; y en las zonas donde la temperatura media anual es la más alta hay exponentes de Hurst bajos como es el caso de la estación de Agua Caliente pero no sucede lo mismo para la estación de La Misión donde la temperatura media anual es de las más altas registradas pero el valor del exponente de Hurst es alto. Al

comparar con el mapa de altitudes, zonas bajas como La Misión tienen exponente de Hurst alto al igual que Sierra De Juárez con la diferencia que esta una de las zonas más altas, pero para estaciones como El Pinal y San Juan De Dios Norte que están en lugares altos los valores del exponente de Hurst es de valores medios y altos. Se observa que el exponente de Hurst es muy persistente en seis estaciones aun cuando tienen altitudes completamente diferentes, lo que evidencia que no hay una dependencia entre estas variables y este se mantiene para los diferentes escenarios.

- Para la precipitación la estación donde más llueve anualmente es de las que mayores exponentes de Hurst presentan y la zona donde menos llueve tiene exponentes de Hurst más bajo. La estación de Sierra de Juárez y El Pinal son lugares de gran altitud y con grandes valores del exponente de Hurst. Para la zona con altitudes más bajas, los exponentes de Hurst son de valores medios no son los más bajos, pero tampoco los más altos, para la estación de Ejido Porvenir que es de altitud baja y llueve poco el exponente de Hurst es grande muy persistente. Para la época de octubre-mayo, la sierra de Juárez que es de las estaciones que está a 1580 msnm, es la región con el valor más alto del exponente de Hurst y las zonas más bajas tienen exponentes de Hurst con valores más bajos, además la sierra de Juárez mantuvo su comportamiento independientemente de la estacionalidad, para junio-septiembre regiones de baja altitud y donde llovía poco tienen exponente de Hurst con valores altos y zonas donde llovía poco y de baja altitud donde los exponentes de Hurst son bajos, y zonas de gran altitud con grandes valores del exponente de Hurst donde llueve relativamente bastante. Con el exponente de Hurst de la precipitación los valores bajos se presentan en zonas de baja y alta altitud al igual que los valores altos no hay una relación directa cuando hay vientos de Santa Ana. El Pinal que es la zona donde más llueve, cuando hay vientos de Santa Ana conserva la persistencia en la precipitación al igual que el Valle De San Rafael, Ojos Negros, Ejido Carmen Serdán, Ignacio Zaragoza Belén y Boquilla De Santa Rosa De La Misión; La Misión, Agua caliente, San Juan De Dios Norte, Sierra Juárez y Ejido El Porvenir los valores del exponente de Hurst se vuelven antipersistente en temporada de Santa Ana.
- En cuanto a la velocidad del viento la estación más alta que es la Sierra de Juárez, tiene los valores más altos del exponente de Hurst para el análisis de todo el registro con la estación Ejido Porvenir que no es de las de mayor altitud. Los valores más bajos del exponente de

Hurst se encuentran en la parte alta de la cuenca de La Misión y del Valle De Guadalupe donde hay zonas de diferentes altitudes. En general cuando es temporada de Santa Ana, los valores del exponente de Hurst caen en toda la cuenca y la estación de Ejido Porvenir es la que mantiene los valores más altos independientemente de la temporada, y la parte más baja de la cuenca se vuelve menos persistentes con valores más bajos del exponente del Hurst en la época que no hay Santa Ana. Para los exponentes de Hurst de la velocidad del viento, en general se vuelven más antipersistente en unas zonas cuando hay vientos de Santa Ana que cuando no ocurren estos. La estación Sierra De Juárez que es uno de los puntos más altos de la cuenca presenta valores persistentes en el exponente de Hurst indistinto de la época, hay zonas como la estación de Ojos Negros, Valle De San Rafael y El Alamar que para días sin vientos de Santa Ana tienen una ocurrencia persistente, pasan a ser antipersistente cuando ocurren dichos vientos. Tampoco hay una relación directa con la altitud, estaciones como El Pinal y San Juan De Dios Norte que son de los más elevados pasan de ser persistentes, aunque con valores bajos a ser zonas con exponentes de Hurst antipersistentes a diferencia de la Sierra De Juárez que es otro punto alto. La misión es la estación que se ubica en la zona más baja de la cuenca y en días sin vientos de Santa Ana tiene un exponente de Hurst persistente, aunque es el más bajo de la cuenca; pero al evaluar los días en que ocurren los vientos de Santa Ana conserva la persistencia, pero con valores muy bajos

- Para la humedad relativa en las zonas más bajas de la cuenca están los valores del exponente de Hurst más bajo y para las zonas más altas de la cuenca los exponentes de Hurst son más altos. Además, la distribución de los exponentes de Hurst se mantiene casi que igual en las diferentes épocas solo variando la predominación del color, es decir en junio-septiembre los valores son menos persistentes, valores más bajos y se presentan en más zonas de la cuenca en comparación con la época de Santa Ana donde predominan los valores medios en la mayor parte de la cuenca.
- Espacializando el Índice de previsibilidad se encontró que la presión era más predecible en las zonas de más baja altitud que en las zonas más altas. Para la temporada de Santa Ana este comportamiento se mantiene, pero en la época de junio-septiembre la presión es impredecible independientemente de la altitud los valores son similares en la parte baja y alta. La estación de Aguacaliente es la única que estando a 400msnm presente valores muy

bajos de previsibilidad. Esto es muy similar a lo mostrado por los mapas del exponente de Hurst de la presión.

- La altitud no tiene una relación directa con el índice de previsibilidad de la temperatura pues zonas bajas tienen valores altos y valores bajos y de igual forma sucede con la parte alta que tiene valores altos. Para la temporada de Santa Ana se mantiene una distribución similar que cuando el registro completo es analizado las zonas altas mantienen valores grandes y en las bajas se presentan de ambos, valores bajos y altos. En la época de junio-septiembre estaciones como Ojos Negros y Valle De San Rafael de altitud media pasaron de valores grandes en el índice de previsibilidad a valores pequeños. Al comparar con el mapa de las temperaturas medias anuales, las zonas que mayor temperatura registran son La Misión, Agua Caliente y El Alamar, pero tienen comportamientos diferentes La Misión tiene valores de previsibilidad más altos que los de Agua Caliente y El Alamar. Las estaciones que tienen una temperatura media anual más baja tienen valores altos de previsibilidad, es independiente de si el lugar tiene más o menos altitud.
- Para la humedad relativa el índice de previsibilidad tiene valores más bajos en la parte más baja y más altos en la zona más alta de la cuenca a excepción de la estación Ejido El Porvenir; también se puede observar de manera general que la zona más cálida son las de valores más bajos del índice de previsibilidad de la humedad relativa y en las zonas donde la temperatura es más baja los índices son más altos. También en las zonas donde se registró más precipitación es donde el índice de previsibilidad de la humedad relativa es más alto con excepción de la estación de Ojos Negros. Las zonas donde la presión es mayor, las zonas bajas, el índice de previsibilidad de la humedad relativa es bajo; y en las zonas donde la presión es menor, las zonas altas, el índice de previsibilidad de la humedad relativa es alto. Este comportamiento se mantiene para la época de Santa Ana y cuando estos no ocurren.
- Para la velocidad del viento no hay una relación directa entre el índice de previsibilidad y la altitud de las estaciones, la estación Sierra Juárez está a 1580m y el índice de previsibilidad del viento es alto pero para la estación Ejido el Porvenir también siendo esta de poca altitud, además El Pinal que también está a 1320m tiene un índice de previsibilidad bajo para la velocidad del viento al igual que estaciones como Ejido Carmen Serdán y Agua Caliente que están a 560 y 400 m respectivamente. De esta misma manera tampoco parece

haber relación con respecto a las zonas donde llueve más con el índice, pues El Pinal tiene valor similar a Agua Caliente y en una llueve mucho más que en la otra estación, esto sucede igual con la distribución de la temperatura.

- Cuando existen fenómenos que alteran el clima como los vientos de Santa Ana, la interacción y el comportamiento de ciertas variables se puede ver afectado pasando de ser muy predecibles en ciertas épocas a impredecibles y de igual forma de tener un comportamiento persistente a uno antipersistente o aleatorio y en ciertos parámetros pasar de un grado de persistencia mayor a uno menor. Las variables climáticas como la precipitación, la temperatura, la presión, la humedad relativa y la velocidad del viento guardan un grado de relación con características como la altitud, pero este tipo o grado de relación se puede ver afectado por los Santa Ana y pasar de una relación directamente proporcional a una inversamente proporcional.
- La dinámica climática de la zona es muy compleja, si bien se encontró que la mayoría de las estaciones seguía el mismo patrón, se encontraron casos donde los comportamientos eran atípicos a los de las estaciones cercanas. Estaciones que estaban en la zona alta de la cuenca y tenían comportamiento similar a la de estaciones de la parte baja de la cuenca, y estaciones donde el comportamiento y la interacción entre variables se mantenía independiente de la estacionalidad o época.
- Se recomiendan seguir haciendo más estudios a escalas temporales más pequeñas para analizar los Santa Ana debido a que en la resolución diaria el cambio en humedad relativa no es tan evidente como se esperaba de acuerdo a los parámetros de clasificación de dicho evento.

6 REFERENCIAS

- Aguilar, R. R. (2014). The Hurst coefficient and the parameter α -stable for financial series analysis. Application to the Mexican exchange market. *Contaduria y Administracion*, 59(1), 149–173. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71247-1](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71247-1)
- Bhardwaj, R., & Pruthi, D. (2017). Time series and predictability analysis of air pollutants in Delhi. *Proceedings on 2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies, NGCT 2016*, (October), 553–560. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2016.7877476>
- Bhatt, S. J., Dedania, H. V., & Shah, V. R. (2015). Fractal Dimensional Analysis in Financial Time Series. *International Journal of Financial Management*, 5(3). <https://doi.org/10.21863/ijfm/2015.5.3.016>
- Castro, R. (2003). Evolución y extensión de los vientos Santa Ana de febrero de 2002 en el océano , frente a California y la Península de Baja California Evolution and extension of the Santa Ana winds of February 2002 over the ocean , off California and the Baja California , 29(February 2002), 275–281.
- Chatfield, C. (1984). *THE ANALYSIS OF TIME SERIES AN INTRODUCTION* (Third).
- Demir, B., Özdemir, Y., & Saltan, M. (2013). The snowflake curve as an attractor of an iterated function system. *Communications of the Korean Mathematical Society*, 28(1), 155–162. <https://doi.org/10.4134/CKMS.2013.28.1.155>
- Echeverri, J. (2011). LA DIMENSIÓN TOPOLÓGICA.
- Esquivel, G., Cerano, J., Sánchez, I., López, A., & Gutiérrez, O. G. (2015). Validación del modelo ClimGen en la estimación de variables de clima ante escenarios de datos faltantes con fines de modelación de procesos.pdf. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, VI(4), 117–130.
- García Melián, J. (2014). Cuando las rectas se vuelven curvas. Las geometrías no euclideas. Joan Gómez. *Revista de Didáctica de Las Matemáticas*, 85, 179–181.

- González, V., & Guerrero, C. (2001). Fractales : fundamentos y aplicaciones Parte I : Concepción geométrica en la ciencia e ingeniería. *Ingenierías*, IV(10), 53–59. Retrieved from http://ingenierias.uanl.mx/10/pdf/10_Virgilio_Gonzalez_Fundamentos_y.pdf
- Harrouni, S., & Guessoum, A. (2009). Using fractal dimension to quantify long-range persistence in global solar radiation. *Chaos, Solitons and Fractals*, 41(3), 1520–1530. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2008.06.016>
- He, H. di. (2017). Multifractal analysis of interactive patterns between meteorological factors and pollutants in urban and rural areas. *Atmospheric Environment*, 149, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.004>
- Huang, X., & Zhi, C. (2016). Polymer nanocomposites: Electrical and thermal properties. In *Polymer Nanocomposites: Electrical and Thermal Properties* (pp. 113–137). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28238-1>
- Jones, C., Fujioka, F., & Carvalho, L. M. V. (2010). Forecast Skill of Synoptic Conditions Associated with Santa Ana Winds in Southern California, 138, 4528–4542. <https://doi.org/10.1175/2010MWR3406.1>
- Joye, Y. (2007). *A Tentative Argument for the Inclusion of Nature-Based Forms in Architecture*. Universiteit Gent.
- Kimothi, S., Kumar, A., Thapliyal, A., Ojha, N., Soni, V. K., & Singh, N. (2019). Climate predictability in the Himalayan foothills using fractals. *Mausam*, 70(2), 357–362.
- Laib, M., Golay, J., Telesca, L., & Kanevski, M. (2018). Multifractal analysis of the time series of daily means of wind speed in complex regions. *Chaos, Solitons and Fractals*, 109, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2018.02.024>
- Li, M., Xia, J., & Meng, D. (2012). DFA based predictability indices analysis of climatic dynamics in Beijing area , China, 382, 60–64. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.382.60>
- López-Lambraño, A., Carrillo-Yee, E., Fuentes, C., López-Ramos, A., & López-Lambraño, M. (2017). Una revisión de los métodos para estimar el exponente de Hurst y la dimensión fractal

- en series de precipitación y temperatura. *Revista Mexicana de Física*, 63(3), 244–267.
- López, A., Fuentes, C., López Ramos, A., Mata, J., & López, M. (2018). Spatial and temporal Hurst exponent variability of rainfall series based on the climatological distribution in a semiarid region in Mexico. *Atmosfera*, 31(3), 199–219. <https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.03.02>
- Malamud, B. D., & Turcotte, D. L. (1999). Self-affine time series : measures of weak and strong persistence, 80, 173–196.
- Mandelbrot, B. (1967). How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*, 156(9), 636–638. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Meraz, L., Valderrama, J., & Maldonado, S. (2012). La Ruta del Vino en el Valle de Guadalupe , Baja California , México . Perspectiva frente al cambio climático : Una primera aproximación Lino Meraz Ruiz Jorge Antonio Valderrama Martínez. *Globalización y Agricultura. Nuevas Perspectivas de La Sociología Rural*, (May 2012), 25. <https://doi.org/10.13140/2.1.3324.1923>
- Meraz, M., Rodriguez, E., Femat, R., Echeverria, J. C., & Alvarez-Ramirez, J. (2015). Statistical persistence of air pollutants (O₃,SO₂,NO₂ and PM₁₀) in Mexico City. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 427(2), 202–217. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.02.009>
- Merizalde Merizalde, R. X. (2018). *Diseño y construcción de una antena fractal en base a la curva de Koch para la recepción de señales de TDT en la banda UHF*. Escuela Politécnica Nacional.
- Parmar, K. S., & Bhardwaj, R. (2013). Water quality index and fractal dimension analysis of water parameters. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(1), 151–164. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0086-y>
- Plazas Nossa, L., Ávila Angulo, M. A., & Moncada Méndez, G. (2014). Estimating Hurst Exponent and Fractal Dimension for Uv-Vis Absorbance Time Series Analysis. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(2), 133–143. Retrieved from

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Quinonez Ramirez, J. de J., Bringas Rabago, N., & Barrios Prieto, C. (2011). La ruta del vino de baja california. *Secretaria de Turismo de Baja California*, 149.
- Rangarajan, G., & Sant, D. A. (1997). A climate predictability, 24(10), 1239–1242.
- Rawat, K. S., Singh, S. K., Jacintha, T. G. A., Nemčić-Jurec, J., & Tripathi, V. K. (2017). Appraisal of long term groundwater quality of peninsular India using water quality index and fractal dimension. *Journal of Earth System Science*, 126(8). <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0895-y>
- Rehman, S., & Siddiqi, A. H. (2009). Wavelet based correlation coefficient of time series of Saudi Meteorological Data. *Chaos, Solitons and Fractals*, 39(4), 1764–1789. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2007.06.054>
- Rehman, Shafiqur. (2009). WAVELET BASED HURST EXPONENT AND FRACTAL DIMENSIONAL ANALYSIS OF SAUDI CLIMATIC PARAMETERS. *The International Journal of Meteorology*, 34(335).
- Rodríguez M., R. (1995). *La teoría de fractales: Apliación experimental e implicaciones en la metodología de la ciencia*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Shafiqur, R. (2009). Study of Saudi Arabian climatic conditions using Hurst exponent and climatic predictability index. *Chaos, Solitons and Fractals*, 39(2), 499–509. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2007.01.079>
- Tarafdar, S., & Harper, D. (2008). Anti-persistence in levels of Lake Naivasha: Assessing effect of human intervention through time-series analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 387(1), 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.08.050>
- Tatli, H. (2015). Detecting persistence of meteorological drought via the Hurst exponent, 769(November), 763–769. <https://doi.org/10.1002/met.1519>

- Trasviña, A., Ortiz-Figueroa, M., Herrera, H., Cosío, M. A., & González, E. (2003). ‘ Santa Ana ’ winds and upwelling filaments off Northern Baja California, 37, 113–129. [https://doi.org/10.1016/S0377-0265\(03\)00018-6](https://doi.org/10.1016/S0377-0265(03)00018-6)
- Velásquez Valle, M. A., Medina García, G., Cohen, I. S., Klaudia Oleschko, L., Ruiz Corral, J. A., & Korvin, G. (2013). Spatial variability of the Hurst exponent for the daily scale rainfall series in the state of zacatecas, Mexico. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(12), 2771–2780. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0136.1>
- Yee, E. C. (2015). Fractalidad de Series de Tiempo de Precipitación y Temperatura en el Estado de Baja California, 366.
- Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G. (2014). Effect of some meteorological phenomena on the wind potential of Baja California. *Energy Procedia*, 57, 1327–1336. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.086>
- Zhao, X., Shang, P., & Huang, J. (2017). Several fundamental properties of DCCA cross-correlation coefficient. *Fractals*, 25(2). <https://doi.org/10.1142/S0218348X17500177>

ANEXO A. COMPILADO DE INVESTIGACIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE SERIES DE PRECIPITACIÓN APLICANDO GEOMETRÍA FRACTAL

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
T. Selvi, S. Selvaraj. Universal Journal of Environmental Research and Technology	Tamil Nadu, India	Precipitación del Monzón del Noreste de 1902-2008	(As): Tropical y estepario Precipitación: 1083	Rango rescalado Hurst	0.21	1.78
S. Verrier et al, Journal of Hydrology	Djougou, Benin	Precipitación de la campaña de tormentas Africana (African monsoon multidisciplinary analysis campaign (AMMA))	(Aw): cálido y húmedo Precipitación: 1039 mm/año	Fractionated flux (FIF). Modelo universal multifractal. Se uso un espectro pluviómetro (DBS) 1372 Mapas de radar 100 Mapas de radar DBS: Todos los datos DBS: 10 eventos de precipitación	0.21 0.40 0.55 0.62	1.79 1.60 1.45 1.38
A. Kalauzi et al, Atmospheric Research	Provincia de Pastaza, Ecuador	Precipitación Mensual acumulada con 380 datos	Pastaza: (Af): Clima tropical típico Precipitación: 3500 mm/año	Higuchi y diferencias consecutivas	0.075	1.925
A.T. Haile et al, Journal of applied meteorology and climatology	Rio Nilo Azul, Etiopia	Precipitacion horaria	(Aw): Clima tropical con variación. Usualmente más frio que otras regiones cercanas al Ecuador.	Conteo de cajas	0.42 a 0.5	1.5 a 1.58

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
			Precipitación: 1200 mm/año			
J.M. Gutiérrez, A. Galván y A.S. Cofiño, Fractals	Cairns, Australia	Precipitación mensual	(Am) Cálido templado Precipitación: 2300 mm/año	Conteo de cajas	0.4	1.6
J.R. Amaro J.R. Demey R. Macchiavelli, Interciencia	Venezuela	Precipitación anual de 1921 a 2000	(As) La variedad climática es representada por las temporadas de lluvia y sequía. Precipitación: 644 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.7	1.30
J.G.V. Miranda Theor. Appl. Climatol	Noreste de Brasil	Precipitación diaria	(As) Subtropical, precipitación: 1450 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.7	1.30
M.C. Breslin y J.A. Belward, Math Comput Simulat	Queensland Australia	Precipitación mensual total de 52 estaciones (1200 valores)	(As) Escasez de lluvias y veranos calurosos al oeste. Monzón a clima templado en el extremo norte. Cálido a lo largo de la franja costera. Precipitación: 961 mm/año	Conteo de caja Rango rescalado Hurst, Método de variación, comparación numérica de métodos	0.4 a 0.65	1.35 a 1.60

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
I. Peñate et al, Nonlin. Proceses Geophys	Islas Canarias	Precipitación anual de 22 años, de 1989- 2010.	(BSh): subtropical oceánico, con temperaturas mitigadas todo el año por el mar y en verano por los vientos alisios. Precipitación: 900 mm/año	Conteo de caja	1.45	1.55
					0.04	1.96
					0.02	1.98
M.A. Velásquez. American Meteorological Society	Zacatecas, México	Precipitación diaria de 1963 a 2003	(BSk) La zona norte es caracterizada por el clima seco desértico. La zona centro tiene climas semidesértico y templado semidesértico Precipitación: 431 mm/año	Método de Wavelet	0.02	1.98
	Agua Nueva				0.03	1.97
	Camacho Cañitas				0.05	1.95
	Cedros				0.1	1.9
	Coapas				0.09	1.91
	Concepción del Oro				0.15	1.85
	Chalchihuites				0.12	1.88
A. Yuval y D.M. Broday, Environ. Sci. Technol. 44	Israel	Precipitación de cada 30 minutos para 10 años	(BWh) típico clima mediterráneo con veranos calurosos y secos, e inviernos fríos y lluviosos. Desértico cálido. Precipitación: 476 mm/año	Método de Wavelet	0.7	1.30

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
S. Rehman Chaos, Solitons and Fractals	Arabia Saudita R/S	Precipitación diaria de 7 años	(BWh): Clima desértico con temperaturas extremadamente calientes durante el día y bruscos descensos por la noche. Precipitación: 94.6 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.71	1.29
	Hurst Abha		0.63		1.37	
	Al- Ahsa		0.67		1.33	
	Al-Baha		0.6		1.4	
	Makkah		0.59		1.41	
	Al- Wajh Ara		0.66		1.34	
G. Korvin, M. Boyd, y R. O’Dowd Geophys. J. Int	Adelaide Australia	Precipitación de la red de estaciones de Australia	(BSk) clima mediterráneo caluroso que por lo general significa que goza de un clima suave, con inviernos húmedos y veranos calurosos y secos Precipitación: 536 mm/año	Dimensión de correlación	0.6	1.40
Zu-Guo et al, Physica A	Hong Kong, China	Precipitación diaria desde 1960-2005	Cfa: El clima es templado y cálido. Hay precipitaciones durante todo el año. Precipitación promedio: 2152 mm/año	Método multifractal de fluctuación sin tendencia (MF- DFA)	0.58	1.42
H. Huai-Hsien et al, Journal ofHidrology 496	Boston, Massachusetts, USA	Precipitación de tormenta en Boston	(Cfa)Entre el continental húmedo y subtropical húmedo. Veranos cálidos, inviernos fríos.	Método Fractal- Multifractal (original)	0.56	1.44
					0.52	1.48
			FM-Wire	0.3	1.7	

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
H. Ghanmi, Z. Bargaoui, y C. Mallet. Hydrological Sciences Journal	Túnez	Precipitación diaria de 1873 a 2009	(Csa) Clima es templado, con inviernos suaves, lluviosos, veranos calurosos y secos. Precipitación: 1122 mm/año	FM-Leaf	0.43	1.57
				FM-No Linear FM-Margina	0.31	1.69
				Conteo de caja	0.9	1.1
A. López Lambraño Tesis de Doctorado UAQ	Presa Centenario, Querétaro, México	Precipitación de 1957 a 2001. -Registro de 50 años -Para décadas con momento de orden 10, 100 ventanas 1951-1961	(Csa) Clima semiárido y templado Precipitación: 550 mm/año	Análisis de fluctuación sin tendencia multifractal (MF-DFA)	0.36	1.64
					0.33	1.67
					0.37	1.63
					0.42	1.58
					0.47	1.53
					0.39	1.61
					0.38	1.61
					0.37	1.63
					0.44	1.56

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
		1961-1971				
		1971-1981				
		1981-1991				
H. Huai-Hsien et al., Fractals 20	Iowa, Estados Unidos	Precipitación medida cada 2 minutos= 256 dato	(Cfa): Continental húmedo Precipitación: 1451 mm/año	Fractal-Mutlifractal	0.67	1.33
V. Capecchi et al, Atmospheric and Oceanic Physics, 1-6	Toscana, Italia Central	Precipitación diaria	(Cfa) Lluvioso y severo en el interior, con considerables fluctuaciones de temperatura Precipitación: 747 mm/a	Método de dimensión de correlación fractal (FCD	0.25	1.85
D. Koutsoyiannis, A. Paschalis A. y N. Theodoratos, Journal ofHydrology 398	Océano Pacífico, norte de Nueva Zelanda	Precipitación horaria del 13 al 16 julio de 2005	(Cfb): El clima en todo el país es templado, principalmente oceánico. Precipitación: 640 mm/año	Hurst-Kolmogorov	0.99	1.01
S.P. Pérez et al, Revista de Climatología	La Pampa, Argentina	Precipitación Anual	(Csa): templado húmedo hacia el este y templado seco al oeste. Precipitación: 564 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.94	1.06

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
L.R. Salomao, J.R. Campanha y H.M. Gupta, Campanha y H.M. Gupta, Theor. Appl. Climatol	Sao Paulo, Brasil	Precipitación diaria	(Csb): Subtropical con inviernos templados y veranos con temperaturas moderadamente altas Precipitación: 1450 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.556	1.444
A. Barbulescu, C. Serban y C. Maftai, Latest Trends on Computers	Dobrudja, Rumania Adamclisi Cernavoda	Precipitación anual de 10 series entre 1965 y 2005	(Cfb): El clima oscila entre templado y continental, según la región del país. Precipitación: 500 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.7207 0.9775 0.9738	1.2793 1.0225 1.0262
X. Zhou, N. Persaud y H. Wang, Ecological Modelling	Botsuana	Precipitaciones diarias	(Csa) Clima semiárido con lluvia muy escasa. Precipitación promedio anual: 457 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.71	1.29
	Nápoles, Italia Ovindoli				0.1598	1.8402
	Villavallelonga				0.1578	1.8422
A. Mazzarella, y G. Tranfaglia Theor. Appl. Climatol.	Pontecorvo Letino Castelfranco in Miscano Vitulano Pontecasalduni S. Andrea del Pizzone	Precipitación de red de estaciones climatológicas de la zona, con datos históricos	(Csa) clima mediterráneo Precipitación: 894 mm/año	Conteo de caja	0.1532 0.1572 0.1511 0.1454 0.1446	1.8468 1.8428 1.8489 1.8546 1.8554

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
					0.1433	1.8567
J.J. Oñate, Theoretical & Applied Climatology	España Albacete Alicante	Precipitación anual de 1901-1989	(Csa) clima mediterráneo, variaciones de temperatura Precipitación: 524 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.7 0.6	1.3 1.4
S. Lovejoy, y B. Mandelbrot Tellus	Montreal, España	Precipitación de cada 5 minutos	(Cfb) Clima mediterráneo, variaciones de temperatura entre el litoral costero. Precipitación: 524 mm/año	Rango rescalado Hurst	0.6	1.4
Szolgayova et al, Journal ofHydrology 519	Río Danube, Rumanía	Precipitación mensual desde 1901- 2006	Dfb: El clima es frío y templado. Hay precipitaciones durante todo el año en Ulm. Precipitación: 717 mm/año	Método de Wavelet	0.56	1.44

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
Domino et al. Physica A	Océano Báltico Kolobrzerg Swinoujscie	Precipitación de 5 tormentas extremas	Dfb: El clima es frío y templado. Hay precipitaciones durante todo el año en Ulm. Precipitación: 527 mm/año	Método multifractal de fluctuación sin tendencia (MF- DFA)	0.45 0.61	1.55 1.39
J. Lv et al, Journal of Sustainable Development 2	Hotan, China	Precipitación Media anual de 1954 a 2003	(Dwa): Clima continental desértico, templado. Precipitación: 645 mm/año	Análisis de fluctuación sin tendencia.	0.596	1.404
K. Tao, y A. Barros. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 27	Región sur-centro de Oklahoma, Estados Unidos	Precipitación de tormentas convectivas entre mayo y septiembre del 2007.	(Dfb): región templada, con las precipitaciones típicas de un clima continental Precipitación: 1420 mm/año	Superficie fractal Browniana	0.43	1.57
J.M. Gutiérrez, A. Galván y A.S. Cofiño Fractals	Barrow Alaska Davis Antártica	Precipitación mensual	(ET) ártico Precipitación: 537 mm/año	Conteo de caja	0.61	1.39

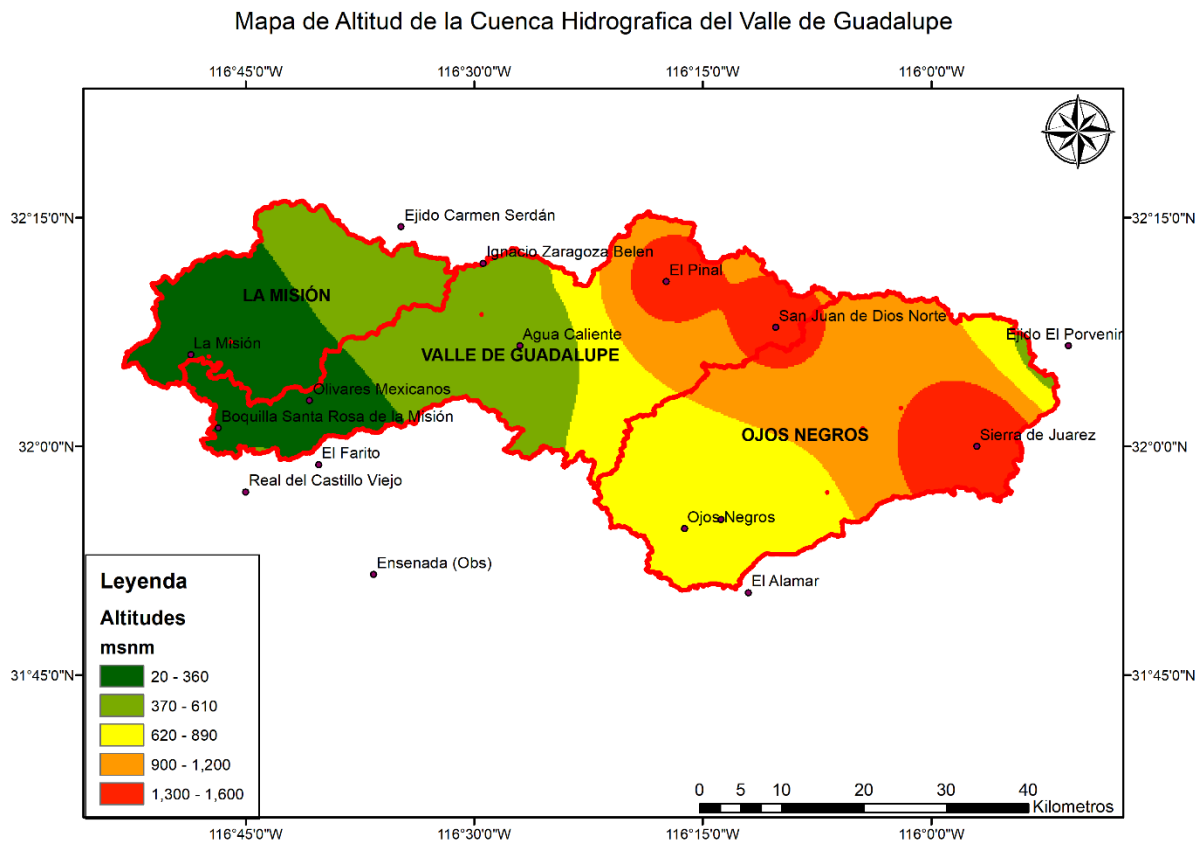
ANEXO B. COMPILADO DE INVESTIGACIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE SERIES DE TEMPERATURA APLICANDO GEOMETRÍA FRACTAL

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
A. Mianabadi, y Farid, Alireza International Journal of Applied Environmental Sciences	Mashad, Irán	Datos de temperaturas máximas y mínimas de 1992-2002	(BSk) Veranos moderados e inviernos muy fríos, Semiárido. Temp. Promedio: 21.1°C/año	Conteo de caja	0.65	1.35
S. Rehman, Chaos, Solitons and Fractal	Arabia Saudita: Abha, Al- Ahsa, Al- Baha, Makkah	Temperaturas diarias de 7 años	(BWh) Clima desértico con temperaturas extremadamente calientes durante el día y bruscos descensos por la noche, además de sus precipitaciones prácticamente nulas. También, por la influencia del clima subtropical, existen algunas variaciones en estos valores Temperatura promedio diaria: 26.6°C	Rango rescalado Hurst	0.34 0.4 0.33 0.4	1.66 1.6 1.67 1.6
S. Herrera et al, XXV Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación	Nuevo León, México	Datos de temperatura mensual extrema máxima y mínima de 30 estaciones	(BSh) El clima de Nuevo León es en su mayor parte estepario semiseco y las lluvias son comunes entre mayo y septiembre. Temperatura promedio: 23 °C	Análisis de la densidad de espectro potencial de series de tiempo	0.201 a 0.6	1.4 a 1.709

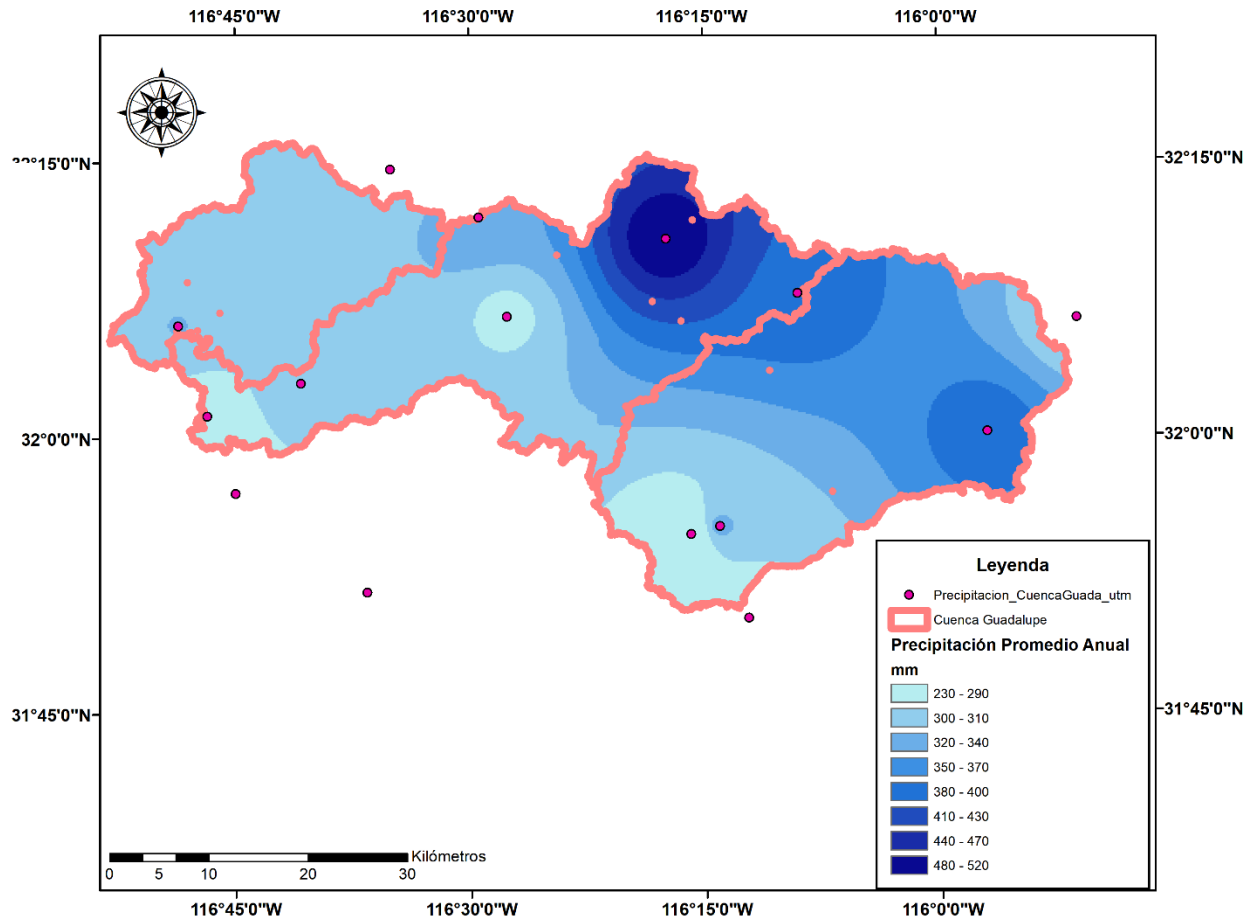
REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
A. Burgueño, X. Lanab, C. Serrab, y M. D. Martínez, Physics Letters A	Cataluña, España	Datos de temperaturas extremas máximas y mínimas de 1950 a 2004	(Cfb) Clima mediterráneo, templado en invierno y muy caluroso en verano; el interior tiene un clima continental mediterráneo, con inviernos fríos y veranos muy calurosos Temp. Promedio: 24.5°C	Análisis de fluctuación sin tendencia multifractal (MF- DFA)	0.602	1.398
A. López Lambraño, Tesis de Doctorado de Doctorado, UAQ	Presa Centenario, Querétaro, México	Temperaturas diarias de 1957 a 2001	(Csa) Clima semiárido. Temperatura: 18°C	Análisis de fluctuación sin tendencia multifractal (MF- DFA)	0.44	1.56
Valdez-Cepeda, R., et al. Fractals	Guanajuato, México	Temperaturas mínimas mensuales de 1985 a 1997	(Csa) El clima semiseco corresponde en general a la zona del altiplano; el templado, a las partes medias y altas de las serranías y el semicálido Temp. Promedio: 26°C	Espectro de potencia	0.514	1.486
D. Koutsoyiannis, Hydrological Sciences -Journal-de Sciences Hydrologiques	Paris, Francia	Temperaturas por temporadas	(Cfb) Oceanico Semicontinental. Temperatura: 15.5°C	Rango rescalado Hurst	0.79	1.21
Reljin, B., Reljin, I., y Jovanovic, G. IEEE	Belgrado, Serb	Temperaturas promedio mensuales de 1951-1998	(Cfa) Continental templado. Temp. Promedio: 12.5°C	Rango rescalado Hurst	0.64	1.36

REFERENCIA	REGION	PERIODO DE TIEMPO ANALIZADO	CONDICIONES CLIMATICAS	METODO UTILIZADO	EXPONENTE DE HURST	DIMENSIÓN FRACTAL
					0.65	1.35
Szolgayova et al, Journal of Hydrology	Rio Danube, Rumania Hofkirchen Achleiten Kienstock Bratislava	Temperaturas mensuales desde 1901- 2006	Dfb: El clima es frío y templado. Hay precipitaciones durante todo el año en Ulm. Temperatura promedio: 8.7°C	Método de Wavelet	0.65 0.65 0.65	1.35 1.35 1.35
L. Bodri y V. Cermak, Fractals	Kamchatka, Rusia	Temperatura de 2 series de cada 5 segundos por semanas (230,000 datos)	(Dfc) Clima continental. Temperatura promedio: -1°C	Rango rescalado Hurst	0.18 a .20	1.80 a 1.82
S. Ferguson y F. Messier, Ecography	Canada Alert Eureka Resolute Clyde	Temperaturas anuales de 29 a 34 años	(Dfb) Los inviernos pueden ser duros en muchas regiones del país, especialmente en las provincias del interior y en las praderas, donde se experimenta un clima continental. Temperatura: 10°C	Rango rescalado Hurst	0.802 0.94 0.715 0.951	1.198 1.06 1.285 1.049
L. Bodri, Theor. Appl. Climatol	Hungria Baja	Temperaturas medias anuales de 1901 a 1991	(Dfb) Continental, con inviernos fríos, veranos cálidos, precipitaciones medias. Temperatura: 11.9 °C	Rango rescalado Hurst	0.8	1.20

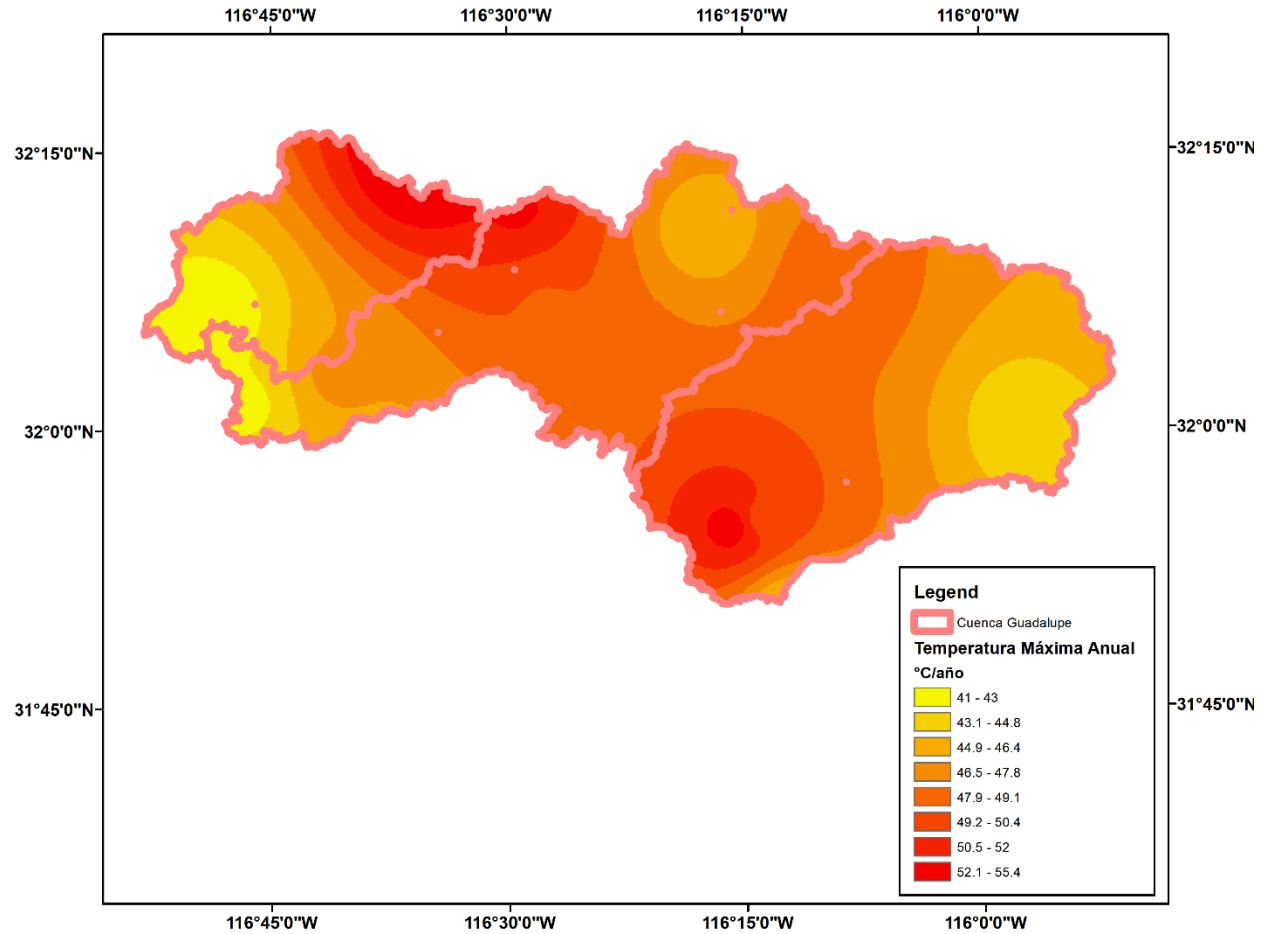
ANEXO C. MAPA DE ALTITUDES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL VALLE DE GUADALUPE



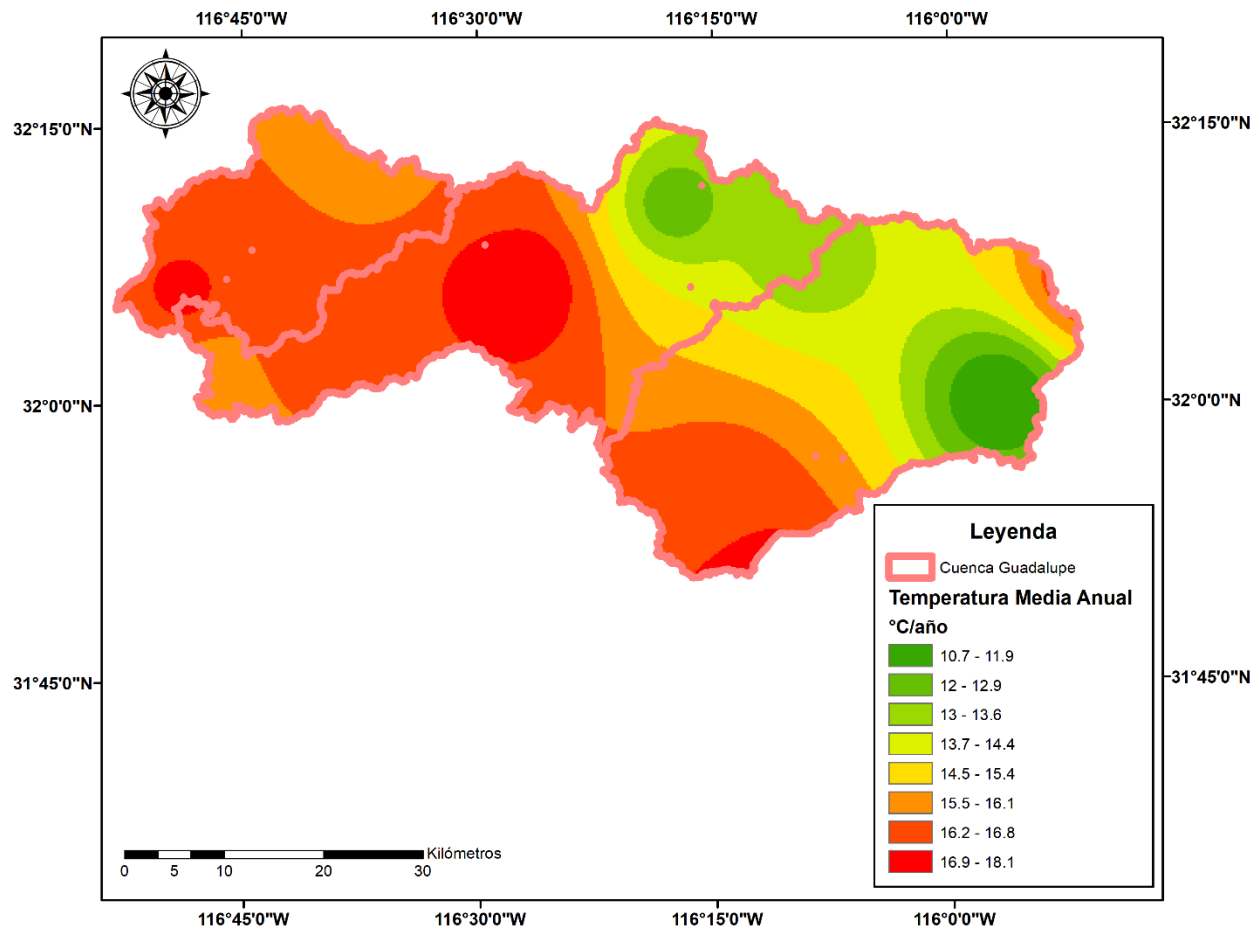
ANEXO D. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



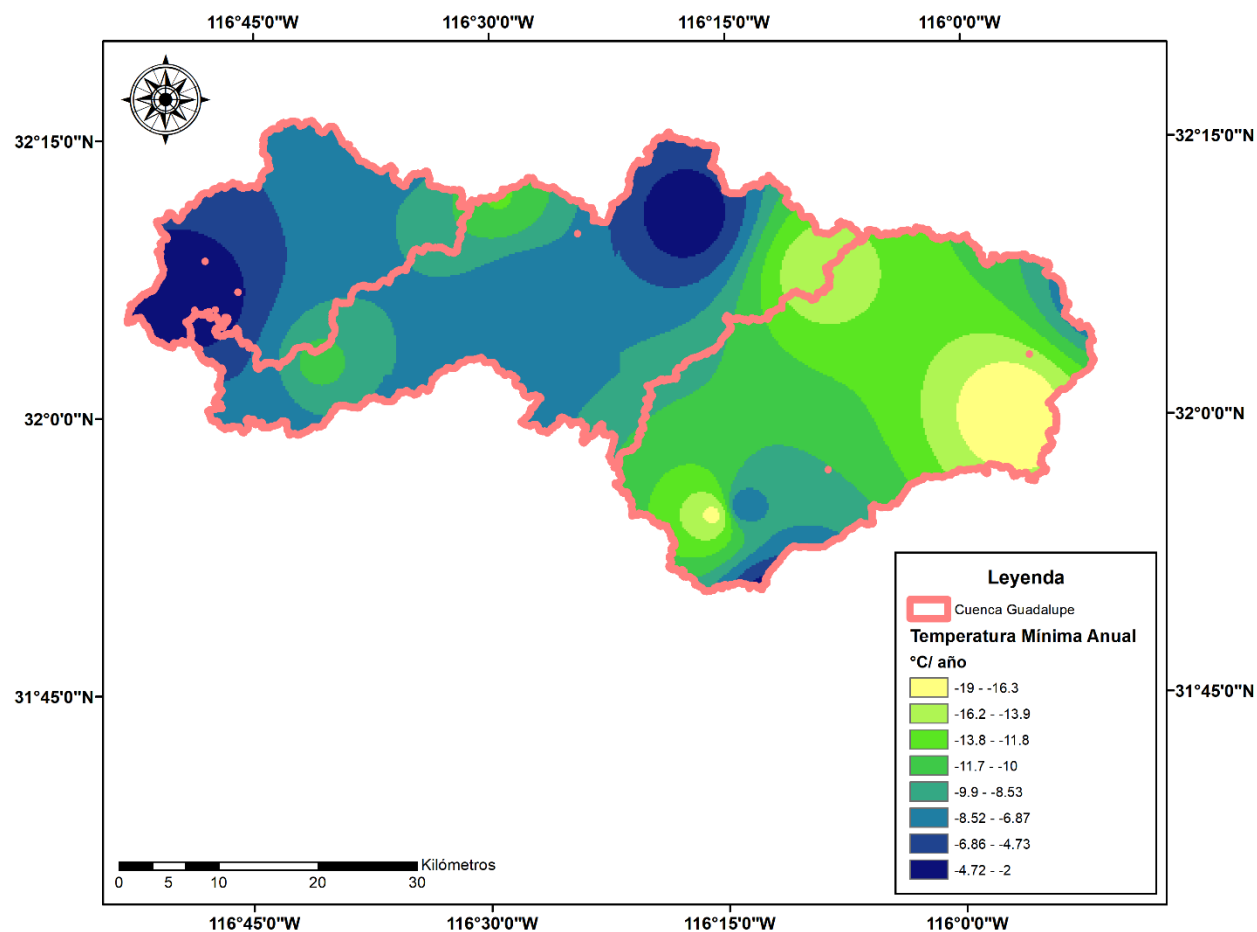
ANEXO E. MAPA DE TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL



ANEXO F. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL

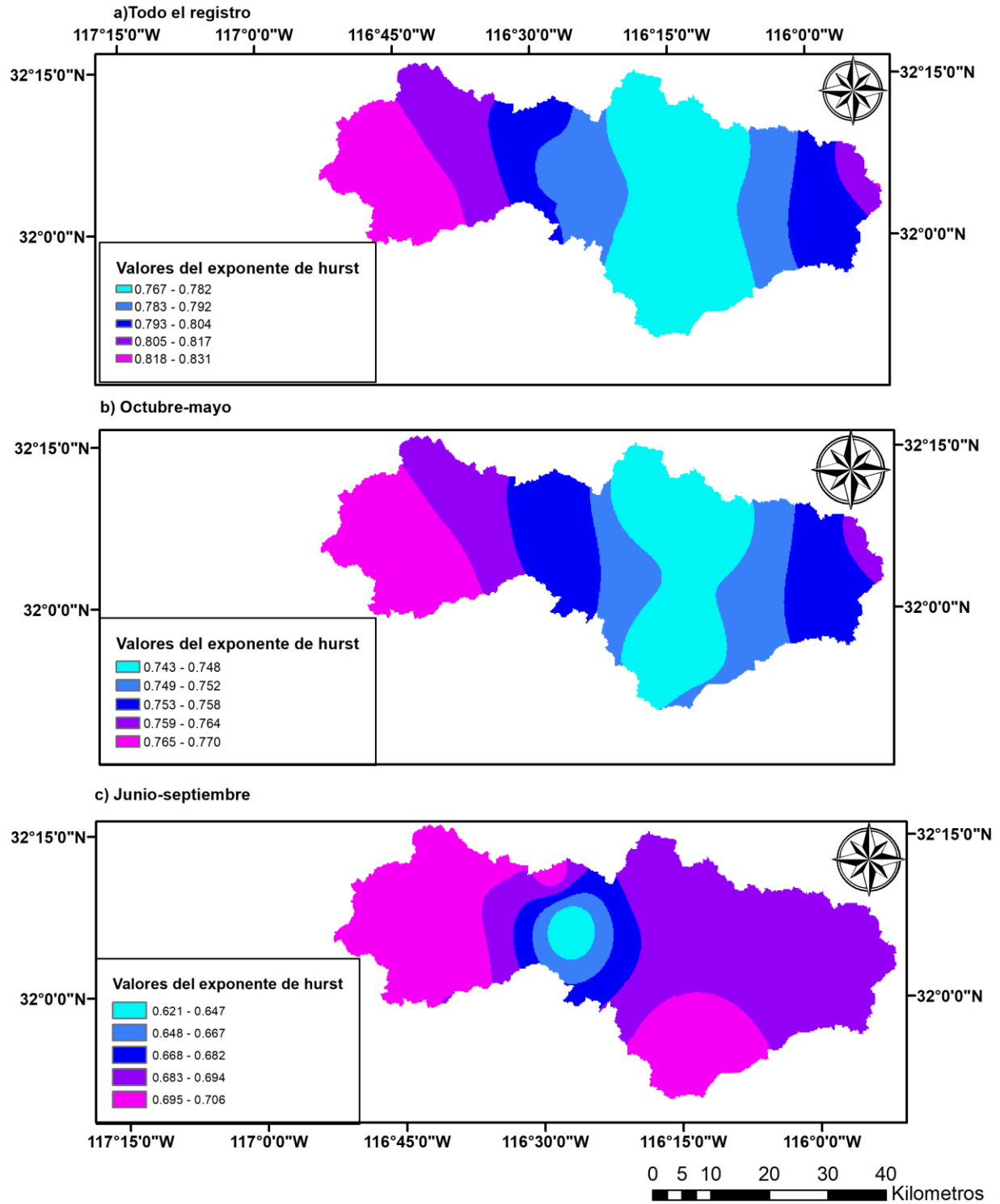


ANEXO G. MAPA DE TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL



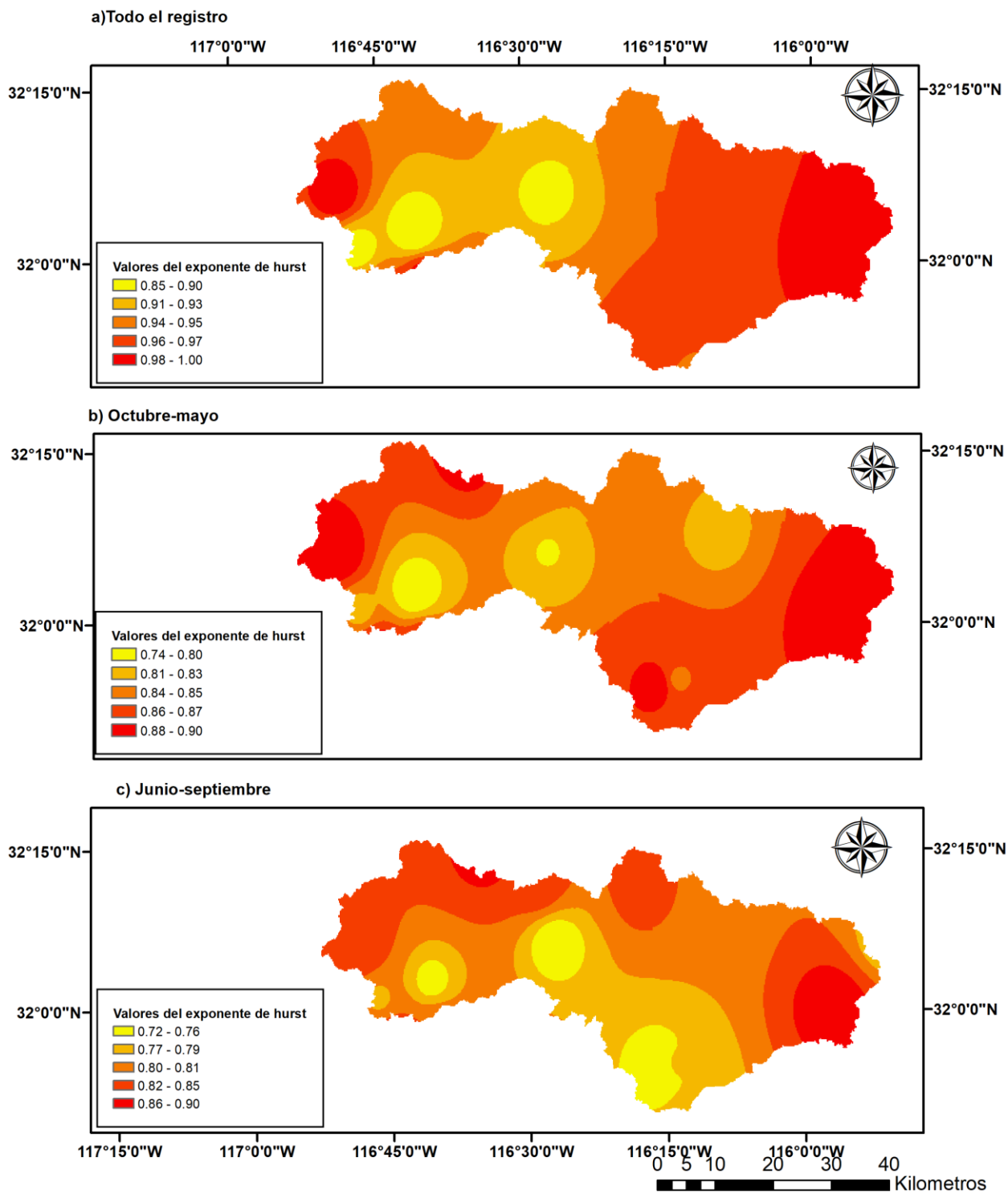
ANEXO H. Mapa de exponente de Hurst de presión diaria

Mapas de exponentes de Hurst de presión diaria



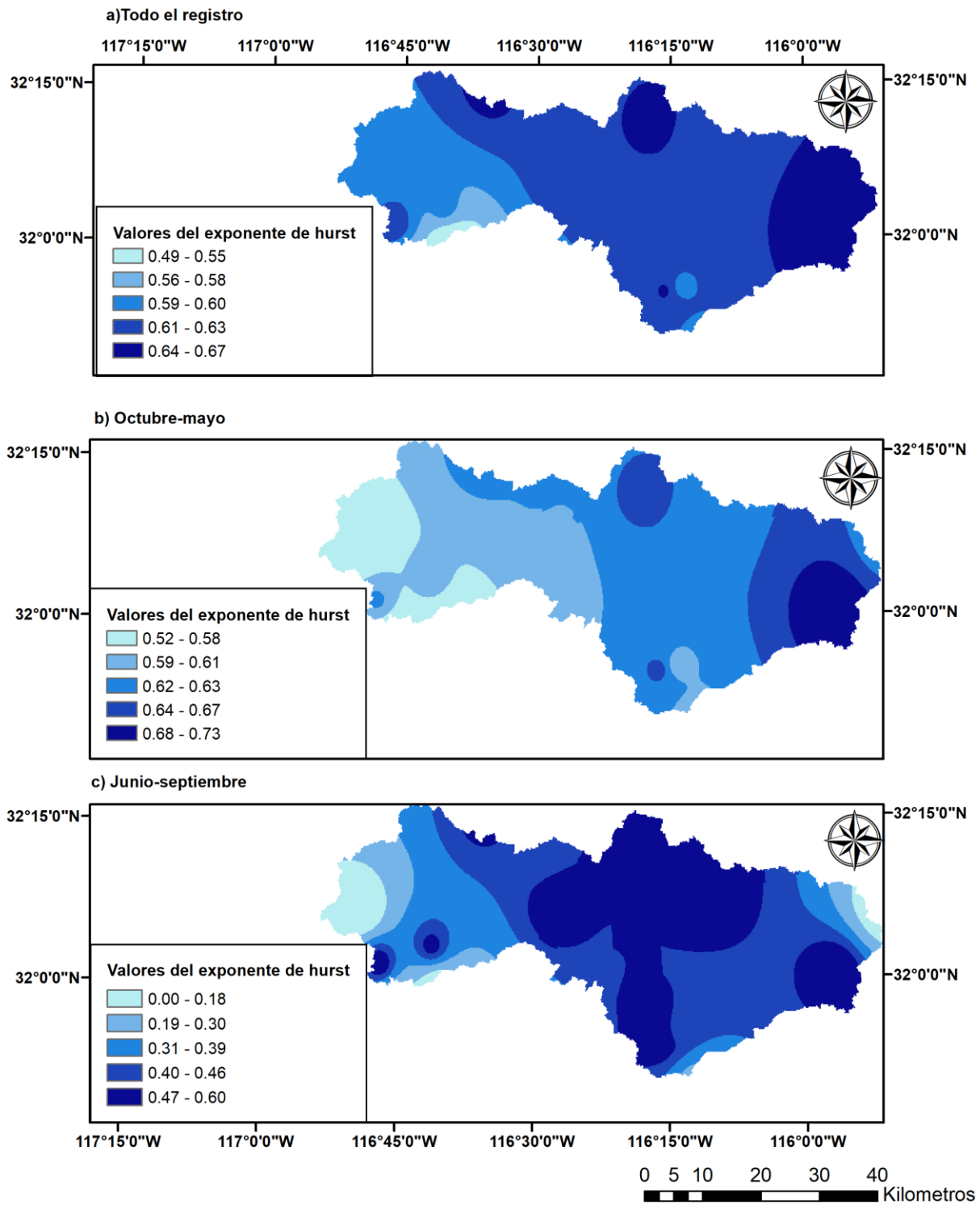
ANEXO I. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE TEMPERATURA

Mapas de exponentes de hurst de temperatura



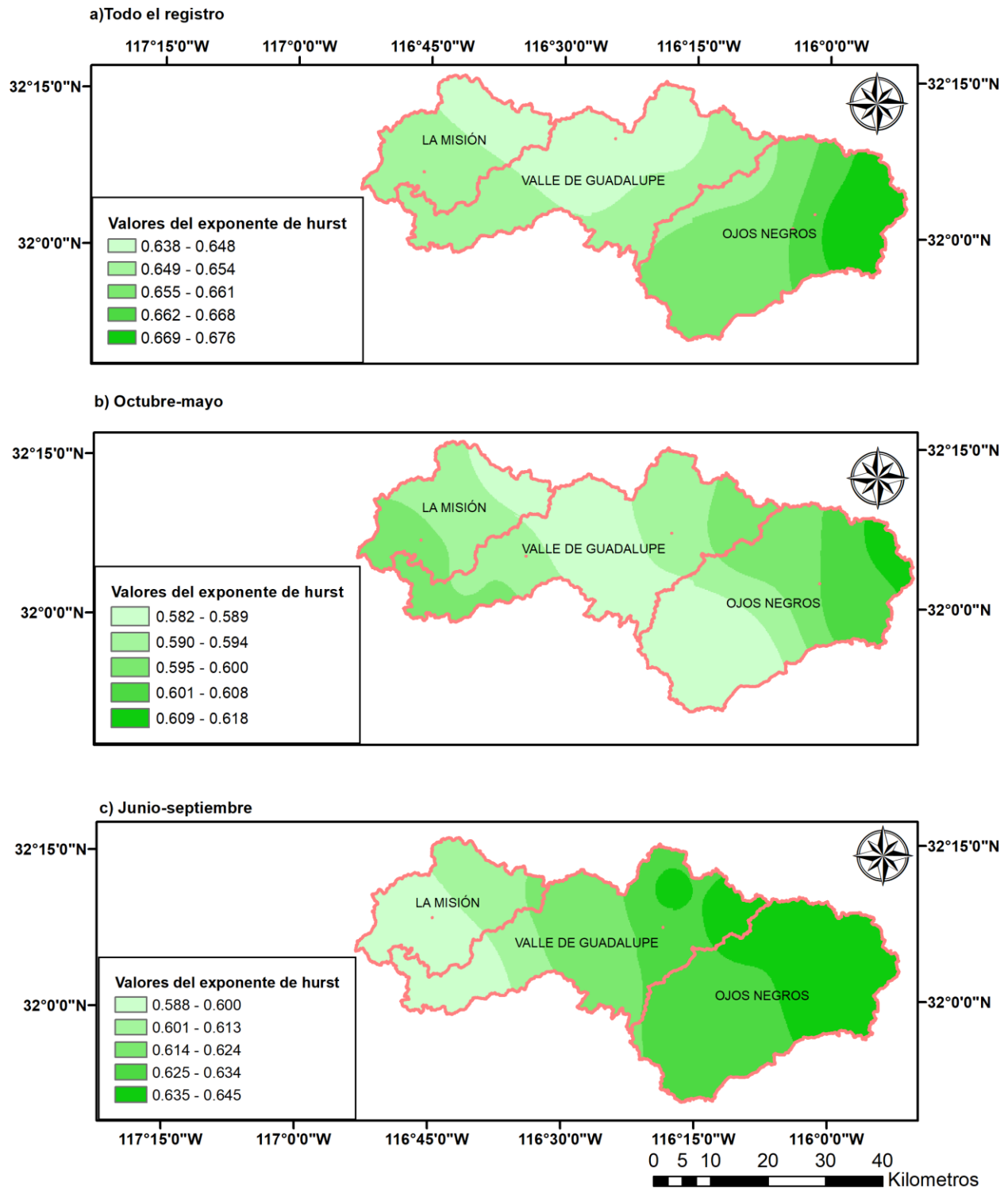
ANEXO J. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE PRECIPITACIÓN

Mapas de exponentes de Hurst de precipitación



ANEXO K. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE VELOCIDAD DEL VIENTO

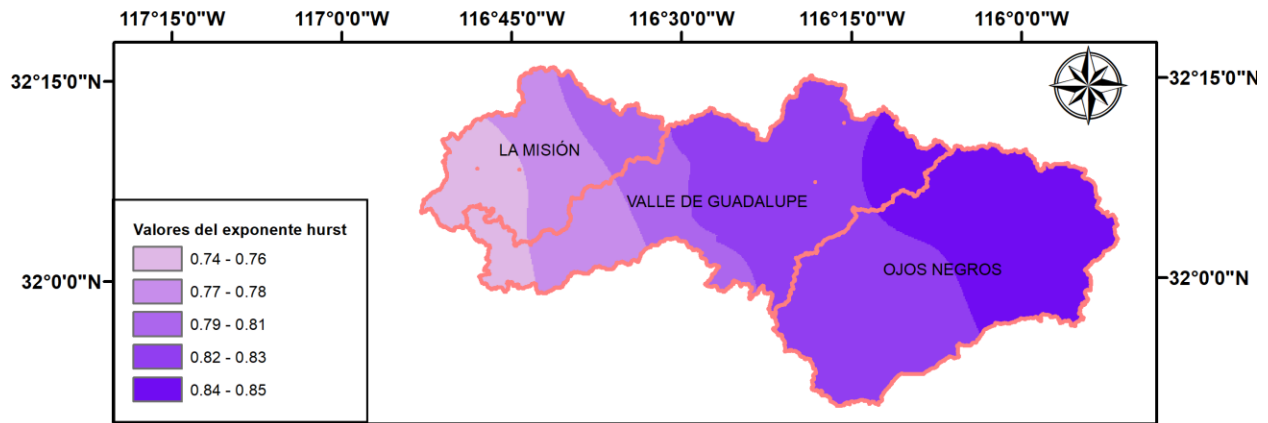
Mapas de exponentes de Hurst de velocidad del viento



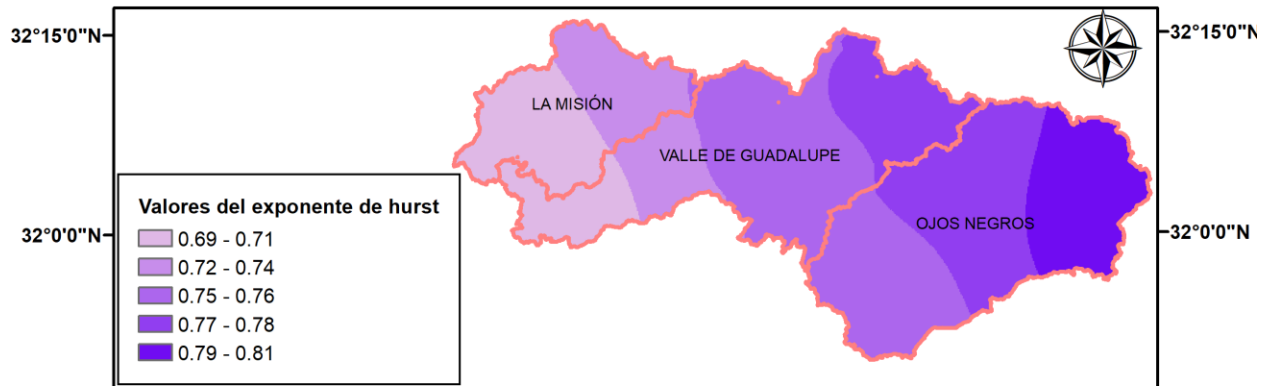
ANEXO L. MAPA DE EXPONENTES DE HURST DE HUMEDAD RELATIVA

Mapas de exponentes de Hurst de humedad relativa

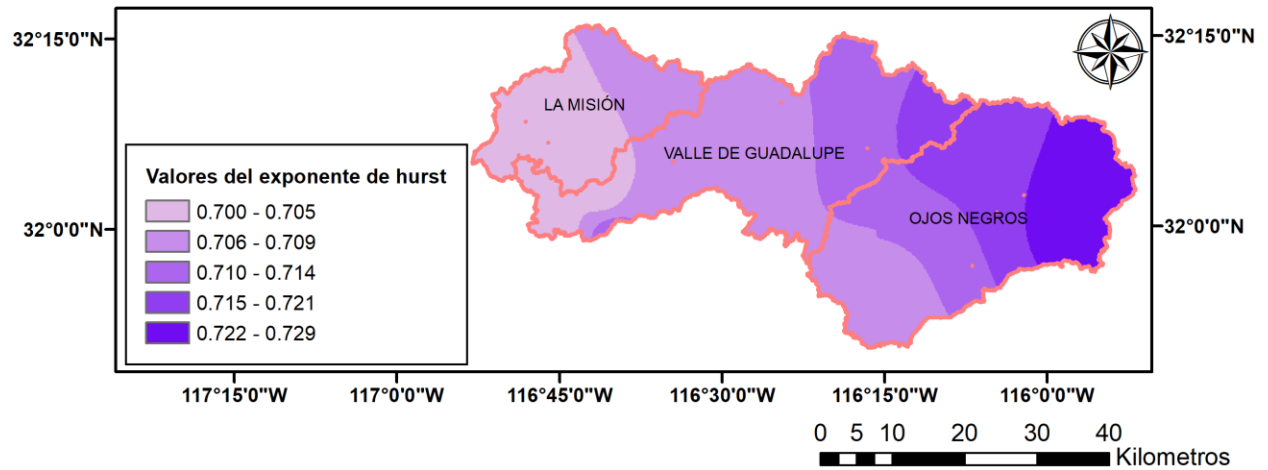
a) Todo el registro



b) Octubre-mayo

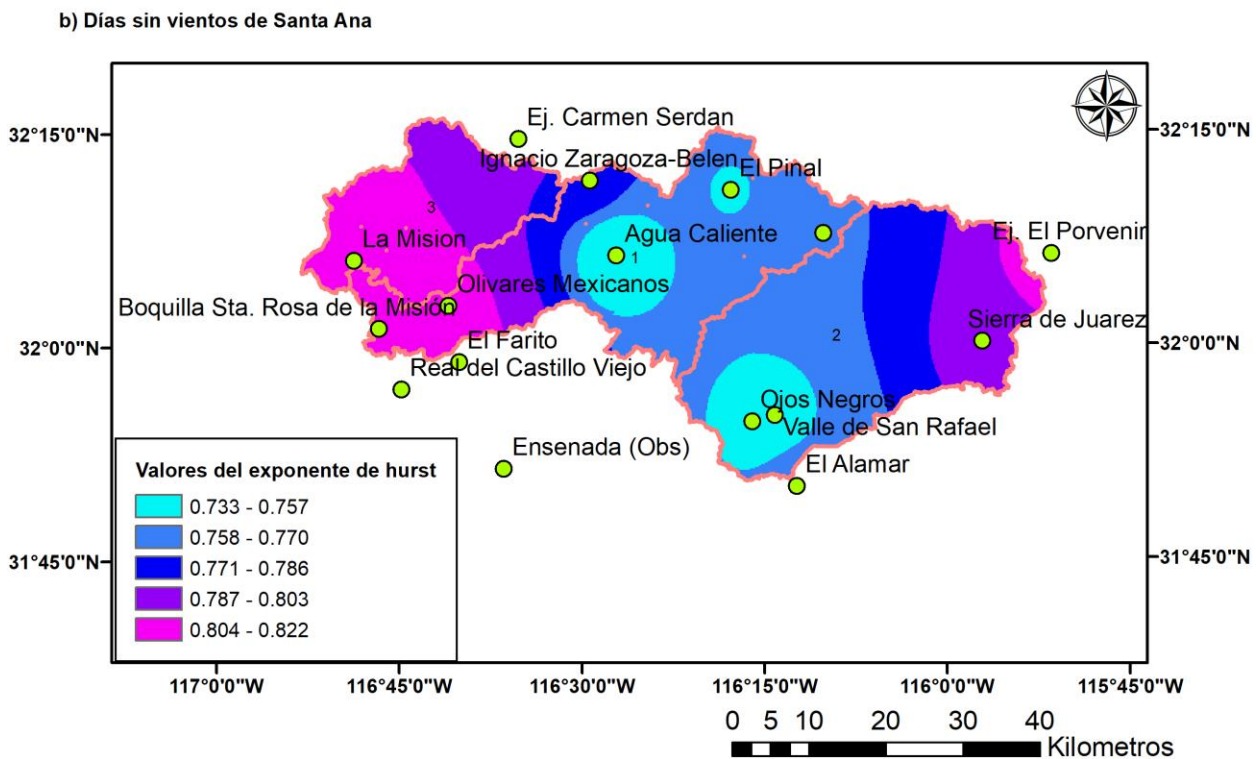
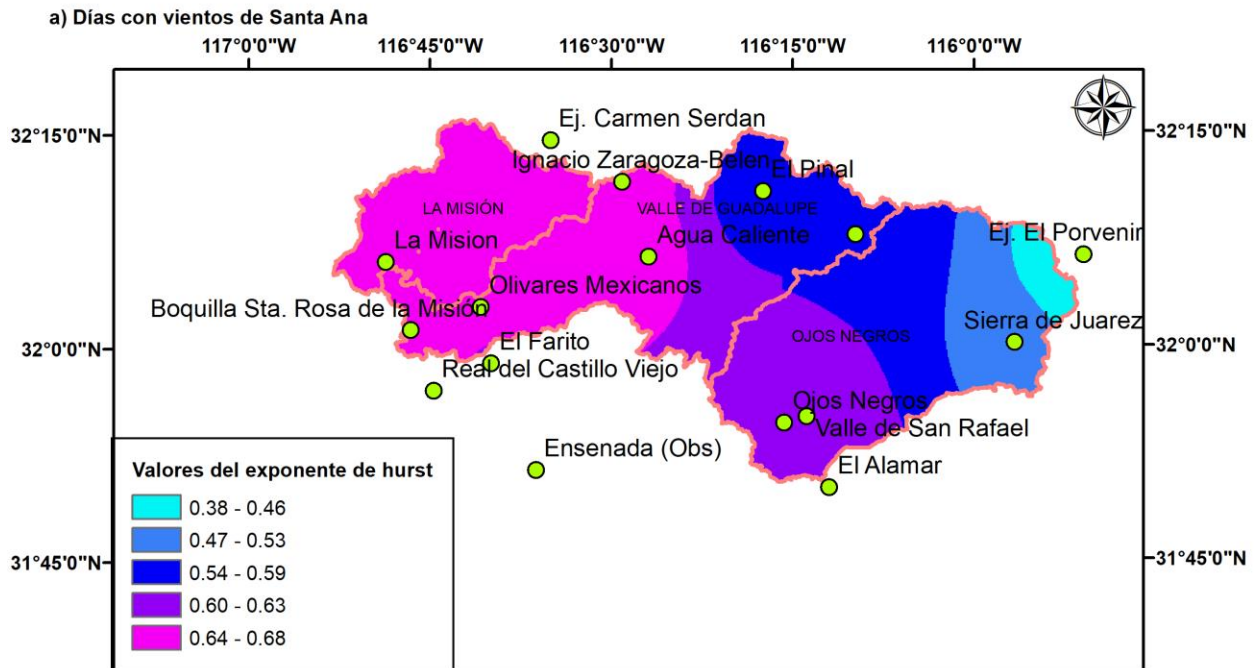


c) Junio-septiembre



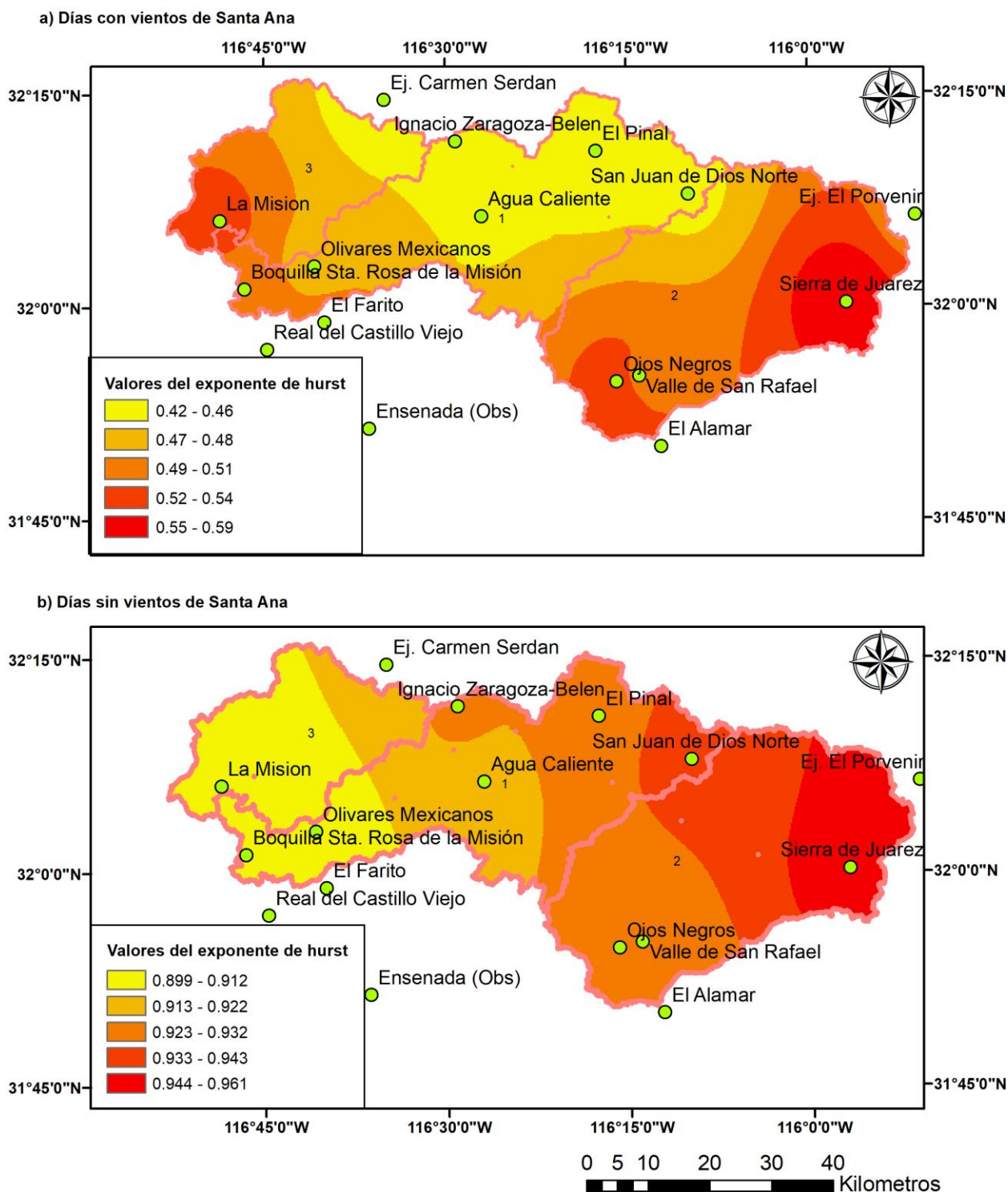
ANEXO M. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de exponentes de hurst de la presión



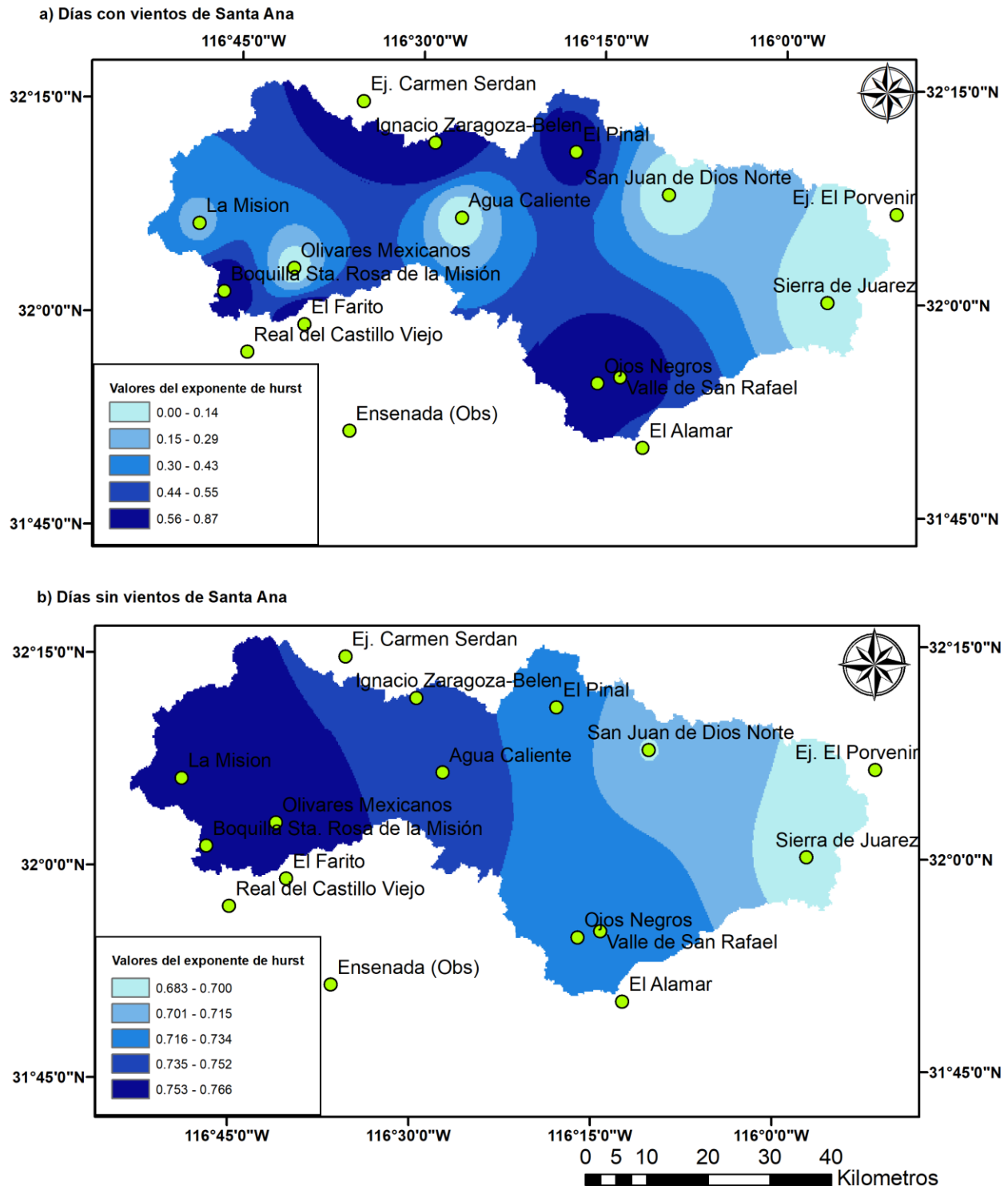
ANEXO N. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de exponentes de Hurst de la temperatura



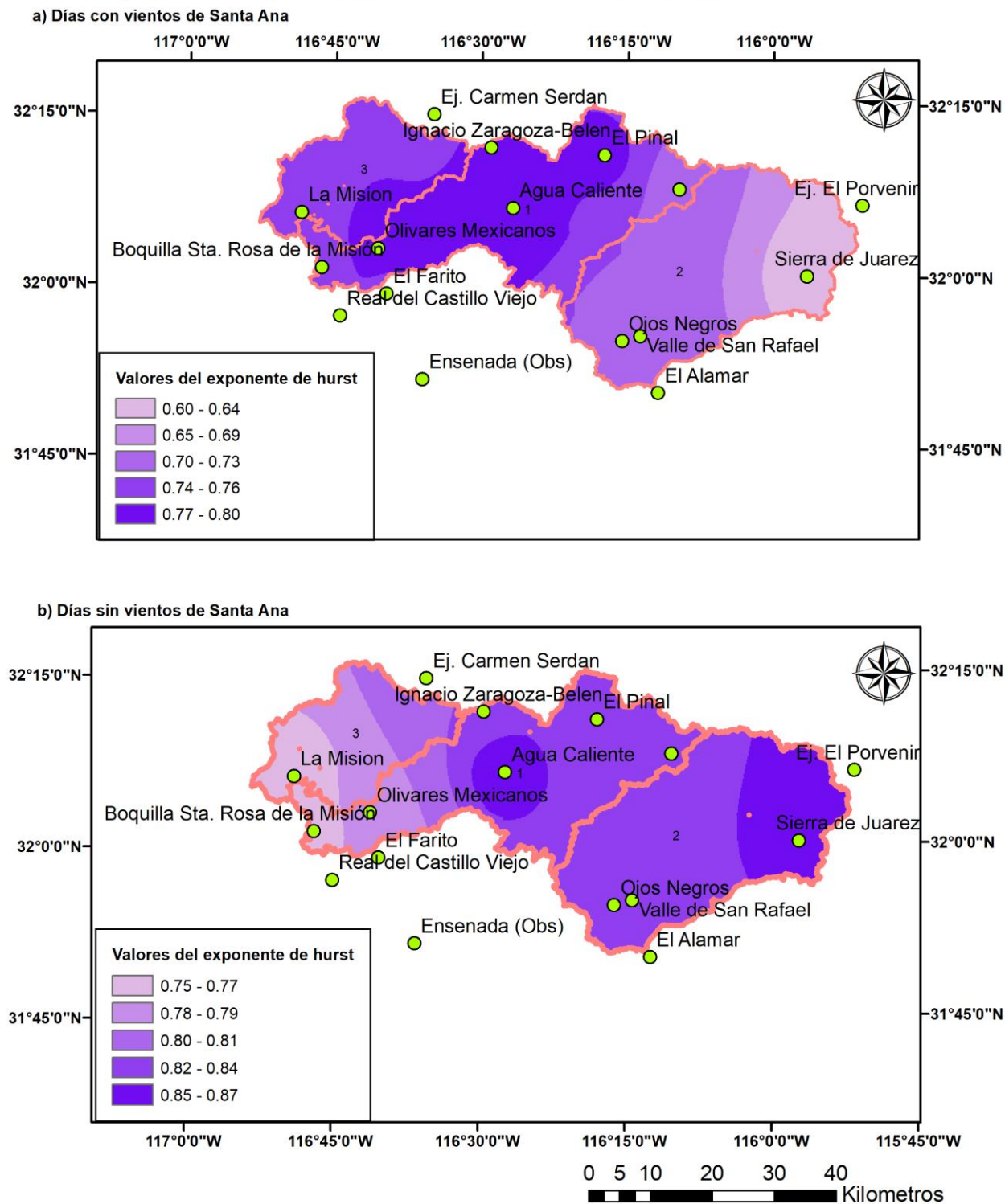
ANEXO O. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA PRECIPITACIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de exponentes de Hurst de la precipitación



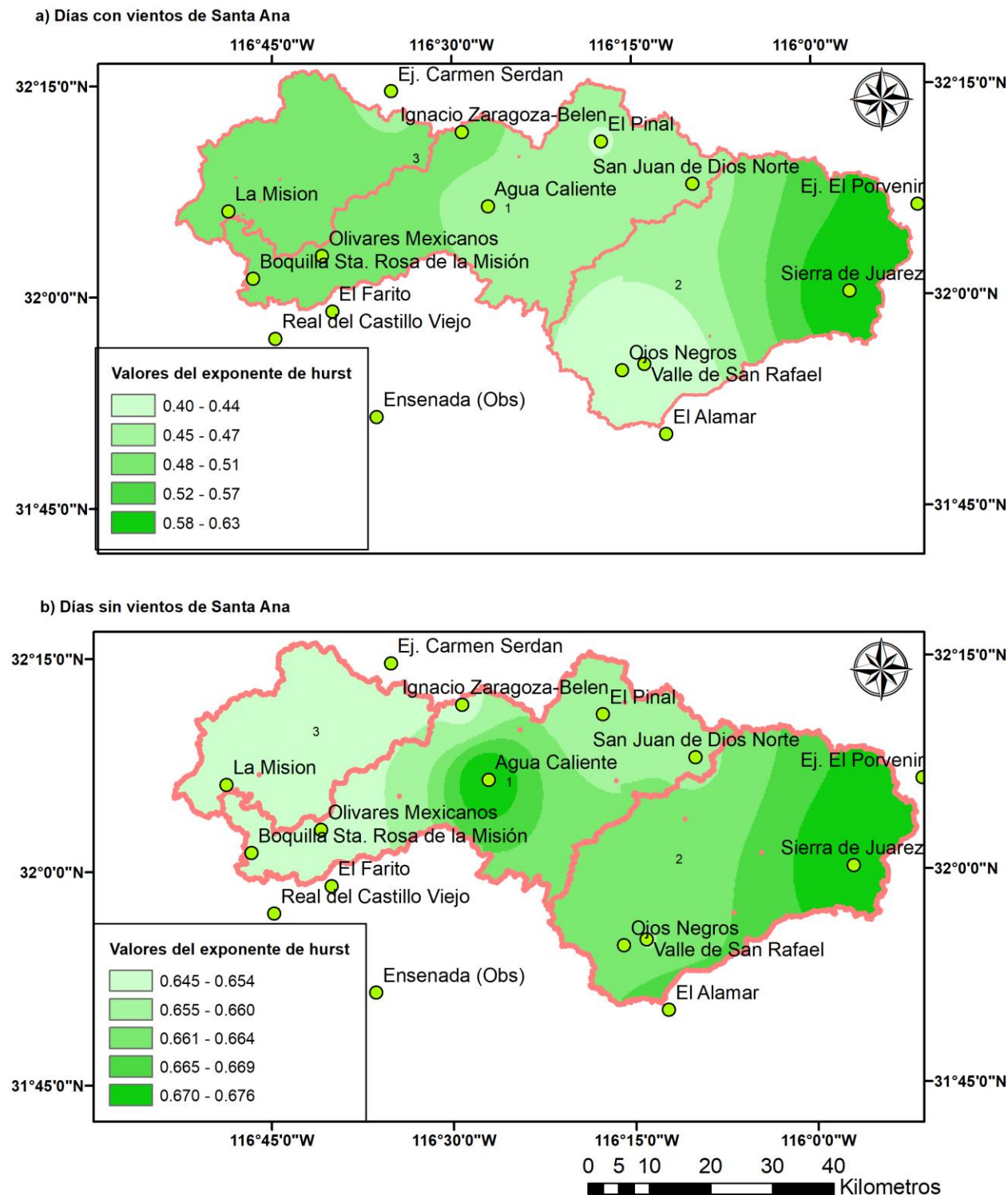
ANEXO P. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de exponentes de Hurst de la humedad relativa



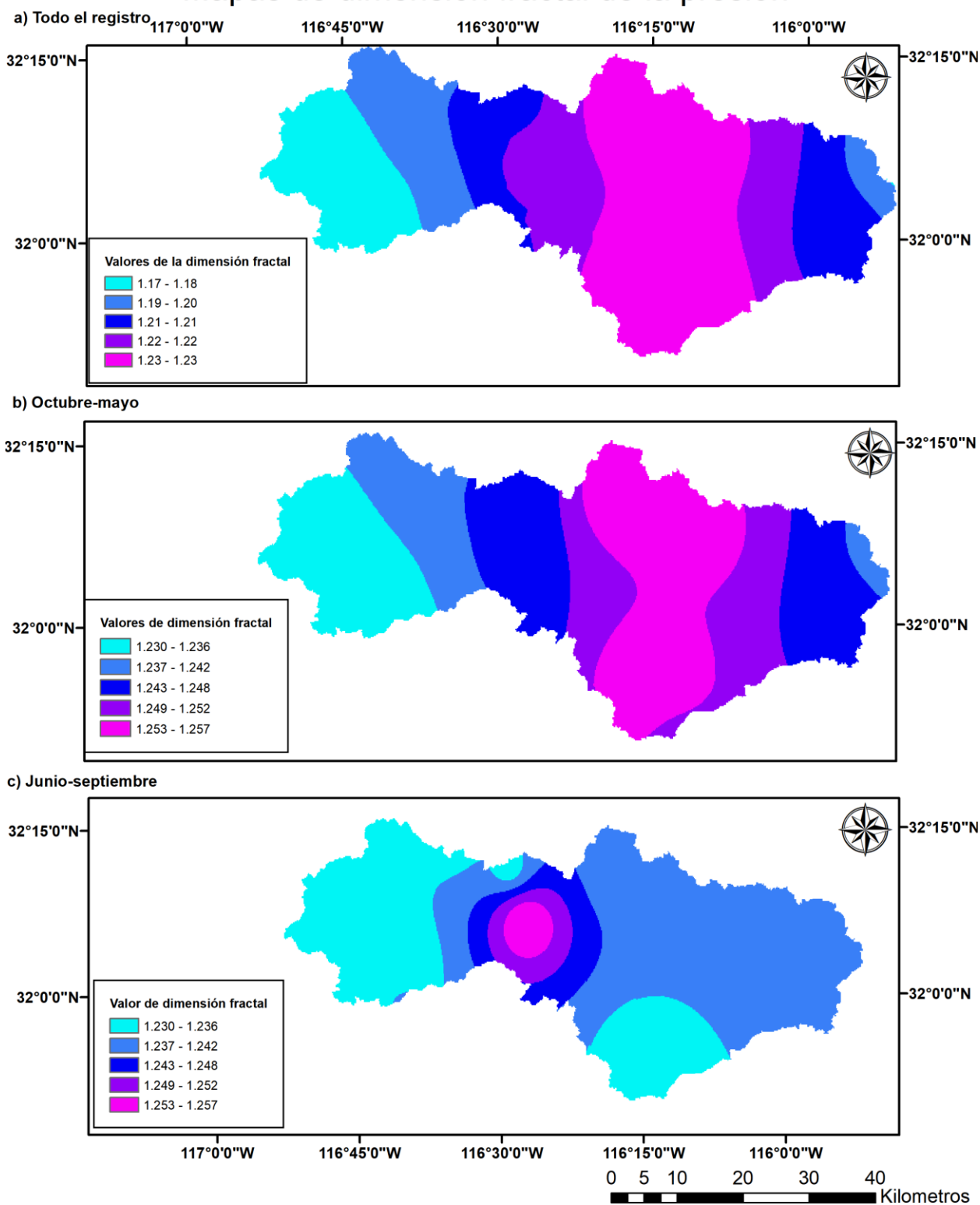
ANEXO Q. MAPA DE EXPONENTE DE HURST DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de exponentes de Hurst de la velocidad del viento



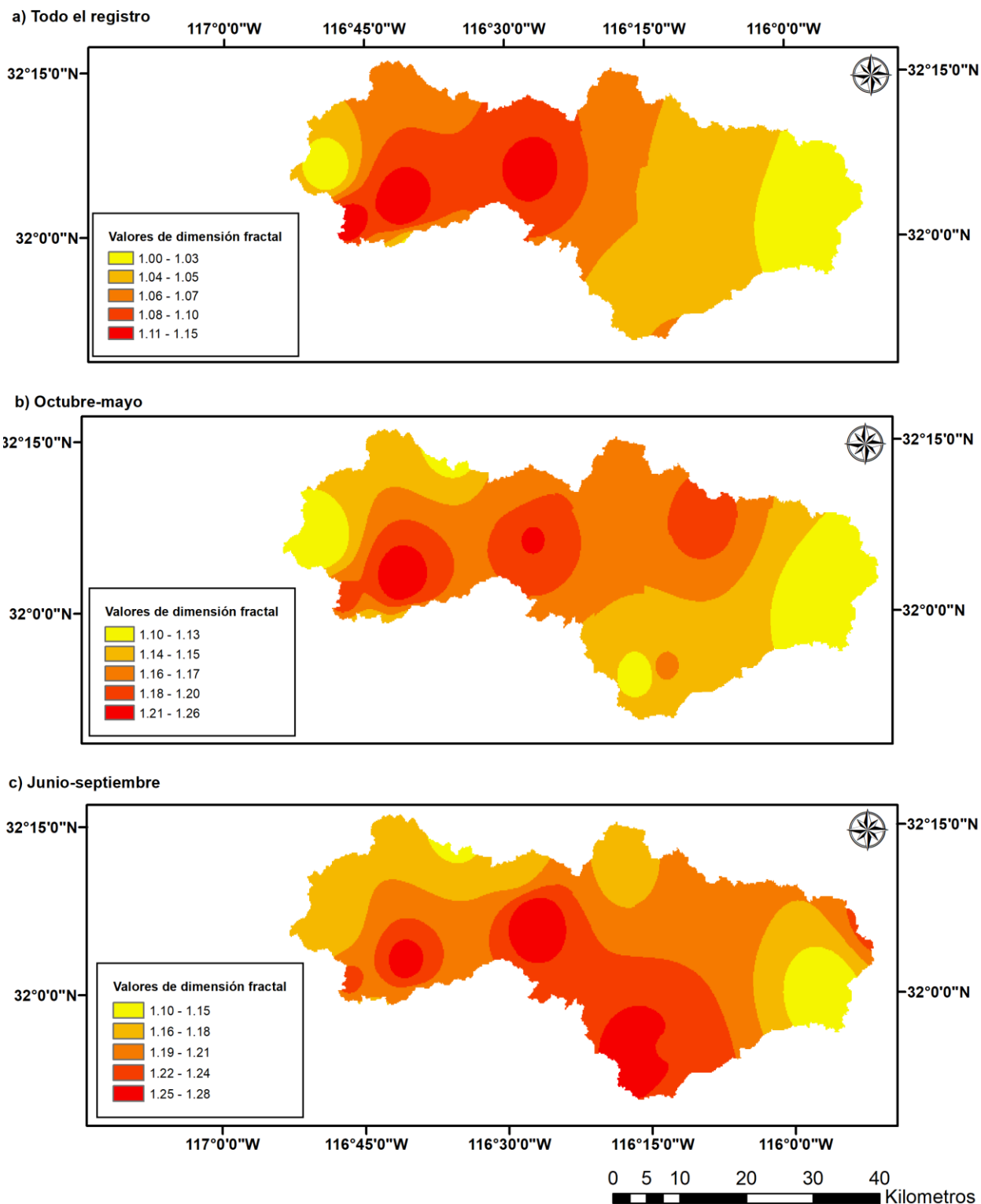
ANEXO R. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRESIÓN

Mapas de dimensión fractal de la presión



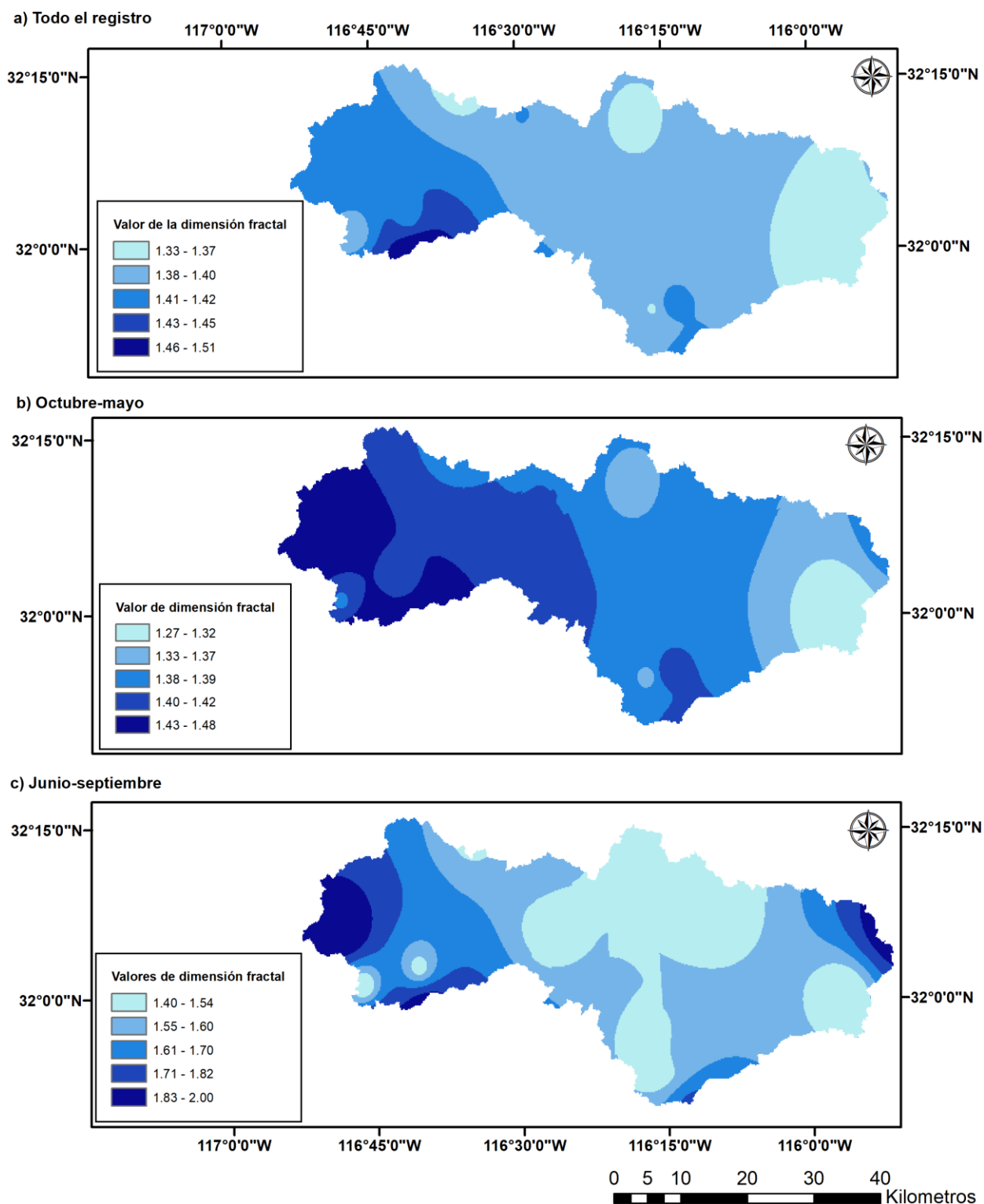
ANEXO S. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA TEMPERATURA

Mapas de dimensión fractal de la temperatura



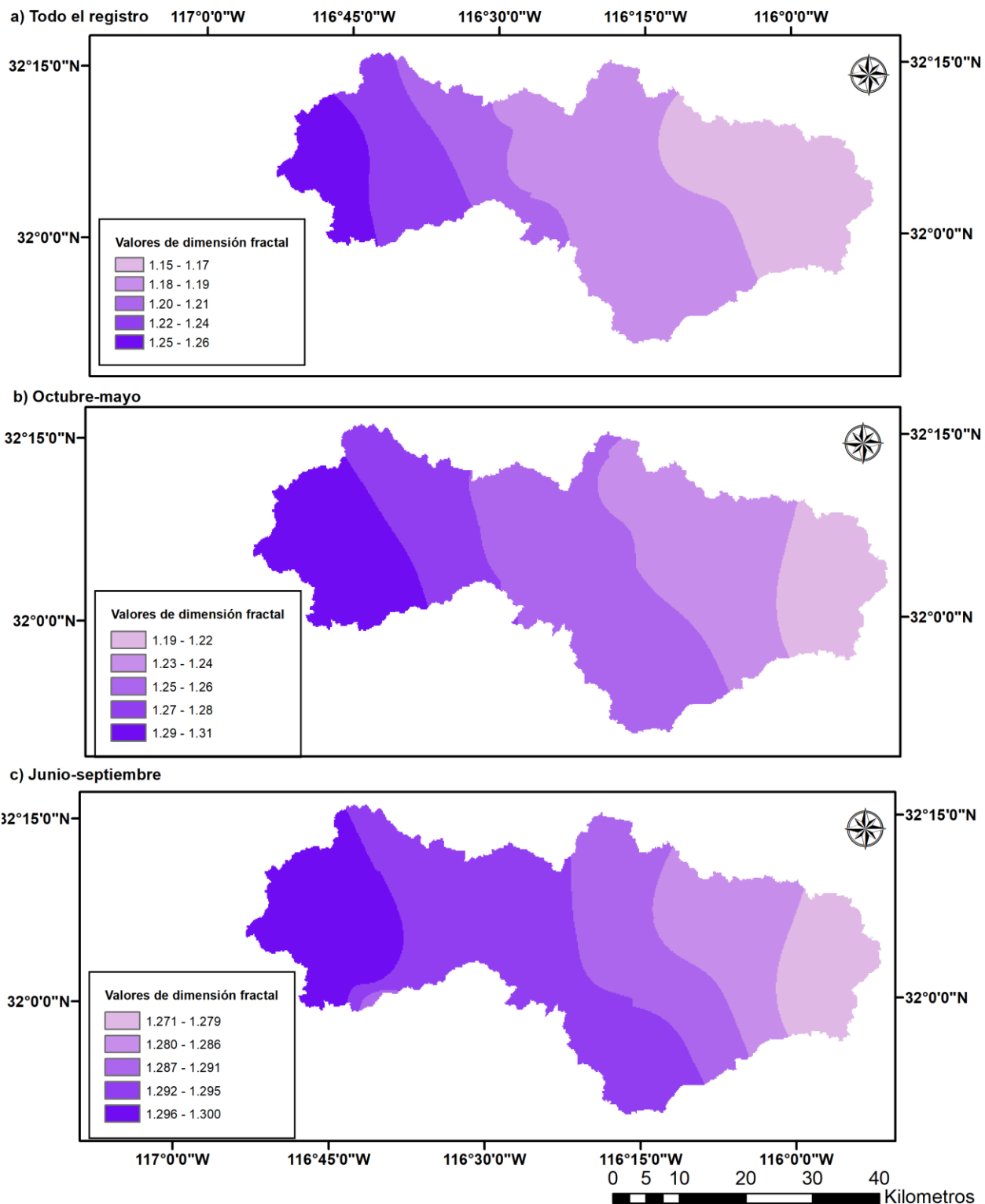
ANEXO T. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRECIPITACIÓN

Mapas de dimensión fractal de la precipitación



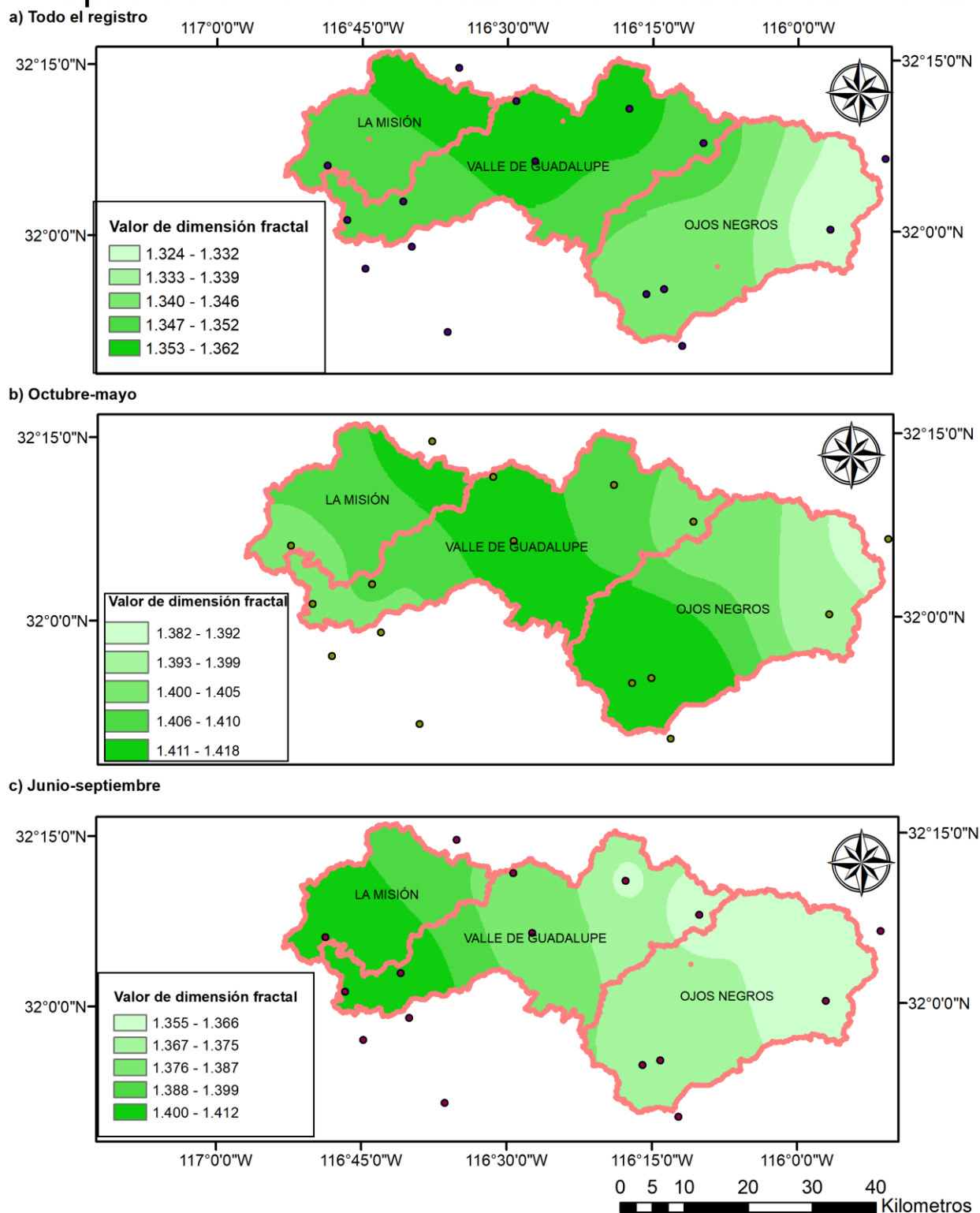
ANEXO U. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA HUMEDAD RELATIVA

Mapas de dimensión fractal de la humedad relativa



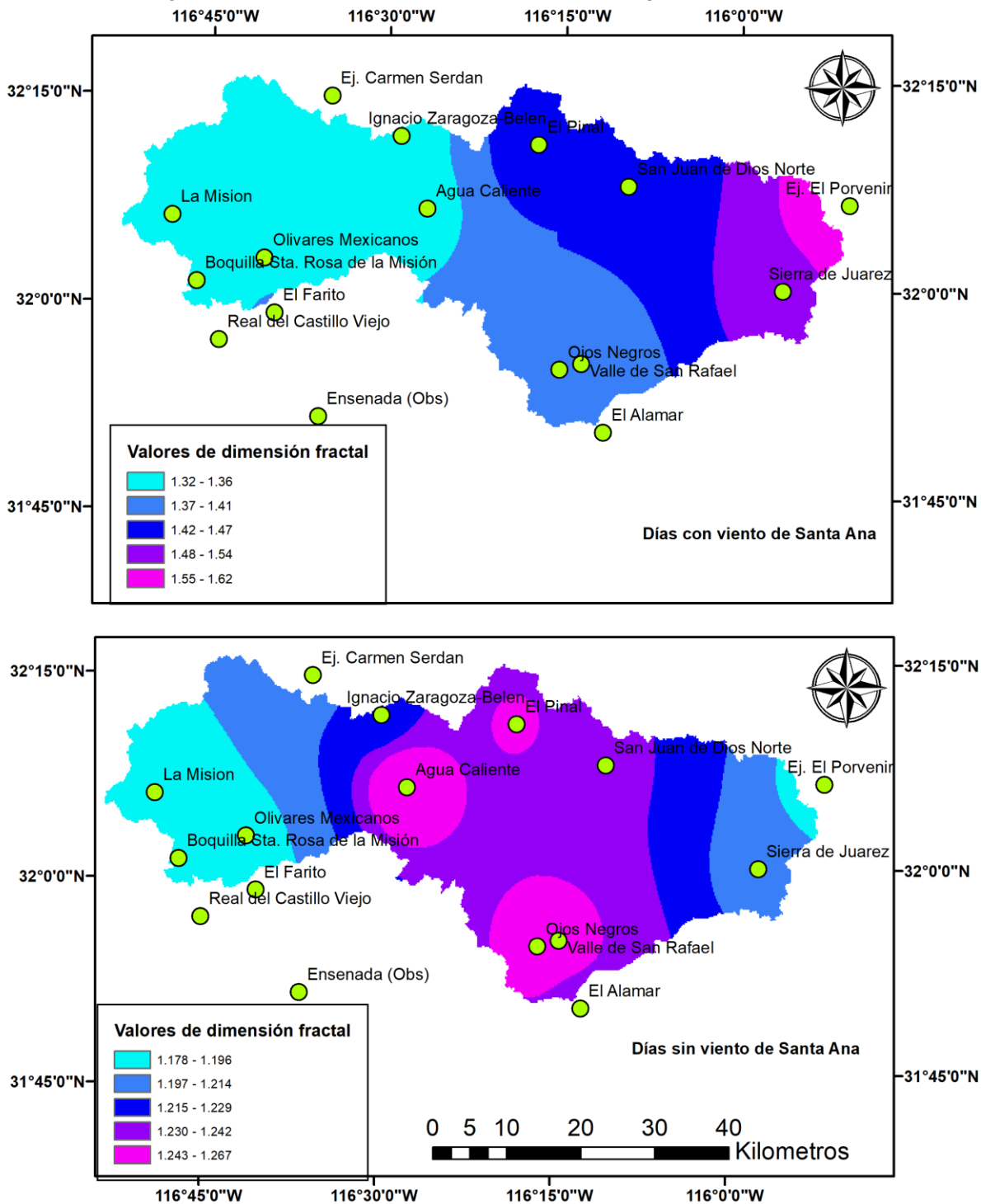
ANEXO V. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Mapas de dimensión fractal de la velocidad del viento



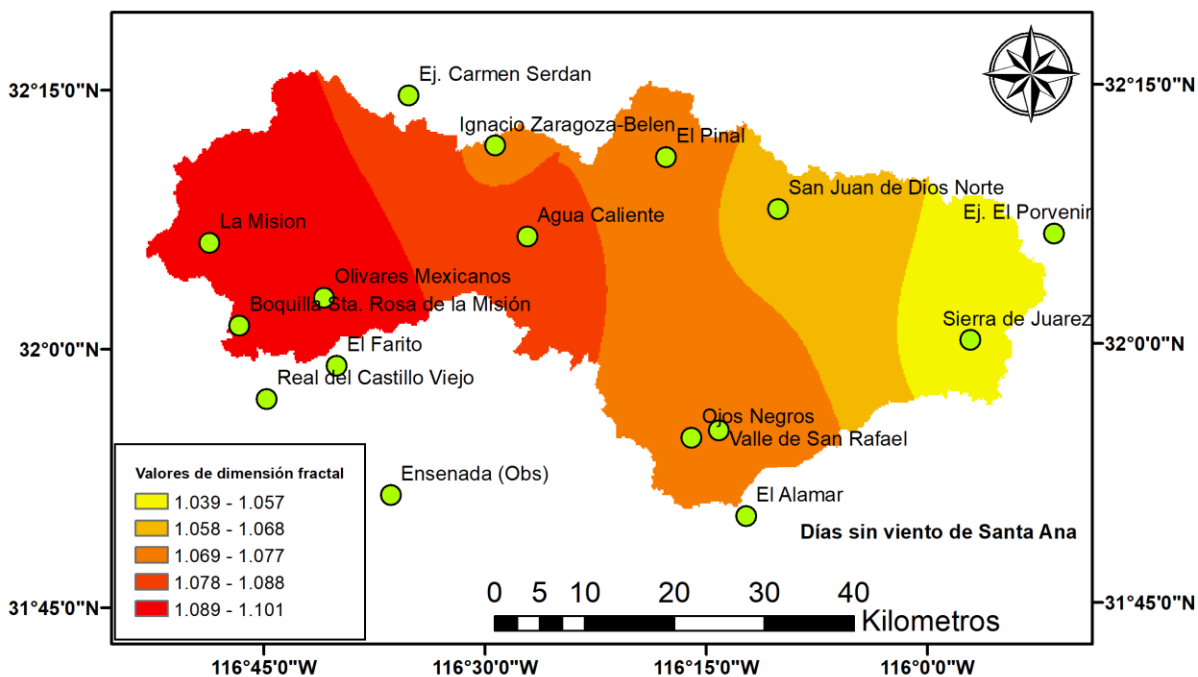
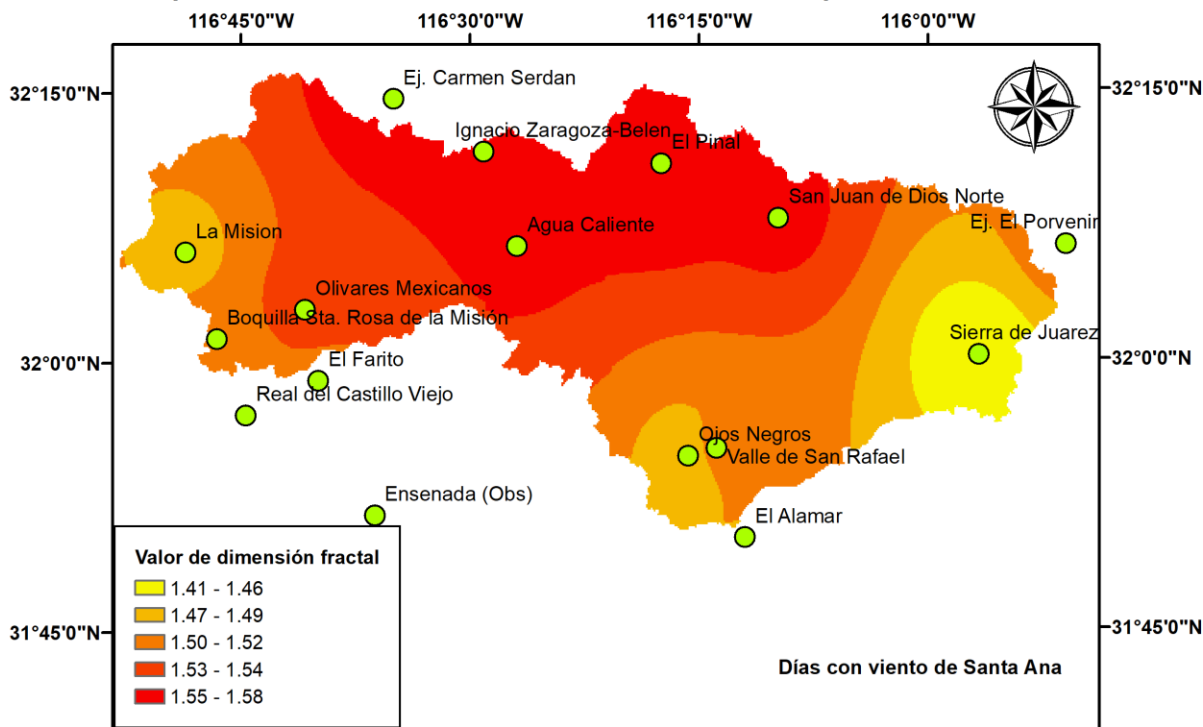
ANEXO W. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de dimensión fractal de la presión diaria



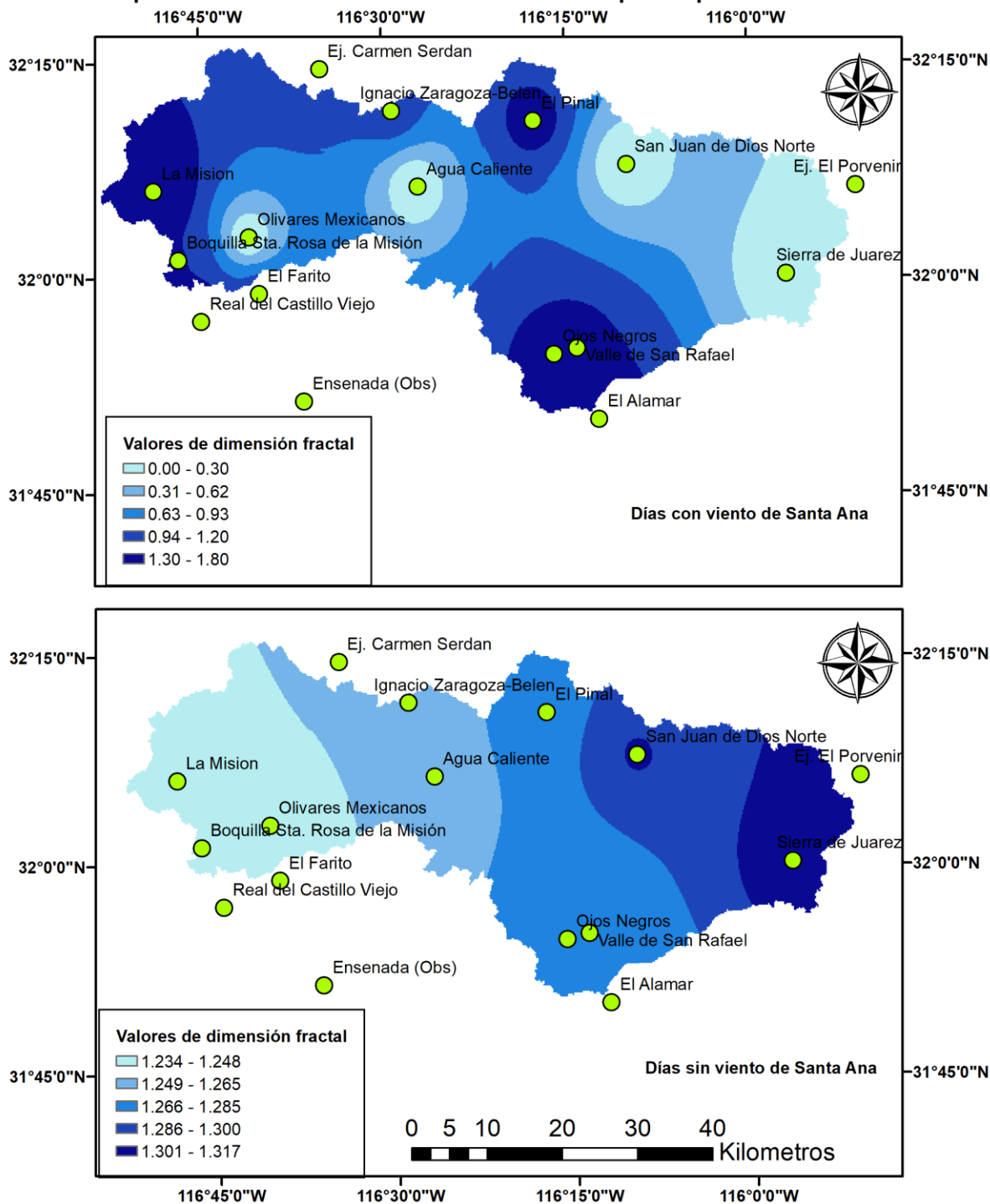
ANEXO X. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de dimensión fractal de la temperatura diaria



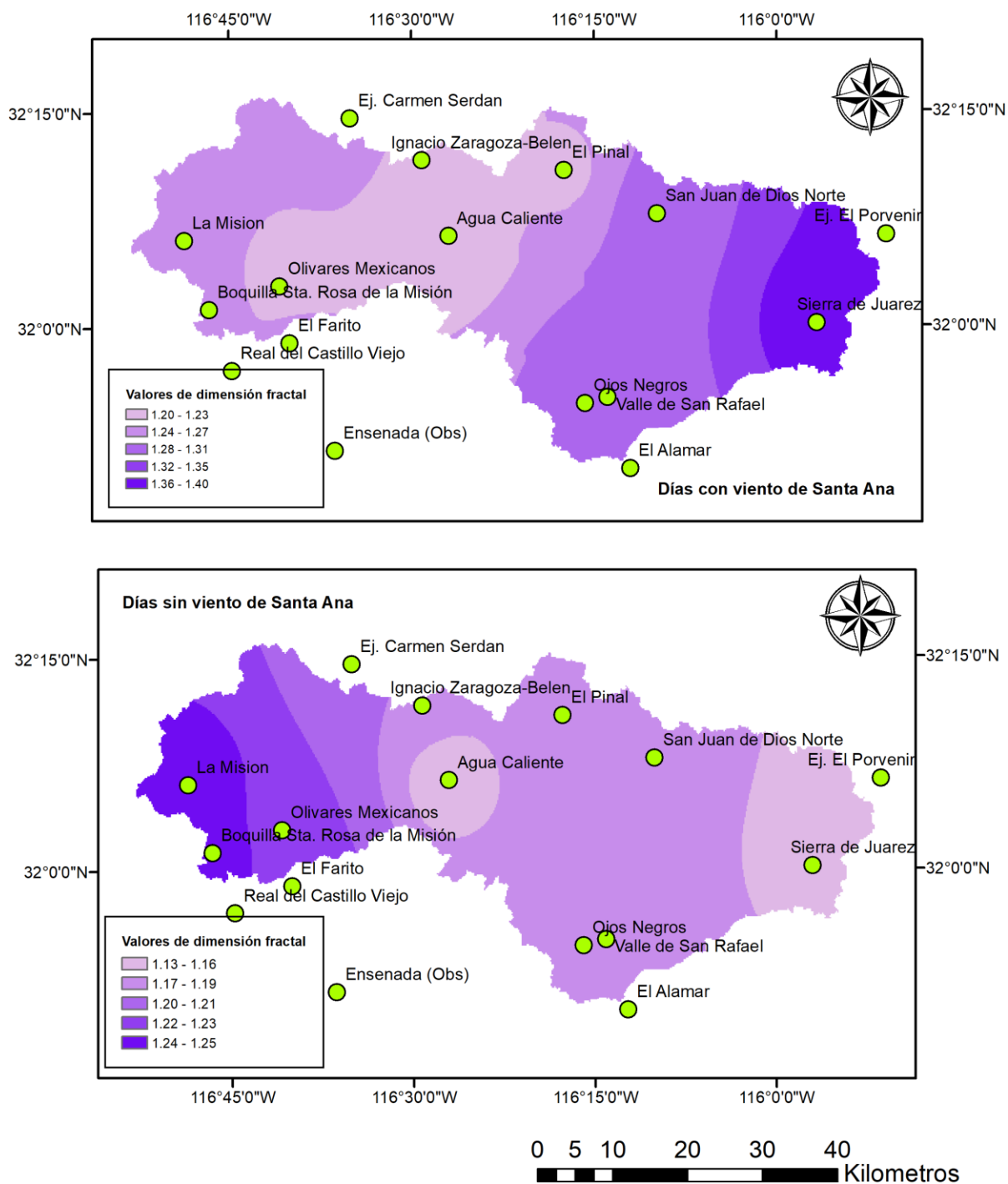
ANEXO Y. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de dimensión fractal de la precipitación diaria



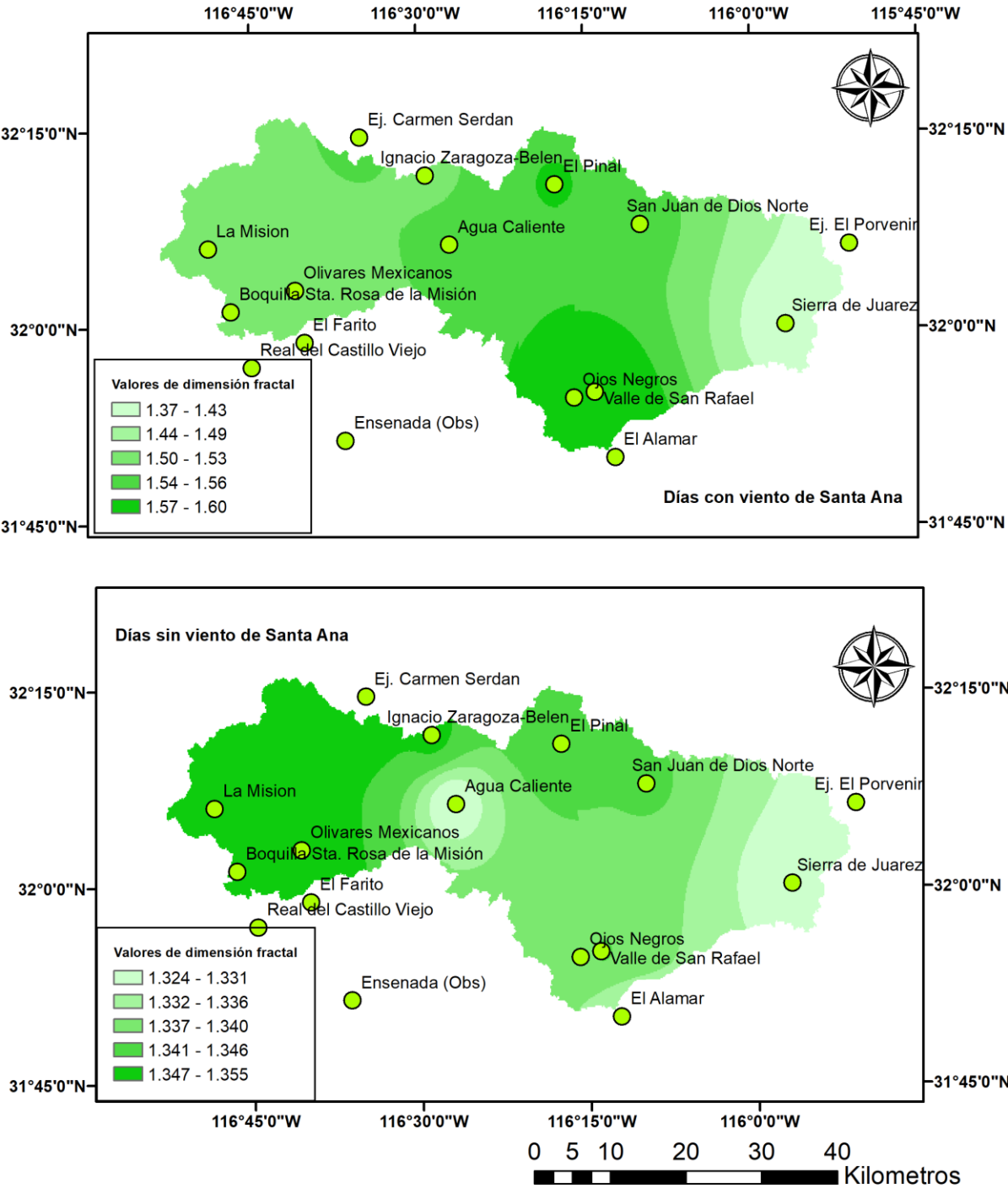
ANEXO Z. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de dimensión fractal de la humedad relativa diaria



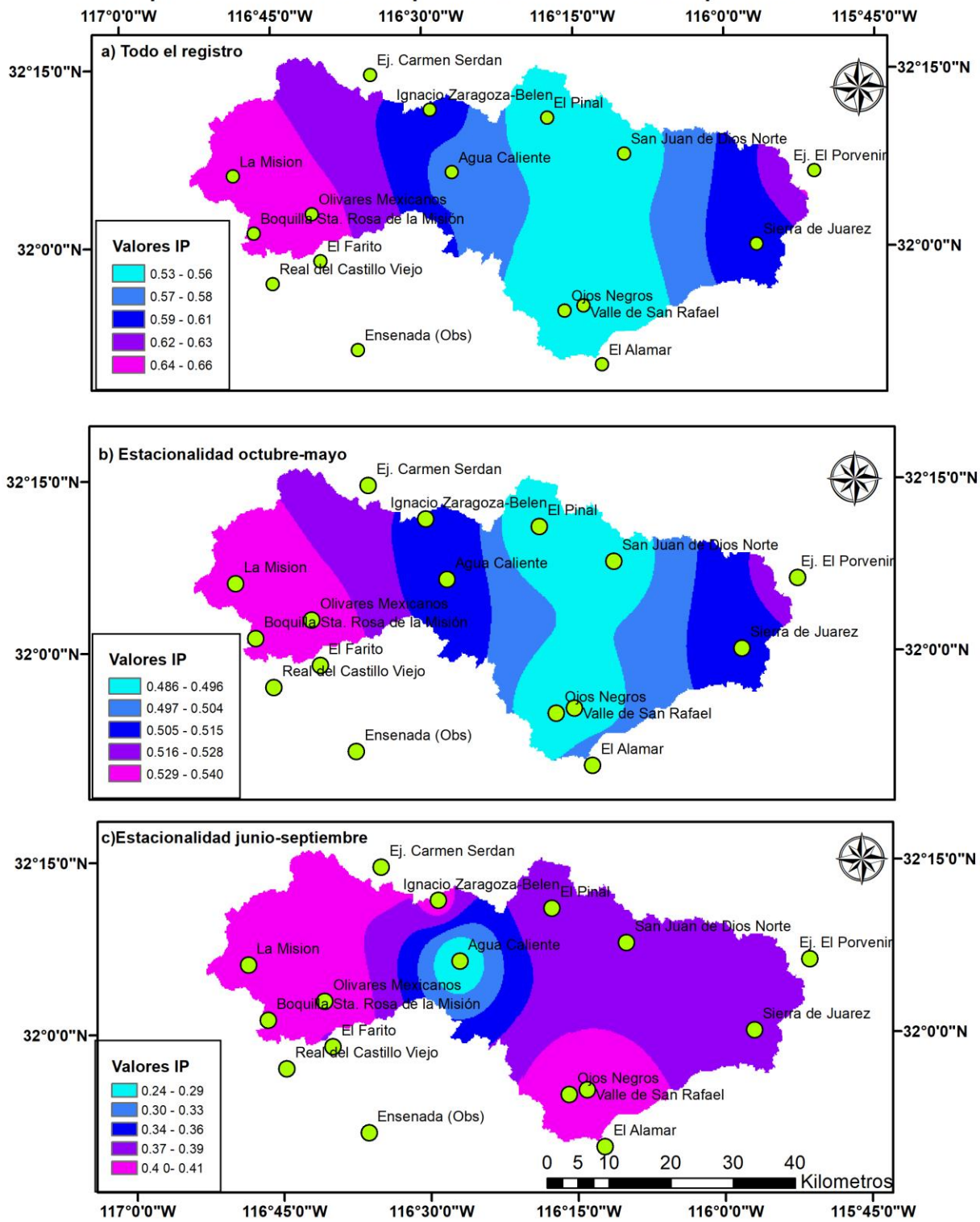
ANEXO AA. MAPA DE DIMENSIÓN FRACTAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA
DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de dimensión fractal de la velocidad viento diaria



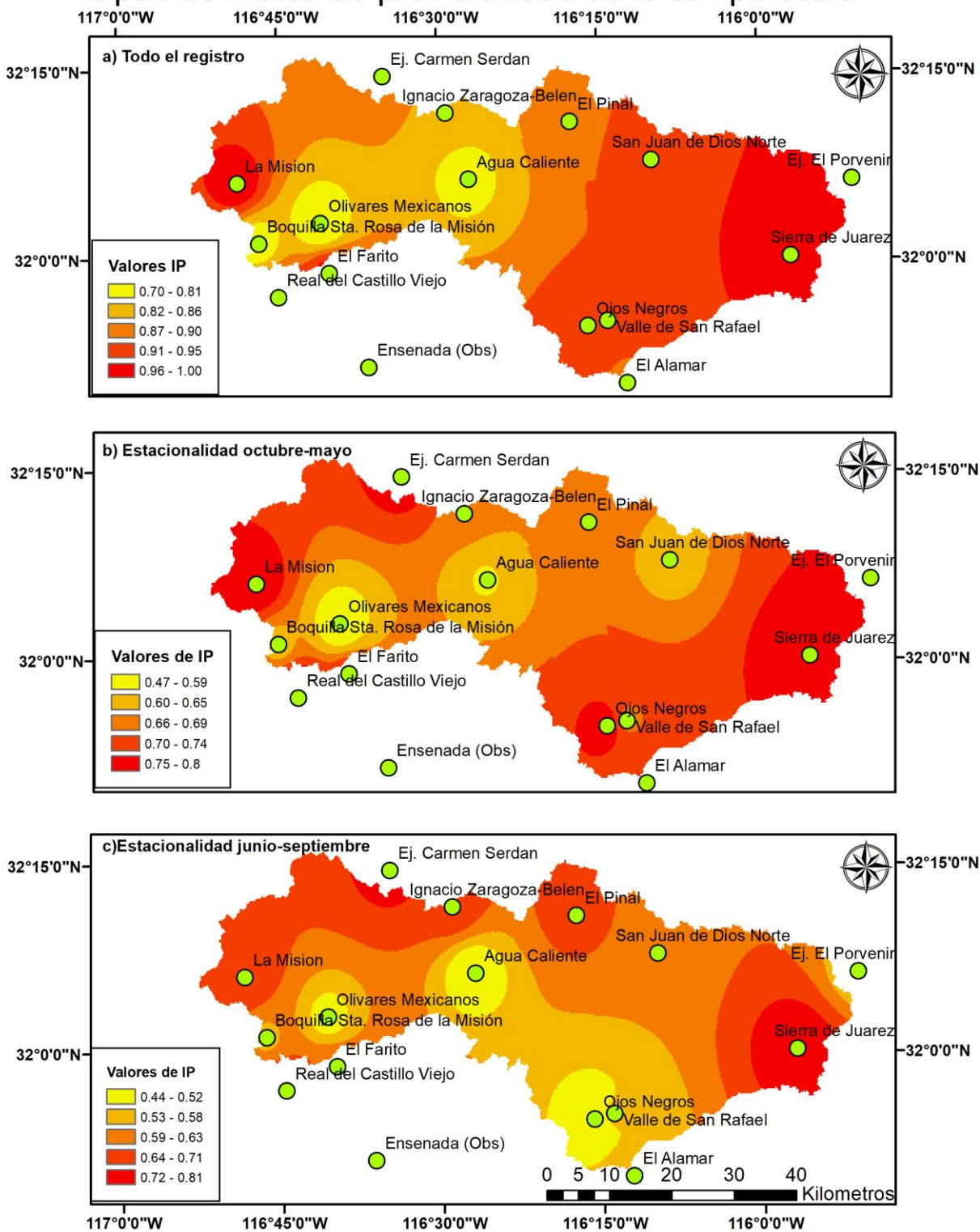
ANEXO BB. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRESIÓN

Mapas de Índice de previsibilidad de la presión



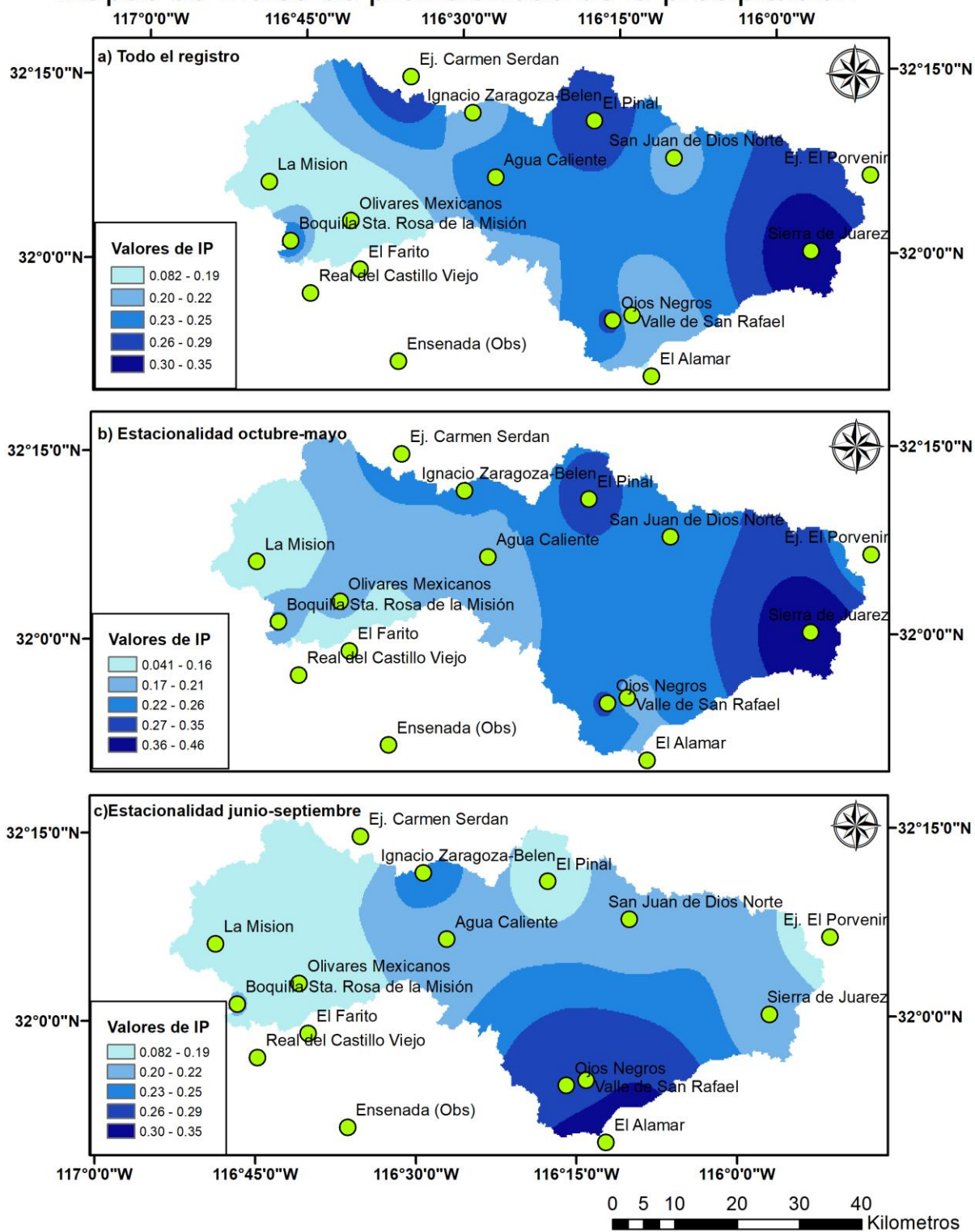
ANEXO CC. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA TEMPERATURA

Mapas de Índice de previsibilidad de la temperatura



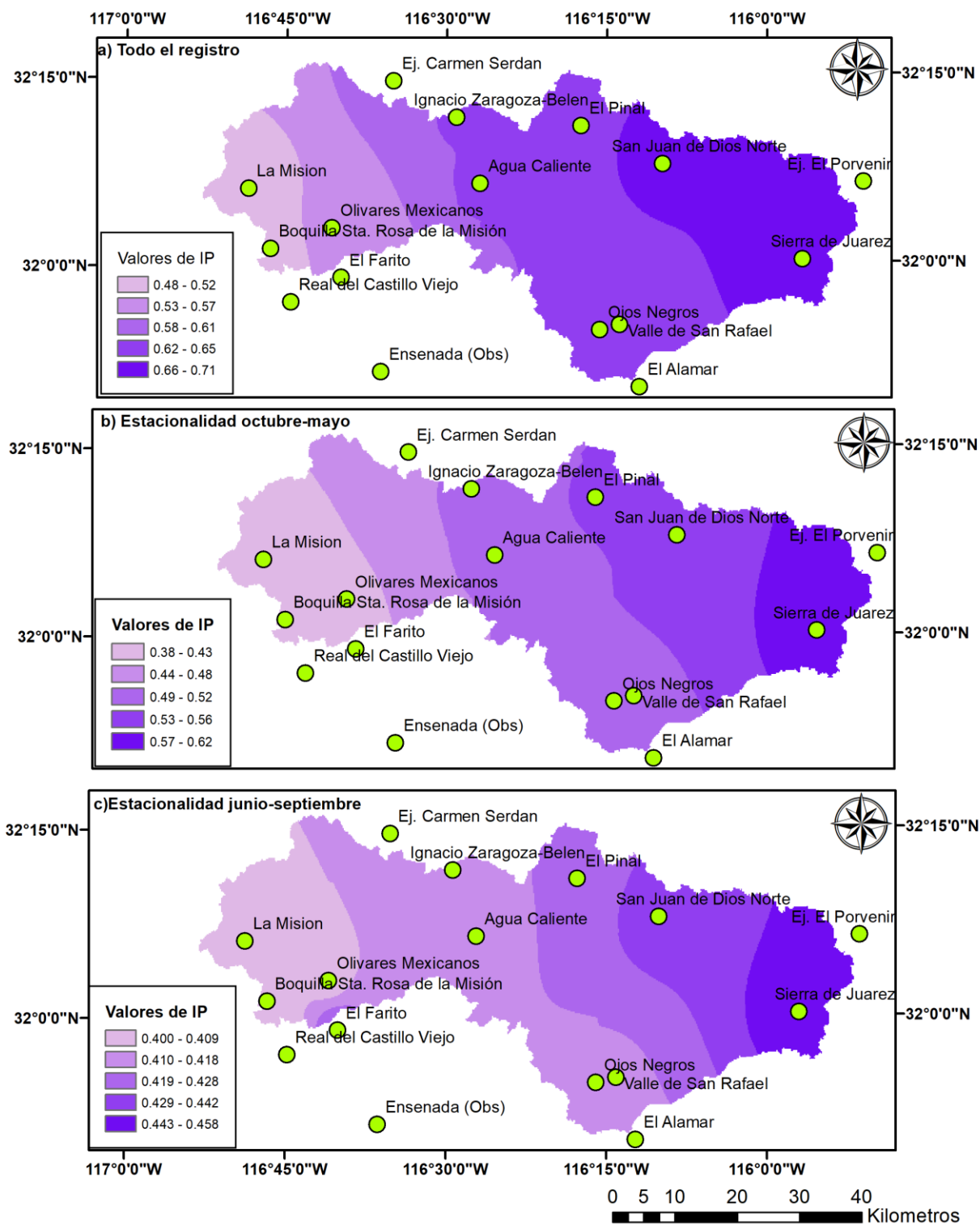
ANEXO DD. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Mapas de Índice de previsibilidad de la precipitación



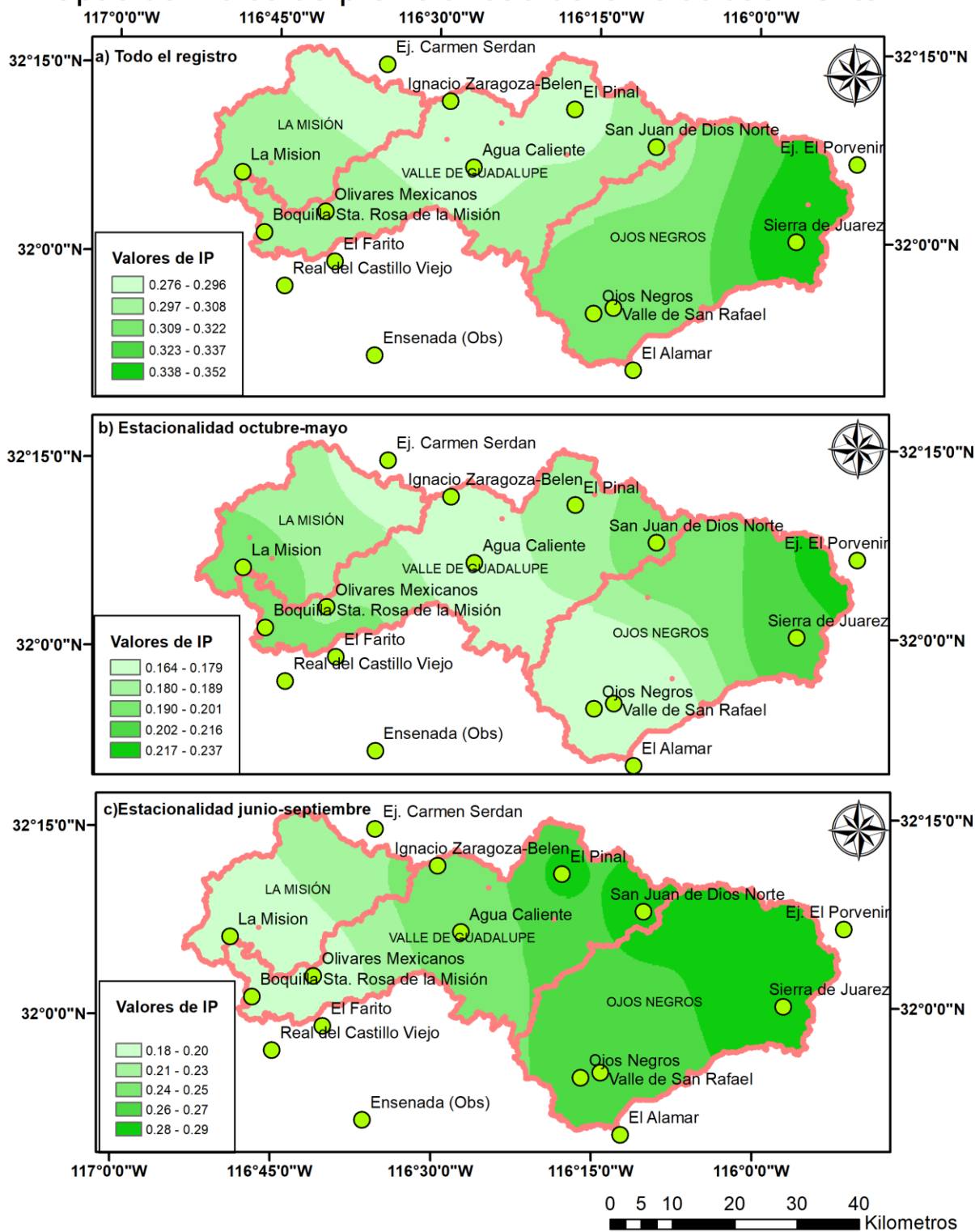
ANEXO EE. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA HUMEDAD RELATIVA

Mapas de Índice de previsibilidad de la humedad relativa



ANEXO FF. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

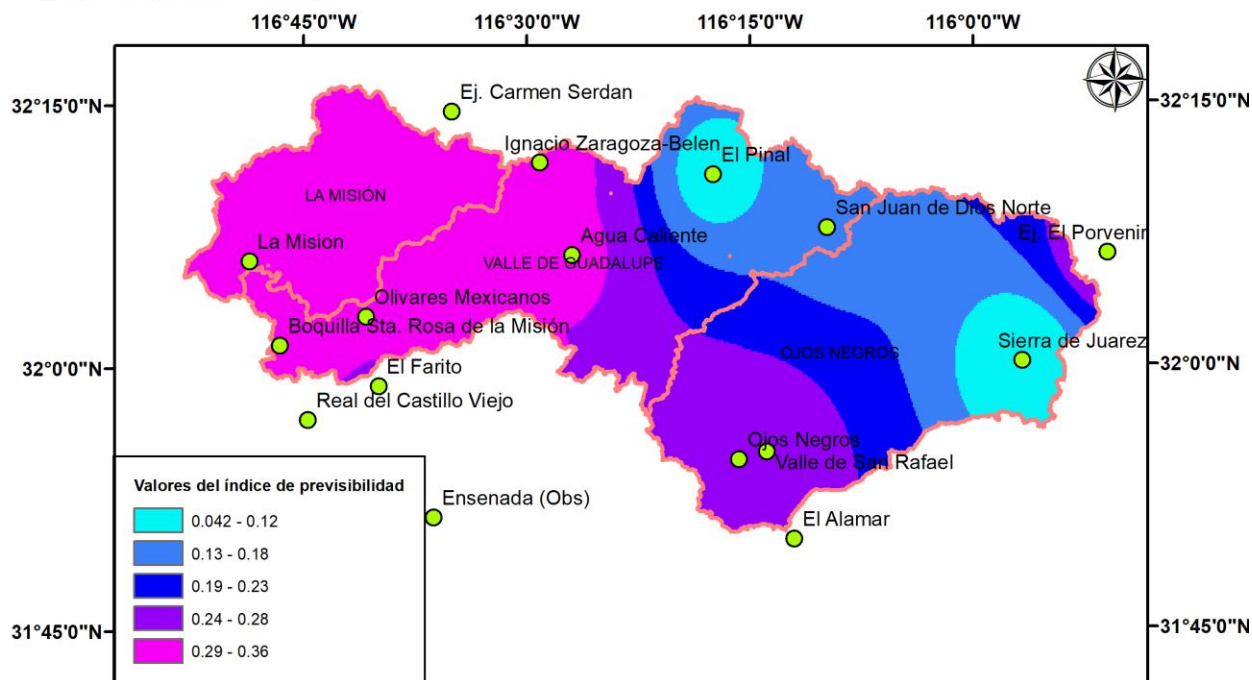
Mapas de Índice de previsibilidad de la velocidad viento



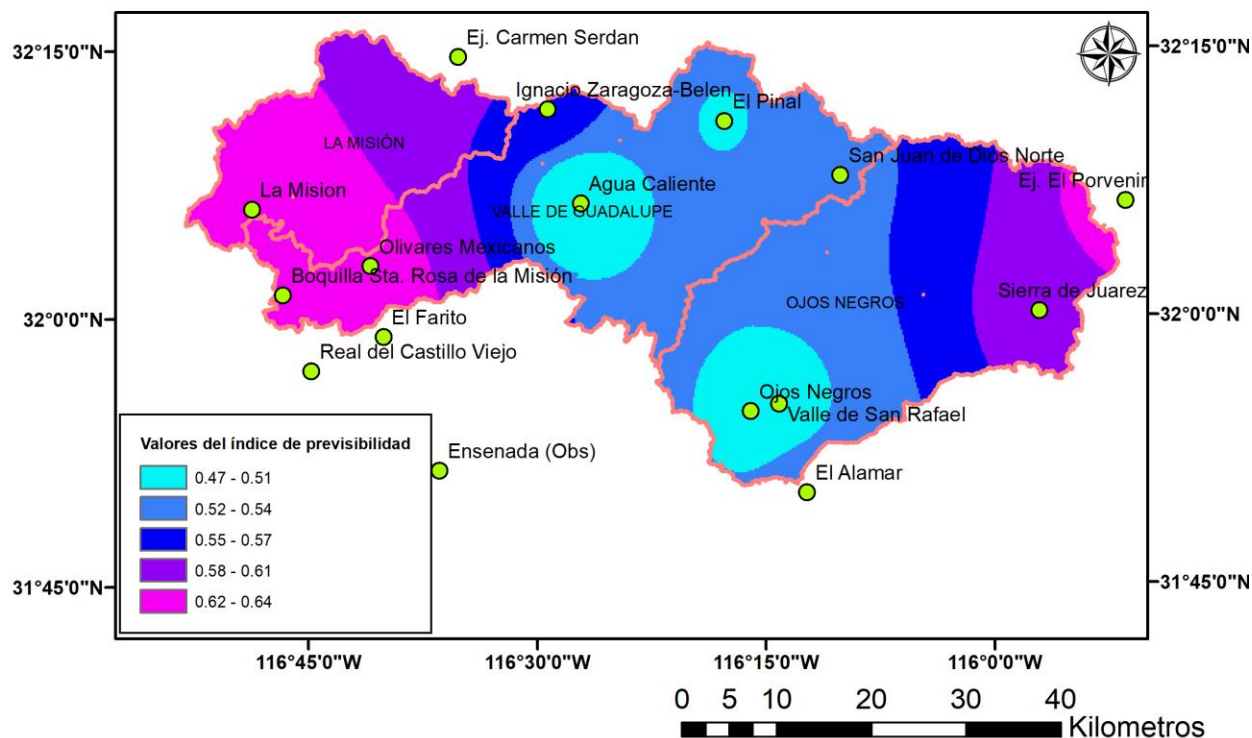
ANEXO GG. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA PRESIÓN PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas del Índice de Previsibilidad de la presión

a) Días con viento de Santa Ana

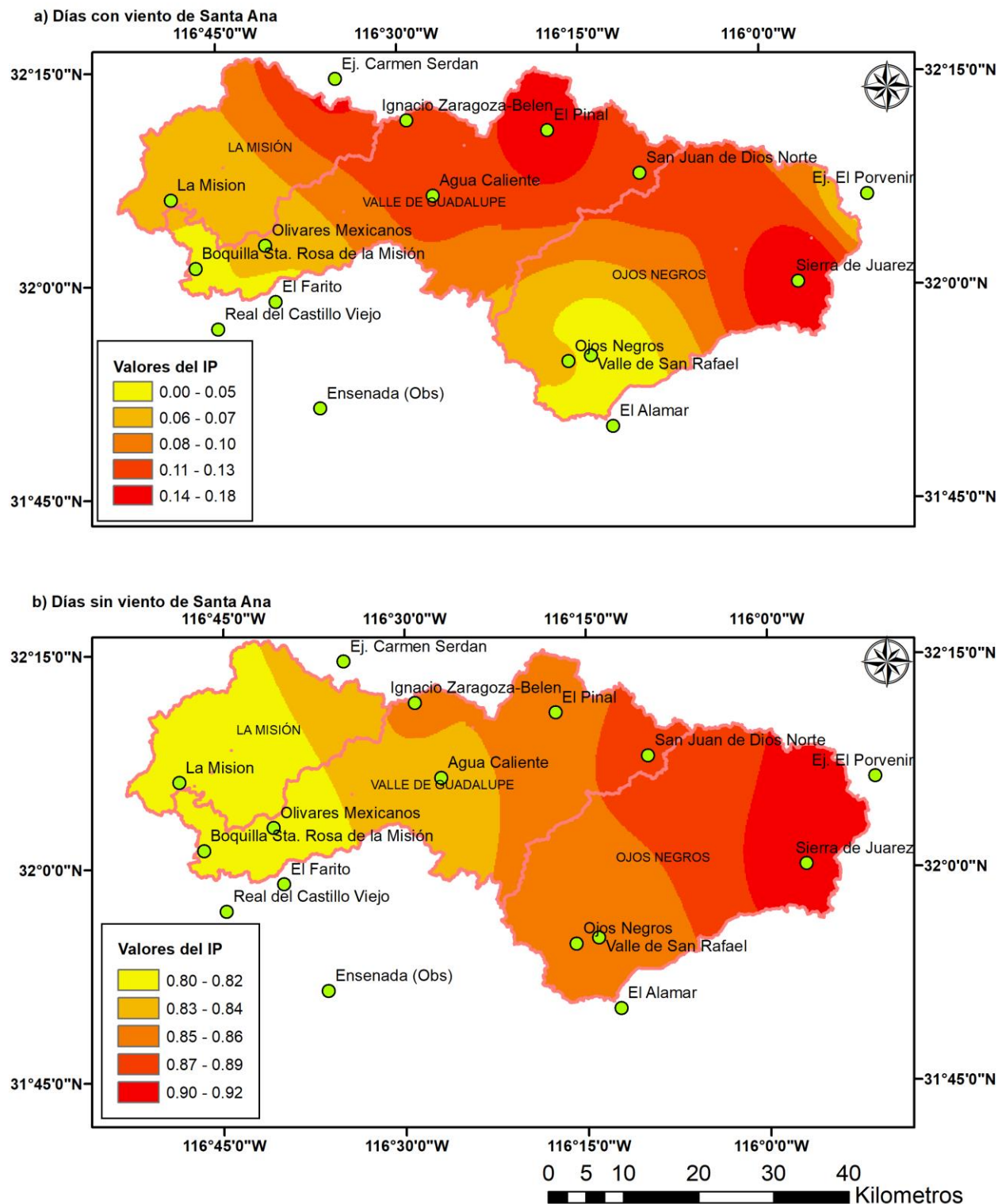


b) Días sin viento de Santa Ana



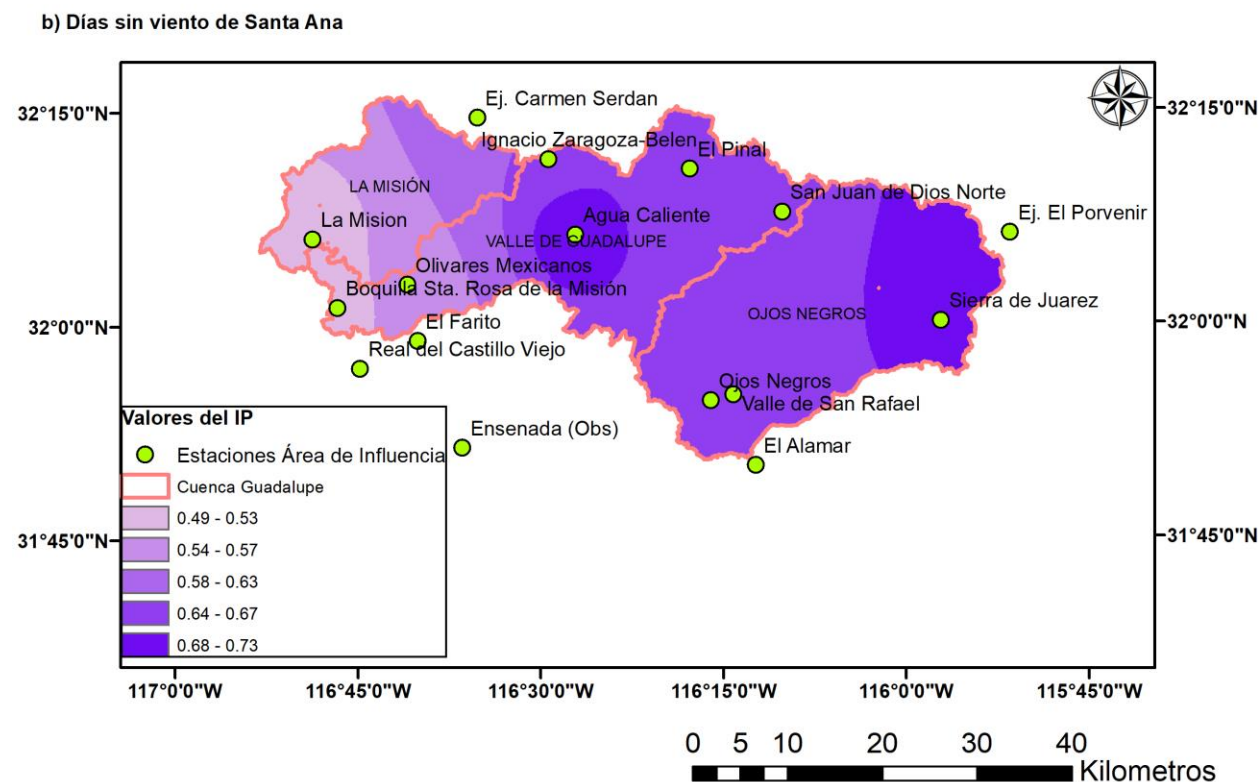
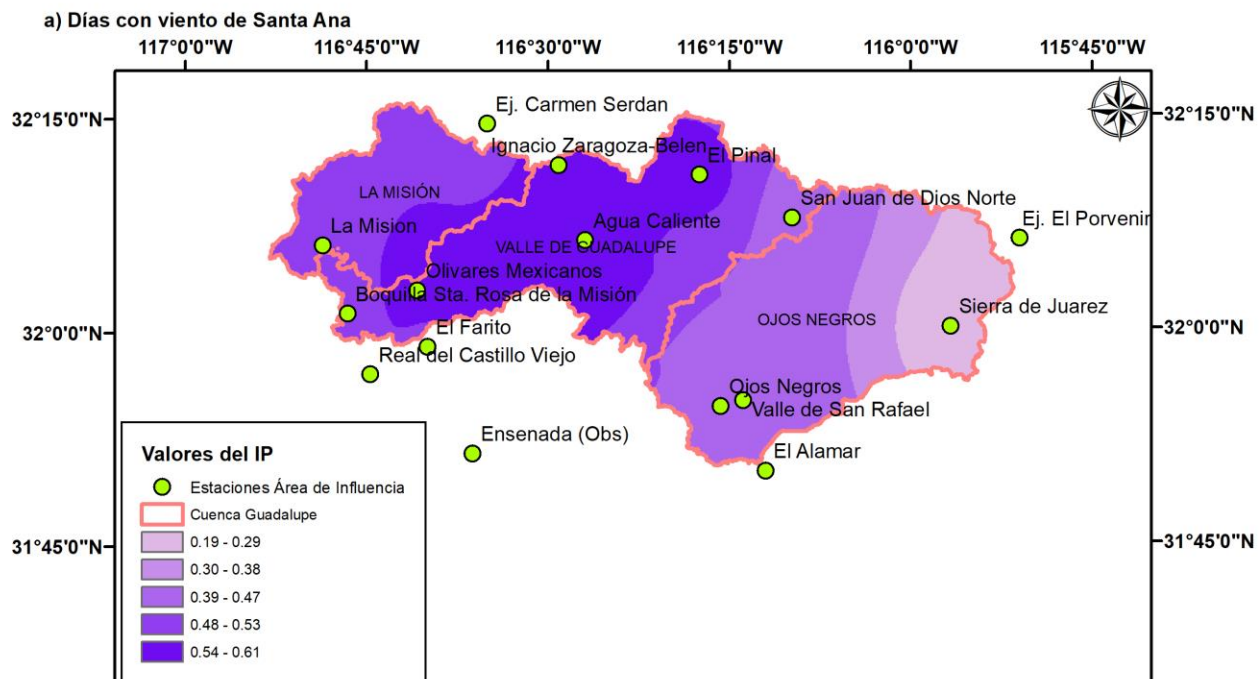
ANEXO HH. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA TEMPERATURA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de Índice de Previsibilidad de la temperatura



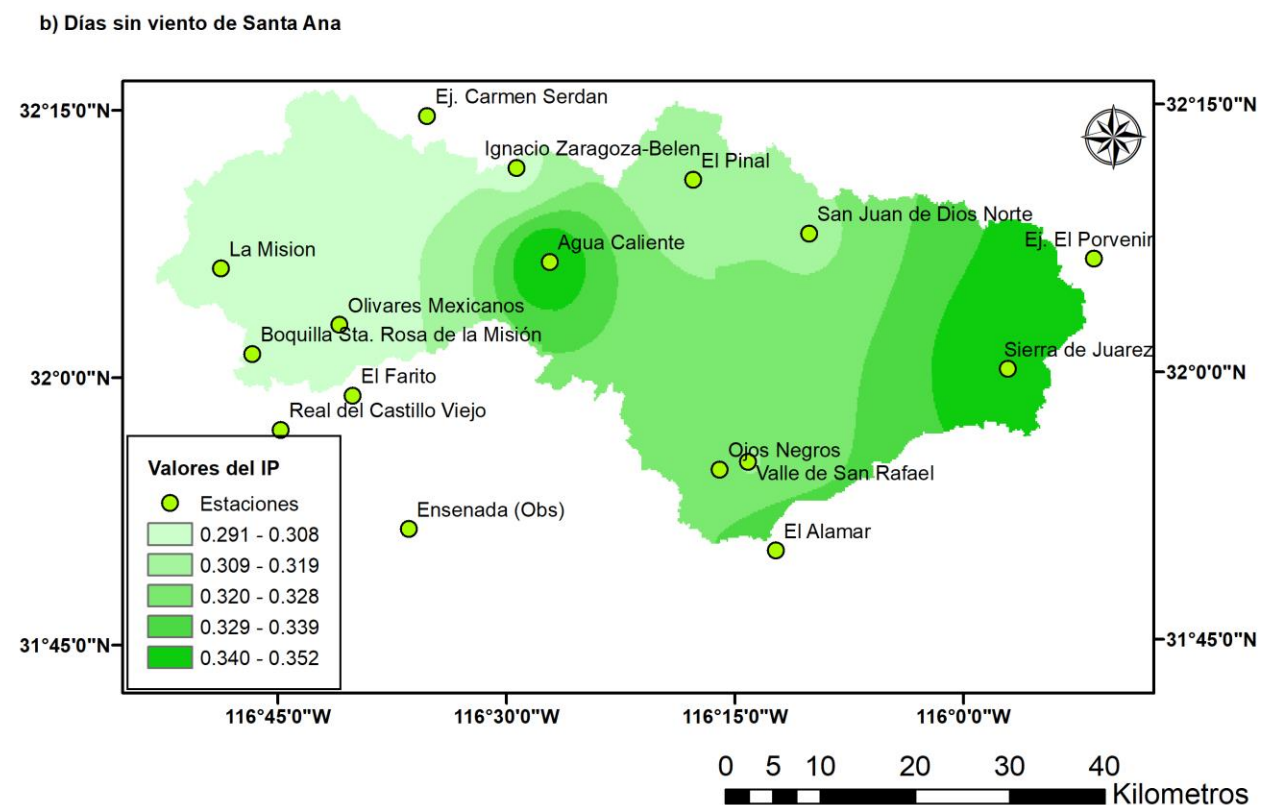
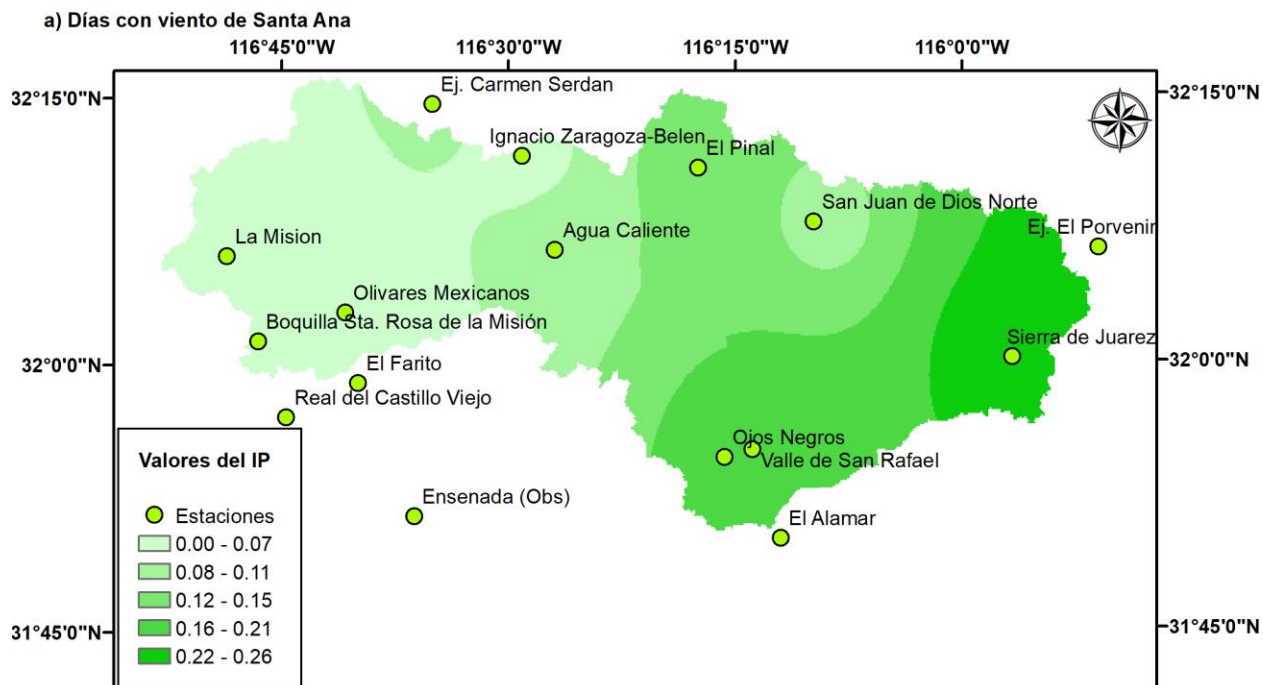
ANEXO II. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de Índice de Previsibilidad de la humedad relativa



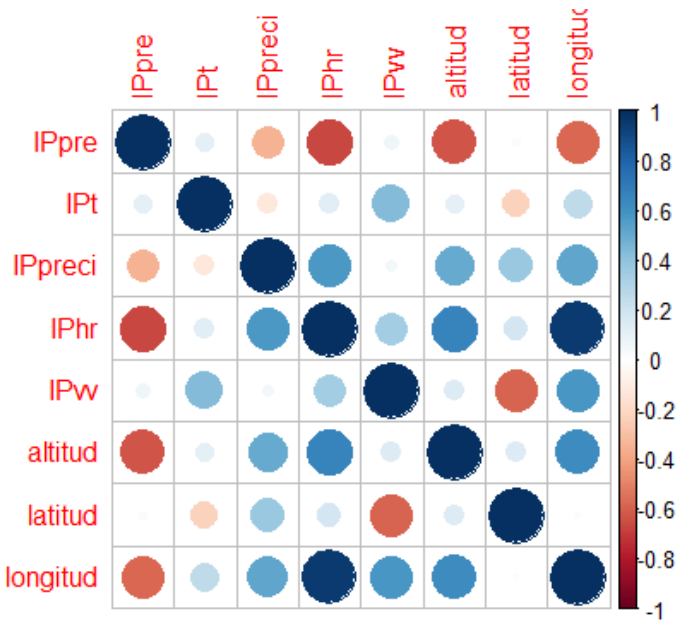
ANEXO JJ. MAPA DE ÍNDICE DE PREVISIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA DÍAS CON VIENTOS DE SANTA ANA Y SIN VIENTOS DE SANTA ANA

Mapas de Índice de Previsibilidad de la velocidad del viento

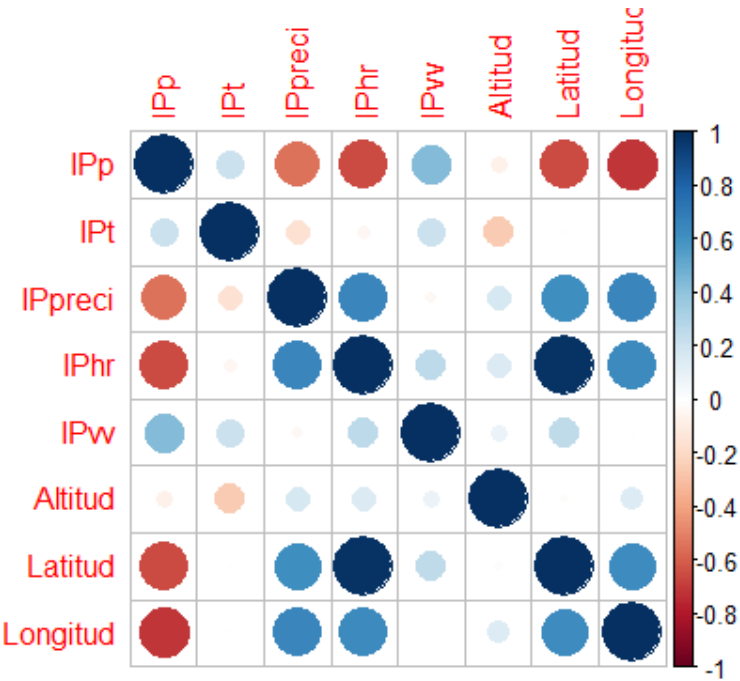


ANEXO KK. MATRIZ DE CORRELACIÓN INDICES DE PREVISIBILIDAD

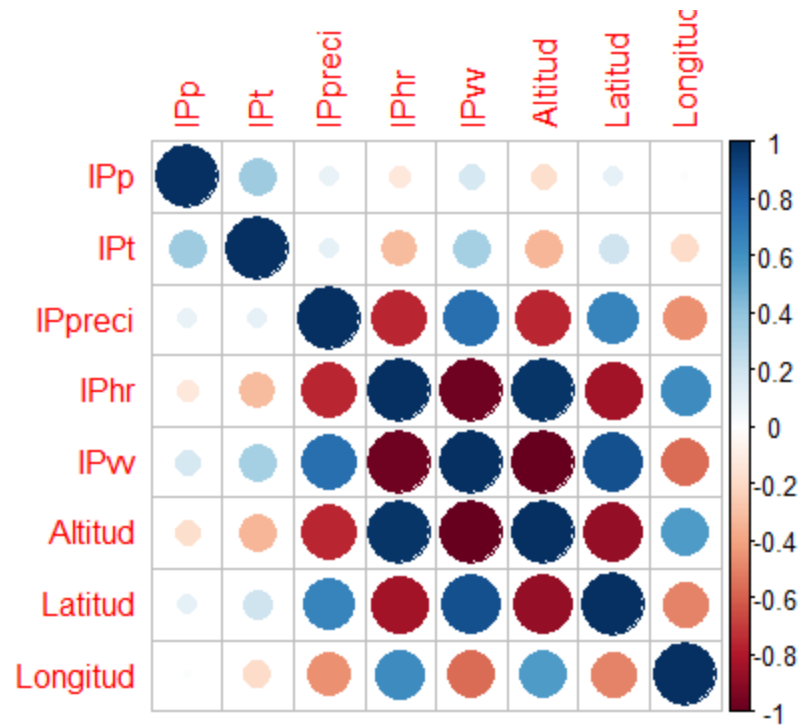
SERIE COMPLETA



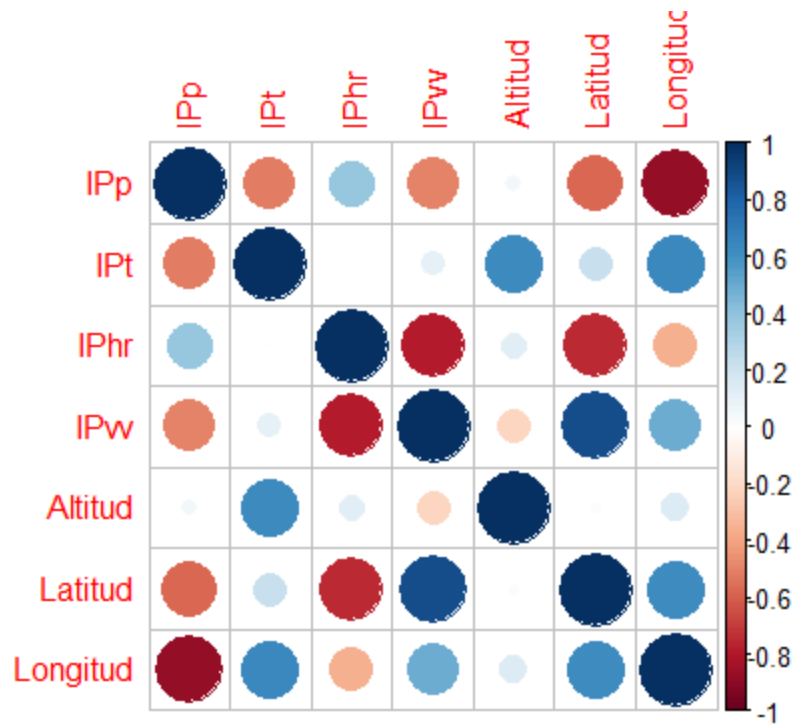
OCTUBRE - MAYO



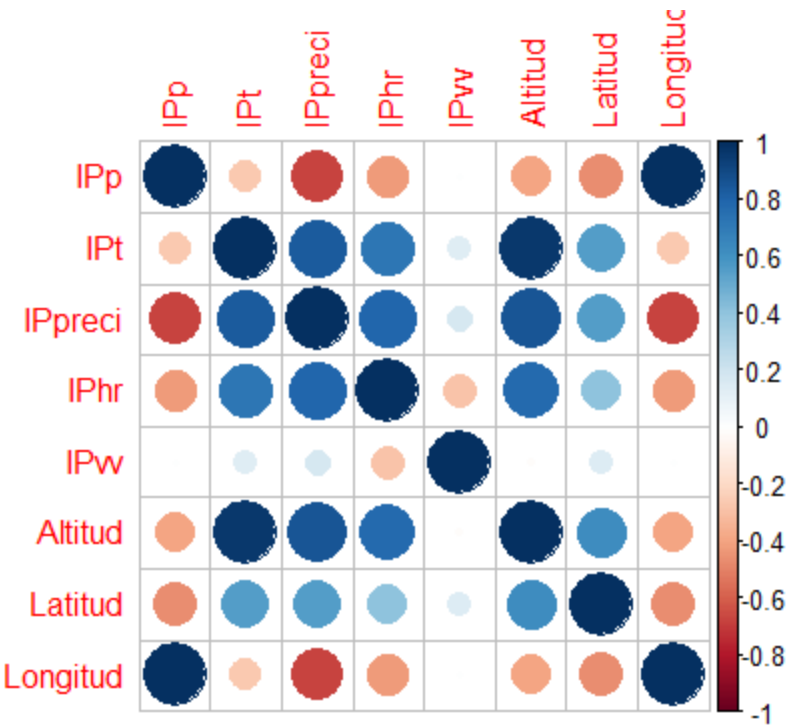
JUNIO-SEPTIEMBRE



DIAS CON VIENTOS DE SANTA ANA



DIAS SIN VIENTOS DE SANTA ANA – DATOS MERRA-2



DIAS SIN VIENTOS DE SANTA ANA – SIG ERIC V.1

