



FACULTAD DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN Y REFORMULACIÓN DE LOS ALGORITMOS E
ÍNDICES CLIMÁTICOS DE *bioclimarq* (2016)

T E S I N A

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIANDO EN CIENCIAS ATMOSFÉRICAS

P R E S E N T A :

LEONARDO QUIRINO OLVERA

DIRECTORES

DR. ADALBERTO TEJEDA MARTÍNEZ^a

&

DR. LUIS GABRIEL GÓMEZ AZPEITIA^b



XALAPA, VERACRUZ, 2019

^aGrupo de Climatología Aplicada de la Universidad Veracruzana

^bFacultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima

*A mis queridos Padres
Gladis y Leopoldo;
y
adorables Abuelos*

La memoria del corazón elimina los malos recuerdos y magnifica los buenos, y gracias a ese artificio, logramos sobrellevar el pasado

- Gabriel García Márquez

Agradecimientos académicos

Al Dr. Adalberto Tejeda Martínez y al Dr. Luis Gabriel Gómez Azpeitia por un aporte académico más allá de la conducción de esta tesina.

A Dra. Fátima Maciel Carrillo González y Dr. Antonio Velázquez Ruiz por permitirnos disponer de los datos de la estación meteorológica automática del CUC-UDG y a ambos por haberme recibido en distintas estancias de investigación del programa Delfín.

A Dra. Ruth Cerezo Mota por ser mi anfitriona para la estancia de investigación de la AMC.

A M en C. Jorge Humberto Bravo López por su ayuda en el aprendizaje de PYTHON.

A M en C. Ernesto López Velázquez por permitirnos disponer de los datos de la estación meteorológica automática de la UABC.

A los LCA's Eduardo Luna Munguía, José Antonio Guzzi Férez y a M. en C. Marta Paola Rodríguez González por el tiempo invertido y ayuda en esta tesina.

A algunos de mis profesores de la Universidad Veracruzana; destacando a M. en C. Ana Delia Contreras Hernández, M en C. Domitilo Pereyra Díaz, M. en F. José Luis Rocha Fernández, M. en C. Jorge Luis Vázquez Aguirre, Dr. Juan Matías Méndez Pérez y M. en C. Agustín Pérez Sesma quien me dió la oportunidad de asistir a mi primer congreso como ponente.

Al grupo de climatología aplicada.

Agradecimientos personales

A mis hermanos Louis y Ricardo, primos Lalo y Javier, a mis fans Nasdira, Mayinga, Zahira, Mucia (Team-Leo) y a mis perros (Tweety, Sputnik, Pipa, Lupe, Wile-E, Sheela, Najima y Poncha) por estar o haber estado en mi vida.

A Marta Paola y Adrián por soportar mi existencia, gracias a los dos.

A Fruc, Guzzi, y a los Omares por ser unos excelentes caballeros.

Por un verano irrepetible Manuel Salud, Oziel, Emily, Jessica, Joel, Lino, Susana, y Miriel.

A Emily por ser mi consorte en el ataque de los tomates asesinos.

A “The Family” Kako, Beto, Alí y Mariana. Traeme una chela, vato.

A mis compañeros de generación, pero más que compañeros; amigos... Abimael, Gil, Anell, William, Flavio, Oscar, Pablo, Edson, Jacqueline, Regina, Alí, Iván, Beto, Fernanda, Gybram, Felipe, Max, Oziel, y Emily.

A Los Exiliados de Mordor Juan, Homs, Chema, Chino, Jon, Fercho, Andrés, Issac, Mata, Conchis, Gallo, Aarón, y Jorge Ulises. ¡Ah! y a Lariza.

A los Kappas, los recién ingreso me han mostrado energía y esperanza que generaciones vienen con deseo de detener un posible colapso ecológico, destacando Kathy y Karla Adylene por participar conmigo en el ensayo. A las Perlas, Karla, Miriel, Adrián, pero especialmente a Natziely por tu iniciativa de protesta me sirves de inspiración y ejemplo.

A los ($S \leq S12$) Hiram, Martha Llanos, Paola Daniela, Alma, Kathy, Martha Diana, Geimond, Charlie, Raúl, Darío, Pedro, y Marleng.

A Citlali, Graciela, Valeria, Juan Diego, y Natalia. Brenda, Gaby A., Viri, Gaby V., Aris y Jaime Omar.

A Miriel, Joel, Susana, David, Paco, Isabel, Karla y Bambi.

A Denise, Cynthia, Sarhay, Ericka, y Sol.

A Kary, Natziely, Zuriel, Julian, Jenni, Grecia, Carlos y Areli.

A mis amigos de la UCOL Brenda, Karla, Pau, Boris, Danahe, Daniel, Gustavo, Julio, Luis Barajas, Jorge, Gary, Jacobo, Luis Zappa, Diego y Blanca.

A Aidé por haber sido mi compañera en los años más difíciles de mi vida.

Índice general

List of Figures	VII
List of Tables	VIII
1. Introducción	1
1.1. Arquitectura bioclimática	1
1.2. Índices térmicos y de confort	4
1.3. Huella hídrica y captación de agua	5
2. Antecedentes	6
2.1. Arquitectura bioclimática en México	6
2.1.1. Inicios y desarrollo	6
2.1.2. Actualidad	8
2.1.2.1. Marco legal	10
2.2. Software de información climática pensada para arquitectos	12
2.2.1. Meteonorm	12
2.3. <i>bioclimarq (2016)</i>	13
2.3.1. Caracterización climática	13
2.3.2. Diagnóstico de confort térmico	14
3. Justificación y objetivos	15
3.1. ¿Por qué arquitectura bioclimática?	15
3.2. Aportación a <i>bioclimarq (2016)</i>	16
3.3. Objetivos	17
3.3.1. Primarios:	17
3.3.2. Secundarios:	17
4. Metodología	19
4.1. Zona de estudio y puntos seleccionados.	20
4.2. Estimación de variables procesamiento de datos y control de calidad	20
4.2.1. Radiación solar incidente	21
4.2.2. Temperatura ambiente	21
4.2.2.1. Estimación de temperatura ambiente horaria	22
4.2.3. Humedad relativa	22
4.2.4. Presión de vapor	23
4.2.4.1. Presión de vapor de saturación	23

4.2.4.2. Presión de vapor	23
4.2.5. Presión atmosférica	24
4.2.6. Humedad absoluta	24
4.2.7. Precipitación pluvial	24
4.2.7.1. Datos faltantes	25
4.3. Índices bioclimáticos a revisar	25
4.3.1. Térmicos	25
4.3.1.1. Temperatura media	25
4.3.1.2. Radiación horizontal	25
4.3.2. Hígricos	25
4.3.2.1. Ombrótémico	25
4.3.2.2. Humedad	26
4.3.2.3. Contenido de vapor	26
4.3.2.4. Índice termohígrico	26
4.4. Índices propuestos para bioclimarq	27
4.4.1. Humedad específica	27
4.4.2. Precipitación suficiente para su uso doméstico	27
5. Resultados	29
5.1. Caracterización climática	29
5.1.1. Temperatura ambiente	30
5.1.2. Humedad relativa	31
5.1.3. Contenido de vapor	32
5.1.3.1. Humedad específica	32
5.1.3.2. Humedad absoluta	33
5.1.4. Índice termohígrico	34
5.1.5. Radiación solar horizontal	35
5.1.6. Hígricos	36
5.1.6.1. Ombrótémico1	36
5.1.6.2. Precipitación suficiente para su uso doméstico	37
5.2. Sensibilidad de índices	38
5.2.1. Temperatura	38
5.2.2. Humedad relativa	40
5.2.3. Radiación solar horizontal	41
5.2.4. Contenido de vapor	42
5.2.4.1. Humedad específica	42
5.2.4.2. Humedad absoluta	43
5.2.5. Hígricos	44
5.2.5.1. Ombrótémico1	44
5.2.5.2. Ombrótémico2	45
5.2.5.3. Precipitación suficiente para su uso doméstico	46
5.2.5.4. Índice termohígrico	47
5.3. Correlación de métodos de estimación	48
5.3.1. Temperatura horaria	48
5.3.2. Humedad relativa horaria	49
6. Conclusiones, recomendaciones, y a futuro	50

6.1.	Conclusiones	50
6.1.1.	Caracterización climática	50
6.1.2.	Sensibilidad geográfica de los índices	51
6.1.3.	Estimación de temperatura ambiente y humedad relativa horaria	52
6.1.4.	Recomendaciones:	52
6.2.	A futuro	52
A.	Caracterización climática	54
A.1.	Temperatura ambiente	54
A.2.	Radiación solar horizontal	56
A.3.	Humedad relativa	58
A.4.	Contenido de vapor	61
A.4.1.	Humedad específica	61
A.4.2.	Humedad absoluta	62
A.5.	Hídrico	65
A.5.1.	Precipitación suficiente para uso doméstico	65
A.5.2.	Ombrotérmico	66
B.	Scatterplots	69
B.1.	Temperatura ambiente horaria	69
B.2.	Humedad relativa horaria	71

Índice de figuras

2figure.caption.12

3figure.caption.19

2.1.	Estación Wadley, cerca de Real de Catorce, San Luis Potosí	7
2.2.	Consumo energético en México [SENER, 2018]	8
2.3.	Casa VAN D en Islas Mujeres, México.	10
2.4.	Zonas climáticas [Secretaría de Economía, 2013]	12
4.1.	Zona de estudio y estaciones seleccionadas.	21
5.1.	Temperaturas promedio máxima, mínima y media de Xalapa, Veracruz. .	30
5.2.	Humedad relativa promedio máxima, mínima y media de Xalapa, Veracruz.	31
5.3.	Humedad específica promedio de Xalapa, Veracruz.	32
5.4.	Humedad absoluta promedio de Xalapa, Veracruz.	33
5.5.	Termohigríco de Xalapa, Veracruz.	34
5.6.	Radiación solar horizontal acumulado diario de Xalapa, Veracruz. . . .	35
5.7.	Ombrotermico de Xalapa, Veracruz.	36
5.8.	Precipitación suficiente para uso doméstico de Xalapa, Veracruz. . . .	37
5.9.	Distribución teórica e histograma del índice de temperatura ambiente. .	38
5.10.	Distribución teórica e histograma del índice de humedad relativa. . .	40
5.11.	Distribución teórica e histograma del índice de radiación solar. . . .	41
5.12.	Distribución teórica e histograma del índice de humedad específica. . .	42
5.13.	Distribución teórica e histograma del índice de humedad absoluta. . .	43
5.14.	Distribución de densidad teórica e histograma del índice ombrotérmico1. .	44
5.15.	Distribución teórica e histograma del índice ombrotérmico2.	45
5.16.	Distribución teórica e histograma del índice de precipitación suficiente para su uso doméstico (PSUD).	46
5.17.	Distribución teórica e histograma del índice de termohigríco.	47

Índice de tablas

4.1. Valores de a, b, y c como función de la latitud y de la época del año en México	22
4.2. Índice temperatura media	25
4.3. Radiación sin nublado típico	25
4.4. Ombrotérmico	26
4.5. Humedad Relativa	26
4.6. Humedad Absoluta (AH)	26
4.7. Termohídrico como estipulado en <i>bioclimarq (2016)</i>	26
4.8. Termohídrico con parámetros numéricos	27
4.9. Humedad específica (SH)	27
4.10. Precipitación suficiente para su uso doméstico	28
5.1. Temperatura ambiente horaria estimada contra observada	48
5.2. Humedad relativa horaria estimada contra observada	49
6.1. Resumen de clasificación climática de Xalapa, Ver.	51

Capítulo 1

Introducción

Esta tesina supone que el lector concuerda con las tendencias científicas actuales referentes a cambio climático y no requiere de mayor persuasión.

El primer capítulo hace énfasis en la descripción general de lo que es arquitectura bioclimáticas así como índices, el concepto de huella hídrica la importancia de los anteriores para este trabajo.

1.1. Arquitectura bioclimática

La arquitectura no solo es un refugio o una barrera contra elementos no deseados (lluvia, viento, frío), sino que la edificación debe ser considerada como un filtro selectivo: para excluir precisamente características de la intemperie no preferidas, pero sí admitir aquellos que son anhelados y útiles; tales como la luz del sol, radiación solar en invierno o ventilación natural [Szokolay, 2012].

Desde el principio el ser humano ha sido afectado por el clima y su influencia sobre la Tierra. Los primeros humanos construyeron refugios y vivieron en cuevas para protegerse de los elementos de la intemperie como lo comenta [Turner, 2003] tener presente las características locales en viviendas no es una innovación: Históricamente data del Siglo IV a.C. en Grecia y posiblemente antes que eso. Como Vitruvius señaló, “*debemos tener en cuenta los países y sus climas donde edificaciones son construidas*” [Oktay, 2002].

Una aproximación sistemática hacia una edificación *climáticamente equilibrada* tiene un problema intrincado de inicio ya que el mismo procedimiento por si solo está justo en el borde de varios campos de conocimiento [Olgyay et al., 1963]. Dos de estos campos son fácilmente identificables: climatología y arquitectura, en ellas se contienen el principio y final del problema de una construcción *climática equilibrada*.

Desde la segunda mitad del siglo XX, [Olgyay et al., 1963] propuso un diseño de edificaciones humanas con una visión climática. La hoy llamada *arquitectura bioclimática* ha pretendido aprovechar al máximo el comportamiento natural de las variables meteorológicas e integrar eso al proceso de diseño. A su visión integra cuatro distintas disciplinas como lo muestra la Figura 1.1 y en el siguiente orden; *Climatología → Biología → Tecnología → Arquitectura*:

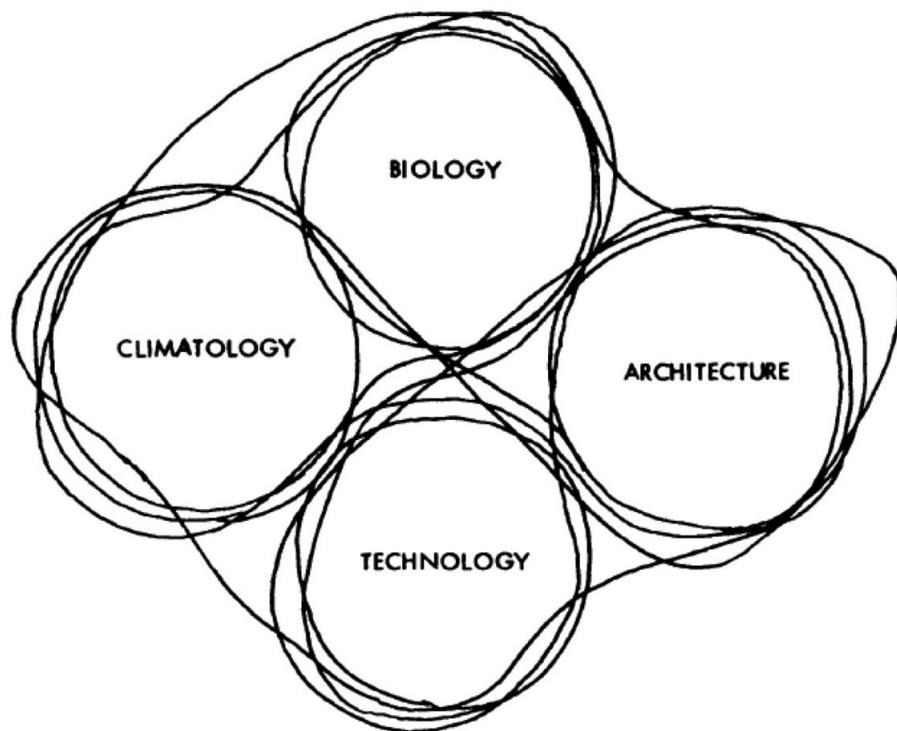


FIGURA 1.1: Cuatro áreas de conocimiento que componen la arquitectura bioclimática¹.

1. Los **datos climáticos** de una región en específico deberían ser analizadas con sus características anuales que constituyen cada elemento, tales como temperatura, radiación, humedad relativa y viento.
2. **Evaluación biológica** debe ser basada en la sensación térmica humana y sus efectos fisiológicos. Se deben de dibujar los datos climáticos sobre una gráfica bioclimática en intervalos regulares y esto mostrará un diagnóstico de la región con relativia importancia de varios elementos climáticos.
3. Las **soluciones tecnológicas** pueden ser planteadas de acuerdo a las necesidades requeridas para llegar a una edificación adaptada en términos de confort.
4. **Aplicación arquitectónica** derivada del análisis de las tres disciplinas anteriores se debe desarrollar y ponderar los resultados de acuerdo a su importancia de cada elemento en busca de obtener como resultado final un proyecto *climático equilibrado*.

El análisis de condiciones climáticas de cualquier localidad geográfica es un buen punto de partida para plantear el bosquejo de la edificación y los principios de diseño urbano encauzado a maximizar el confort y minimizar el uso de energía para calentamiento o enfriamiento del edificio.

En las condiciones contemporáneas la traza urbana de las ciudades frecuentemente ha tenido una expansión caótica, sin tomar en consideración los principios de diseño con un uso efectivo de la energía a una escala urbana. El trazo de la red de carreteras afecta la posición de la edificaciones en ambos lados de la carretera, dando una orientación, que en muchas ocasiones, no es adecuado para la implementar técnicas solares y ahorrativas de energía.



FIGURA 1.2: Casa Tenerife ²

De acuerdo [arcdaily, 2003] los arquitectos *Ruiz Larrea y Asociados* de la casa de la construida en 2003(Figura 1.2) es de 290.0 m², tiene una óptima orientación, haciendo uso de materiales existentes en los alrededores y costo cero de energía en origen. No tiene calefacción o aire acondicionado debido a las benignas condiciones meteorológicas. Hace un énfasis bioclimático en su control de la circulación aire y control hidrotérmico, así como la integración con el ambiente circundante. La casa hace uso las ventajas bioclimáticas de las Islas Canarias.

1.2. Índices térmicos y de confort

La sensación térmica humana y las respuestas psicológicas al ambiente están, hasta cierto punto, interrelacionadas. La sensación de frío está asociada con una baja temperatura de la piel. La sensación de calor, en reposo o en personas sedentarias, está correlacionada con una temperatura alta de la piel y una mayor tasa de sudoración. Ambas son reflejo del aumento en estrés térmico sobre el cuerpo [Givoni, 1998].

Como menciona [Givoni, 1992] las cartas bioclimáticas facilitan el análisis de las características climáticas de una locación dada desde el punto de vista del confort humano, ya que estos se presentan concurrentemente en cartas psicrométricas con una combinación de temperatura y humedad en cualquier tiempo. También pueden ser utilizadas para la elaboración de diseño de edificios con criterios específicos para maximizar condiciones de confort al interior cuando la edificación no es mecánicamente acondicionada. Todas estas cartas están estructuradas alrededor y refieren al concepto de “confort térmico”.

Para la [American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004] el confort térmico es un estado mental en el que se expresa satisfacción dentro de las condiciones térmicas ambientales. Uno de los objetivos del bioclimatismo es justamente utilizar las características ambientales a su alrededor para que el hábitat del edificio se conserve dentro de este umbral de confort. Dicho umbral es totalmente subjetivo y depende en buena parte de las idiosincrasia específica de la población y su relación con el clima de la región.

“El confort térmico depende de varios parámetros globales externos, como la temperatura del aire, la velocidad del mismo y la humedad relativa, la radiación solar, y otros específicos internos como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo” [Álvarez Cosío et al., 2015].

La humanidad, ante variaciones climáticas extremas, tiene la posibilidad de reaccionar para adaptarse a esas condiciones de diferentes modos fisiológicamente, modificando su

vivienda, su ropa, variando su actividad, etc, lo que le permite ajustarse térmicamente al lugar para mantener su salud [Gonzalez et al., 1986].

1.3. Huella hídrica y captación de agua

La [Comisión Nacional del Agua, 2018] define la *Huella Hídrica* como “la suma de la cantidad de agua que utiliza cada persona para sus diversas actividades y la que es necesaria para producir los bienes y servicios que consume” y particularmente para esta tesina, la huella hídrica doméstica.

En la recapitulación hecha por [Viquiera, 2005] a partir de la consulta que hace a *Los diez libros de la arquitectura* Editorial Alianza, 2000 y Editorial Iberia, 1955 del libro *De architectura libri decem o Los diez libros de la arquitectura* de Marco Lucio Vitruvio Polión quien vivió en el siglo primero antes de nuestra era, en pleno Imperio Romano. Comenta sobre la importancia de la captación de lluvia para su uso diario en la vida del ciudadano Romano y su recolecta como lo menciona “Las aguas que se recogen de la lluvia tienen la cualidad de ser más saludables porque, estando ésta compuesta de las más ligeras y sutiles partículas extraídas de todas las demás aguas filtradas a través del aire en movimiento, vuelven a la tierra licuadas por las tempestades. (...) La conducción del agua se puede realizar de tres formas: por conductos mediante canales de albañilería, por medio de tubería de plomo o bien cañerías de barro. (...) La obra de albañilería deberá ser abovedada, con el fin de proteger de los rayos del sol.”

Aunque hoy sabemos que no es recomendable el uso del plomo en tuberías, existen distintos materiales cañerías a parte del barro y que el agua directamente de la lluvia no es agua " limpia" pero la idea de Vitruvio Polón sobre captar agua pluvial continua vigente. Ya que esta se considera agua gris

Según [INEGI, 2013] en promedio, “cada habitante de México induce a una huella de agua anual de $4.16m^3$ de agua impactada por el uso del recurso en sus actividades diarias (domésticas)” y de acuerdo a la [Comisión Nacional del Agua, 2017] México se encuentra en el número 93 del ranking de países con mayor agua renovable per cápita con un total $3687m^3/hab/año$. Siendo un país con patrones de precipitación de lluvia muy diverso en su distribución geográfica y en la república no es uniforme, ni temporal ni espacialmente. Aún así la captación de esta es una solución parcial a las necesidades hídricas domésticas pero la manera de almacenamiento, y uso debe cambiar de acuerdo a la localización de interés.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Arquitectura bioclimática en México

2.1.1. Inicios y desarrollo

México no ha sido ajeno a la noción empírica entre vivienda y la climatología de la región tangible en la arquitectura Vernácula¹ Mexicana. [Sepúlveda Pérez and Barba Erdmann, 2006] hace una descripción una de la casa vernácula “ser útil a quienes la construyen, pero por lo general está en armonía con la naturaleza y con el pueblo que la rodea. Su mayor pretensión es hacer más felices a quienes la construyen”, desde las chozas mayas a las viviendas típicas del siglo pasado muestran un conocimiento empírico del uso de materiales cercanos disponibles y entrelazado con el comportamiento meteorológico típico del sitio.

La arquitectura del centro-norte en México donde predominan los paisajes áridos, climática suelen ser extremos con noches frías y días cálidos, dieron como resultado casa de ladrillos de adobe, paredes anchas, techos altos, puertas y ventanas de madera como lo muestra la Figura 2.1 aunque propiamente no es una vivienda sino una estación de ferrocarril funciona como ejemplo. Empíricamente la sociedad constantemente buscando una vivienda ad hoc a las características climáticas de su región.

La bioclimatología como disciplina científica fue introducida en México en la década de los setenta por el doctor Ernesto Jáuregui Ostos, investigador del Instituto de Geografía de la UNAM y especialista en clima urbano. A partir de entonces se dio inicio a una línea de investigación que relacionó la arquitectura y el urbanismo con el uso adecuado de los

¹El Diccionario de la lengua española 2005 Espasa-Calpe lo define como *adj. Nativo, de nuestra casa o país.*



FIGURA 2.1: Estación Wadley, cerca de Real de Catorce, San Luis Potosí.

recursos naturales [González Franco, 2015]. En este contexto comienza la arquitectura bioclimática en México.

Posteriormente Tudela [1982] menciona en 1982 que nuestro conocimiento de los hechos bioclimáticos se encontraba, hasta ese momento, bastante incompleto y mal integrado. En ese momento él hacía énfasis en que la problemática no se limita a climatizar un edificio de oficinas, ni solamente caracterizar las condiciones imperantes del sitio de análisis, sino que debe centrar en la consecución de un entorno global cada vez más humano, que potencie las capacidades de la humanidad en lugar de limitarlo.

Sin ser en ese momento una rama consolidada Tudela fija una pauta para el gremio subsecuente de arquitectos en México. Corriente que continuaría con la fundación de distintos posgrados con un enfoque bioclimático.

Como lo menciona en su propia página, el programa de maestría de la Universidad de Coahuila “El 16 de agosto de 1986, con la apertura de la Maestría en Diseño Bioclimático, la escuela alcanzó la denominación de Facultad de Arquitectura” [Facultad de Arquitectura y Diseño, 2018] y diez años más tarde haría lo propio la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco, los cuales cronológicamente fueron pasos importantes para la solidificación de la disciplina.

La incursión en el campo de la bioclimatología de la Universidad de Guadalajara inició con la construcción de dos viviendas solares con la integración de sistemas de climatización natural y un equipo de medición meteorológica y solarimétrica en 1987; pero no fue hasta comienzos del nuevo milenio donde la misma UDG formalizó un manual respecto

a la arquitectura bioclimática para la ciudad de Guadalajara (habiendo existido en ese momento un manual para la Ciudad de México y otro para la ciudad de Colima). Lo menciona así [Arias Orozco and Ávila Ramírez, 2004], el desarrollo del presente trabajo (*Análisis bioclimático de la ciudad de Guadalajara*) es consecuencia de una serie de necesidades, tales como establecer parámetros bioclimáticos para Guadalajara.

2.1.2. Actualidad

Los sectores en que se desagrega el consumo energético total son: el transporte, que es el sector más intensivo en uso de energía, representando el 44.0 %; el industrial, que consumió 35.0 %; el residencial, comercial y público con 17.6 %; y el agropecuario, con 3.4 % [SENER, 2018] como lo muestra la Figura 2.2, destacando el uso *Residencial*.

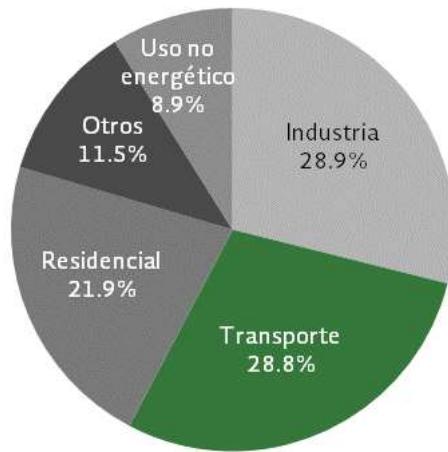


FIGURA 2.2: Consumo energético en México [SENER, 2018]

Las grandes desarrolladoras de vivienda hoy replican prácticamente el mismo diseño constructivo independientemente del clima, sin reconocer los beneficios de diseños bioclimáticos que otorgan un rol relevante a la orientación, las alturas, los sombreados y la ventilación natural de las viviendas. Este tipo de diseños estandarizados (o bien, la falta de diseños adaptados a cada región bioclimática), resulta también en un incremento en la demanda de energía para brindar la satisfacción térmica que requieren los habitantes [Méndez Florián et al.].

Teniendo en mente que “los hidrocarburos aportaron el 84.54 % a la producción de energía primaria” [SENER, 2018] y el sector residencial es responsable de la quinta parte de ese consumo. Esto inevitablemente aporta a las emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de fuentes no fósiles de energía primaria esta lejos de ser ideal, con un 11.1 % en 2017.

Partiendo de la premisa que se debe de tener un uso eficiente de los recursos particularmente en vivienda se deben de hacer usos de diferentes soluciones y una de ellas es el bioclimatismo. Dejar las prácticas de construir viviendas sin consideración por el clima. [Rodríguez Viquiera, 2008] recalca que en la actualidad tenemos muchas herramientas para analizar, diseñar y evaluar la arquitectura. Es preciso un cambio de actitud, ya que en la arquitectura como en la medicina es más fácil y económico prevenir que corregir .

Ejemplos del bioclimatismo en México sería la casa VAN D (Fig. 2.3) construida en Isla Mujeres, Quintana Roo cuenta con la certificación LEED. La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental en español), es un método de evaluación de edificios verdes, a través de pautas de diseño objetivas y parámetros cuantificables. La certificación evalúa el comportamiento medioambiental que tendrá un edificio a lo largo de su ciclo de vida, sometido a los estándares ambientales más exigentes a nivel mundial.

Actualmente en México existen diferentes investigadores, expertos en el tema, tanto en el sector académico como privado así como posgrados ofrecidos en esta disciplina por distintas universidades (Universidad de Colima, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Autónoma de Baja California y a la Universidad de Sonora).

La exigencia de datos bioclimáticos, índices de confort y térmicos se tienen que satisfacer en diferentes zonas del país y puntos específicos considerando aspectos sociales como el vertiginoso crecimiento urbano de ciertas ciudades. Tal es el caso de Puerto Vallarta, Jalisco donde [Velázquez Ruiz et al., 2019] manifiesta la necesidad de esta clase de información para propósitos de diseño y construcción de espacios sostenibles y de confort humano, precisamente para el desarrollo económico de este sitio en específico. Argumentando que la ciudad de Puerto Vallarta no es un caso aislado se esperarían más trabajos en el intento de abastecer la demanda.

A pesar de ello las grandes desarrolladoras de vivienda hoy replican prácticamente el mismo diseño constructivo independientemente del clima, sin reconocer los beneficios de diseños bioclimáticos que otorgan un rol relevante a la orientación, las alturas, los sombreados y la ventilación natural de las viviendas. Este tipo de diseños estandarizados (o bien, la falta de diseños adaptados a cada región bioclimática), resulta también en un incremento en la demanda de energía para brindar la satisfacción térmica que requieren los habitantes.



FIGURA 2.3: Casa VAN D en Islas Mujeres, México.

2.1.2.1. Marco legal

A raíz de lo anterior, la trayectoria de desarrollo que ha tenido la edificación sostenible en México así como sus aplicaciones, ventajas de mitigación y adaptación dieron un marco técnico para que el gobierno federal implementaron una serie de normas con el fin de incentivar prácticas de esta naturaleza. Estas acciones traen consigo beneficios de eficiencia energética, desarrollo y uso de fuentes renovables de energía, la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, logrando una operación eficiente con los estándares de excelencia y menores gastos para los usuarios. Con ello surge la intención de utilizarse en bienes muebles e inmuebles para las distintas entidades del país, así como la administración pública federal, estatal y municipal, con el fin de inducir la transición hacia prácticas a edificaciones eficientes, sostenibles y con esto dando un marco legal al uso de campo de conocimiento como la arquitectura bioclimática. Mencionaremos tres normas en el pasado reciente del Diario Oficial de la Federación:

Norma Oficial Mexicana: **NOM-018-ENER-2011**, *Aislantes térmicos para edificaciones, características y métodos de prueba.* Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los métodos de prueba para evaluar la conductividad o resistencia térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, la adsorción de humedad y absorción de agua, que se indiquen en los materiales homogéneos que se comercialicen en el país con propiedades de aislantes térmicos [Secretaría de Economía, 2011].

Responde a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y la preservación de los recursos energéticos a través de la utilización de mejores materiales, así como a la de proteger al consumidor, orientándole en la selección de los materiales que le ofrezcan la mejor alternativa para su necesidad de aislar térmicamente su edificación.

Norma Oficial Mexicana: **NOM-020-ENER-2011**, *Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional* Busca limitar las ganancias de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con el objeto de racionalizar el uso de energía en los sistemas de enfriamiento. Con un diseño eficiente de la envolvente, que utilice materiales aislantes térmicos, se pueden lograr ahorros considerables de energía eléctrica al requerirse menor capacidad en los equipos acondicionadores de aire. Esta norma trata de optimizar el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes[Secretaría de Economía, 2011].

Norma Mexicana: **NMX-AA-164-SCFI-2013**, *Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos* especifica dentro de ella “los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sostenible para contribuir en la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, sin descuidar los aspectos socioeconómicos que aseguran su viabilidad, habitabilidad e integración al entorno urbano y natural.” denotando el interés político que existe dentro de México por comenzar a tener en cuenta este tipo de proyectos arquitectónicos [Secretaría de Economía, 2013].

La figura 2.4 es un mapa que de caracterización climática a nivel nacional, pero por si solo es insuficiente para generar proyectos arquitectónicos bioclimáticos.

La última norma es de carácter **NO OBLIGATORIO** bajo las actuales leyes mexicanas al momento de redactar esta tesis.



FIGURA 2.4: Zonas climáticas [Secretaría de Economía, 2013]

2.2. Software de información climática pensada para arquitectos

2.2.1. Meteonorm

Meteonorm es un software diseñado para estimar los datos climatológicos de cualquier lugar con base en datos medidos y cálculos matemáticos, mismos que pueden ser usados con multiples fines entre ellos la arquitectura bioclimática, iniciado en 1985 por el *Swiss Federal Office of Energy* (Oficina Federal Suiza de Energía) y finalmente desarrollada por Meteotest como principales autores Jan Remund and Stefan Kunz. El programa es una combinación de bases climáticas con generador numérico de variables meteorológicas e instrumentos tanto terrestres como satélites a partir de ello puede generar un “Año Meteorológico Típico” (TMY) para cualquier sitio [Remund, 2015].

Su base contiene más de 8300 estaciones meteorológicas, cinco satélites geoestacionarios, interpolación de estaciones meteorológicas (para sitios sin monitoreo) y una climatología de aerosoles calibrada a nivel mundial. Los periodos de datos estándar son 1991-2010 y 1996-2015 para datos de irradiación solar [Remund et al., 2017].

Ya sean datos provenientes directamente del servicio meteorológico, algún punto de monitoreo meteorológico, o software de estimación como Meteonorm, se vuelve información indispensable para el uso de ellos en programas generan un diagnóstico bioclimático.

2.3. *bioclimarq* (2016)

Las especificaciones que corresponden al software *bioclimarq* donde aún no existe una descripción técnica publicada, y según el Dr. Gómez Azpeitia:

“*bioclimarq* es una herramienta didáctica y de trabajo desarrollada en diferentes épocas desde fines del siglo pasado y por partes que fueron articulándose entre sí. Empezaron a tomar la forma que hoy tiene hacia fines del primer decenio del XXI, hasta que en 2016 alcanzaron una operatividad aceptable.

“La herramienta empezó a desarrollarse como apoyo didáctico a los estudiantes del posgrado en Arquitectura Bioclimática de la Universidad de Colima y, desde 2001, de la Escuela de Arquitectura y Diseño Isthmus de Panamá. En sus diversas etapas de desarrollo, ya sea en partes o de forma integrada, fue usada también en diversos cursos y diplomados impartidos en universidades y asociaciones gremiales de México, Panamá, Colombia y España.

“La integración alcanzada al 2016 posibilitó ampliar los fines didácticos por lo que ahora puede ser usada también por arquitectos, urbanistas y diseñadores en la toma de decisiones referentes al análisis del clima y las exigencias de ahorro energético y confort térmico a las que cada uno de sus proyectos se enfrentan.

“La herramienta se ha integrado en un libro de Excel con macros, y se divide en tres secciones operativas:

1. Caracterización climática.
2. Diagnóstico de confort térmico.
3. Recomendaciones bioclimáticas.

2.3.1. Caracterización climática

“La sección de caracterización climática, a su vez, opera mediante dos funciones. La primera consiste en introducir, por parte del usuario, la información geográfica, climática y de hábitos de adaptación de las personas del lugar del proyecto. Una de las dificultades observadas en esta cuestión es la falta de datos disponibles de algunos parámetros como la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento o incluso las diferencias horarias de temperatura ambiente, por lo que se debe recurrir a estimaciones que en algunos casos deben ser sometidas a una evaluación para poder confiar en ellas. La segunda consiste en una serie de algoritmos realizados automáticamente, en la que se

clasifica el clima del sitio mediante la comparación de los datos registrados con una serie de índices propios y adaptados. El producto de esta sección operativa es un resumen del clima anual y estacional del sitio, con el fin de hacer manejable y entendible la gran cantidad de datos registrados.

2.3.2. Diagnóstico de confort térmico

“La sección de diagnóstico de confort térmico retoma las conclusiones de la sección anterior, y somete los datos registrados a diversos instrumentos de evaluación bioclimática, tanto de manera anual como en tantas temporadas climáticas como hayan sido identificadas. Los algoritmos que ejecuta el libro de cálculo tienen como finalidad comparar la información registrada con diferentes parámetros de confort térmico, tanto del enfoque predictivo (Fanger) como adaptativo, con base en cartas de evaluación bioclimática propuestas por varios autores (Olgyay, Givoni, Szokolay y Evans). De este análisis se desprenden los grandes requerimientos bioclimáticos para el proyecto (enfriar, calentar, humidificar, etc.) y se establecen las estrategias generales de bioclimatización específicas, tanto anuales como estacionales (ventilación, masa térmica, soleamiento, aire acondicionado, calefacción, etc.).” [Gómez-Azpeitia, 2018].

De la necesidad existente en la humanidad por tener una calidad de vida digna satisfaciendo sus necesidades de confort, la demanda de mercado, y una creciente noción del impacto que puede tener la polución sobre el planeta surgen programas como en el surge *bioclimarq* (2016) .

Capítulo 3

Justificación y objetivos

3.1. ¿Por qué arquitectura bioclimática?

El brete ecológico en la que se encuentra actualmente la humanidad es debido al uso indiscriminado de los recursos disponibles en la naturaleza, [Leff, 2010] sostiene que esta degradación ambiental se manifiesta como síntoma de una crisis de civilización, marcada por el modelo de modernidad regido bajo el predominio del desarrollo de la razón tecnológica por encima de la organización de la naturaleza. La cuestión ambiental problematiza las bases mismas de la producción; apunta hacia la deconstrucción del paradigma económico de la modernidad.

Ahora es cuando se prioriza la búsqueda de alternativas ecológicas, de energías limpias, y del uso eficiente de aquellas que generen polución como un residuo inevitable. La premisa que postula [Pinedo Vega et al., 2005] es que “todo ahorro de energía además de representar un beneficio económico, encierra en sí un beneficio ecológico.”

En ello la humanidad como especie tiene una obligación ética consigo mismo y con los organismos que habitan el planeta de eficientizar su uso energético y al entender los posibles alcances de los efectos que tiene su modo de existencia. Esta compresión la ejemplifica [Szokolay, 2012] al decir que ya no es discutible que los recursos de la Tierra son finitos, que su capacidad de absorber nuestros desechos son limitados, y si queremos sobrevivir (como especie) no podemos continuar con nuestra despiadada explotación del medioambiente. Nuestras acciones pueden afectar el entorno, por lo que debemos actuar de una manera sostenible.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha hecho público este año, que de no modificar la taza de incremento el calentamiento global llegará al 1.5°C y Se estima que las actividades humanas han causado aproximadamente

1.0 °C de calentamiento por encima de los niveles pre-industriales, con un rango probable de 0.8°C a 1.2°C . El Calentamiento global probablemente alcanzará 1.5°C entre el 2030 & 2052 de continuar el incremento de la taza actual [IPCC, 2018].

Es en este contexto que se busca usar con más eficiencia nuestros recursos y evitar la contaminación atmosférica, que el estudio de la bioclimática continua teniendo una especial relevancia en el campo del hábitat humano. Se debe comprender que ya es inevitable un cambio y por ello además de mitigar, es momento de buscar una adaptación. Reconociendo la importancia de innovar, e implementar procesos de climatización pasiva y activa basados en energías de alternativas y de baja emisión de gases de efecto invernadero en todo los edificios.

El bioclimatismo es utilizado para contemplar el entorno de la construcción y aprovechar de la manera más eficiente las condiciones naturales y así minimizar la cantidad de recursos externos requeridos para la aportación del mismo. Por ende resulta en una solución viable para mitigar la polución generada y sostener las comodidades contemporáneas del ser humano.

3.2. Aportación a *bioclimarq (2016)*

Como en muchos otros campos, en México existe una carencia real de desarrollo tecnológico, varios de estos temas han quedado someramente o insuficientemente investigados, tecnología como *bioclimarq (2016)* es un esfuerzo loable por ofrecer una herramienta orientada al bioclimatismo. Por ello parte de la justificación de esta tesina es precisamente que desde un punto de vista de las ciencias atmosféricas un aporte al desarrollo de esta rama de la arquitectura bioclimática, en esfuerzos multidisciplinarios se genera una sinergia en la solución a problemas complejos.

bioclimarq (2016) requiere de datos climáticos con cierta confiabilidad para que su diagnóstico y recomendaciones finales bioclimáticas sean lo más adecuada posible. En ello esta la importancia de trabajar con datos observados de variables meteorológicas de interés como fuente principal pero sin descartar programas como Meteonorm que estiman estas mismas.

Aunque *Meteonorm* tiene un desempeño aceptable e incluso recomendable para buena parte de la República Mexicana no es el ideal dado los resultados obtenidos a partir del estudio hecho por [Hernández Romero et al., 2019] y las conclusiones (referentes a la temperatura máxima y mínima) a la que llegan ellos. Por ejemplo: “En los sitios cercanos a las estaciones de Acapulco, Yécora, Santa Rosalía y Ciudad Altamirano, no es recomendable el uso de Meteonorm”. Otra conclusión dentro del mismo trabajo es

que *Meteonorm* tiende a subestimar la temperatura mínima y promedio, mientras que la temperatura máxima la sobreestima.

bioclimarq (2016) es de distribución libre y específicamente orientada para México; siempre y cuando se demuestre un desempeño aceptable por parte de los métodos de caracterización climática, recomendaciones bioclimáticas, y estimación de variables meteorológicas deseadas la convierte en una alternativa viable. Punto central de la tesis es en esta dirección.

Desarrollos tecnológicos como este conllevan un beneficio para el medioambiente la humanidad y la humanidad al buscar su confort, el uso eficientes de materiales, y energía deben ser incentivadas. Soluciones así deben ser abordadas desde un enfoque multidisciplinario, en este caso el enfoque técnico científico y del conocimiento arquitectónico.

3.3. Objetivos

Atendiendo el crecimiento de la arquitectura bioclimática en México y la necesidad de la comunidad de contar con una herramienta multiplataforma, precisa y confiable. De ahí se desprenden los siguientes objetivos:

3.3.1. Primarios:

- Validar cualitativamente y cuantitativamente los resultados de la caracterización climática arrojados por *bioclimarq (2016)* comparando con datos observados de puntos específicos.
- Generar un código paralelo en el lenguaje de programación versátil como PYTHON y con esto anticipar su existencia en alguna plataforma móvil o más accesible al usuario promedio.

3.3.2. Secundarios:

- Validar datos horarios de temperatura y humedad, generados por *bioclimarq (2016)* con respecto a la información obtenida de la Red Nacional de Estaciones Sinópticas Meteorológicas (**ESIMES**) y otras estaciones seleccionadas.
- Cuantificar la sensibilidad y por lo tanto la pertinencia de los índices térmicos que se usan para la caracterización climática de cada sitio. En caso de que sea escasa su pertinencia habría que reformularlos.

Con esto se busca proveer a los creadores de *bioclimarq* (2016) de retroalimentación para desarrollar su diseño y cálculo preciso con respecto variables climatológicas. Además de dar información adicional a la comunidad interesada en proyectos arquitectónicos sostenibles a la hora de visualizar su construcción o afines al uso del programa.

Capítulo 4

Metodología

Se decidió trabajar con estaciones meteorológicas automáticas situadas en observatorios sinópticos (ESIME) y otras dos estaciones automáticas proporcionadas el Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara y de la Universidad Autónoma de Baja California en Mexicali.

“Una Estación Sinóptica Meteorológica que se encuentran ubicadas exclusivamente en los observatorios meteorológicos (ESIME) la cual está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 o 3 horas por estación”¹ se usaron las siguientes variables de cada estación.

- temperatura ambiente
- radiación solar incidente
- humedad relativa
- precipitación pluvial

Esencialmente, el uso de la estadística en las ciencias atmosféricas está orientado hacia la evaluación, cuantificación de los errores de estimación y así como la incertidumbre de los pronósticos meteorológicos. En parte es por ello que la estadística tiene un papel fundamental en un sistema caótico como la atmósfera y esta tesis hará uso de los siguientes conceptos.

¹<https://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
CONSULTADA: Septiembre 2018.

Error estándar de regresión o raíz del error cuadrático medio (RMSE) Es una medida cuantitativa de la dispersión entre los datos observados (x_o) menos los datos estimados (x_e) y se denota:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=0}^n \frac{(x_o - x_e)^2}{n}} \quad (4.1)$$

El **coeficiente de correlación de Pearson** (r) se produce por poner las constantes de escalamiento en el denominador (σ), dentro de la sumatoria del numerador [Wilks, 2006].

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n \left[\frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} \frac{(y_i - \bar{y})}{\sigma_y} \right] \quad (4.2)$$

4.1. Zona de estudio y puntos seleccionados.

La zona de estudio consiste en abarcar toda la República Mexicana obteniendo un base estadísticamente significativa y climatológicamente diversa. Los criterios de selección para las estaciones utilizadas son:

1. Que sean centros de población importante a nivel nacional con un desarrollo urbano dinámico actual o futuro.
2. Las de las estaciones automáticas deben tener mínimamente información disponible para el **periodo 2013 - 2016**.
3. Que estén distribuidos espacialmente y/o sean climas de distintas características. Esto con el fin de tener una muestra estadísticamente representativa del país.
4. Limitar el número de estaciones no excedente a veinte.

4.2. Estimación de variables procesamiento de datos y control de calidad

La base de datos de las ESIME's y las dos estaciones automáticas se sometieron a un control de calidad de acuerdo a las características físicas de cada variable meteorológica.

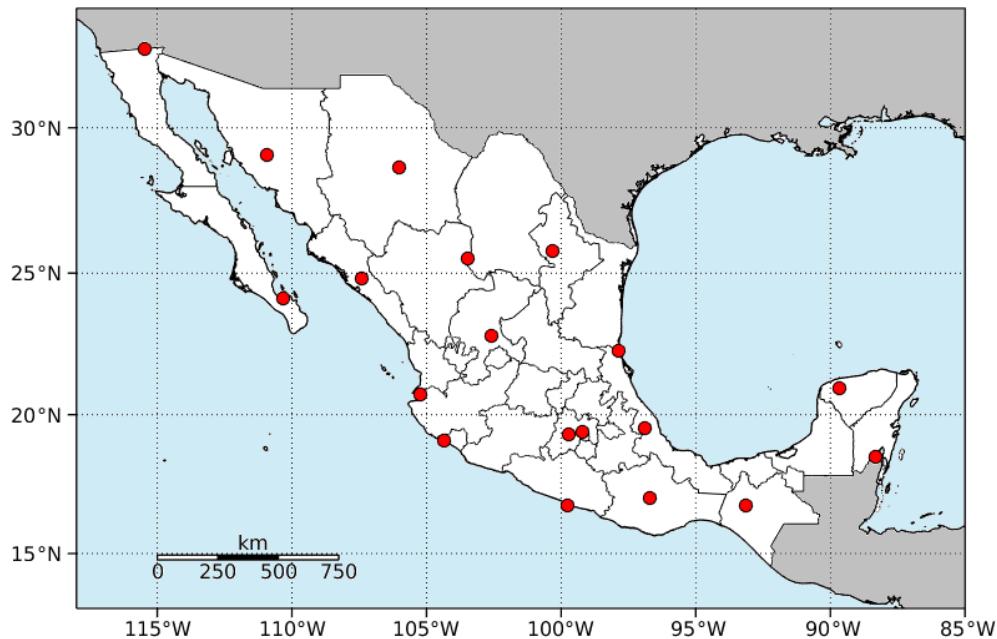


FIGURA 4.1: Zona de estudio y estaciones seleccionadas.

4.2.1. Radiación solar incidente

La radiación que se recibe del Sol después de ser desviada por dispersión atmosférica se conoce como *Radiación Difusa* y la que pasa sin sufrir ninguna dispersión se conoce como *Radiación Directa*. La *Radiación Global* es la suma de la radiación directa más la difusa [Tejeda-Martínez and Gómez-Azpeitia, 2015].

Entendiendo que la irradiación global (Q_g) incidente debe ser igual o mayor a cero y debe ser menor que la constante solar.

$$0 \leq Q_g < 1400 \frac{W}{m^2}$$

Evitar valores por encima de los teóricamente estimados.

4.2.2. Temperatura ambiente

En termodinámica la temperatura se determina como [Halliday et al., 2010] una medida directa del promedio de la energía cinética de las moléculas. Para su uso particular en meteorología la *temperatura ambiente* se define suficiente por la Organización Meteorológica Mundial como [WMO, 1994] la temperatura indicada por un termómetro expuesto al aire en un lugar protegido de la radiación solar directa.

Para la temperatura ambiente (T_a) se hicieron las siguientes consideraciones, como umbral inferior y mayor a:

$$-20 \leq T_a \leq 60^\circ C$$

después de ello, se calcularon, *media* (\bar{T}_a), *desviación estándar* σ . No se consideraron valores atípicos:

$$\bar{T}_a \pm 3\sigma$$

4.2.2.1. Estimación de temperatura ambiente horaria

De acuerdo con el modelo exponencial propuesto por [Tejeda Martínez, 1991] El modelo para estimar la temperatura horaria de es:

$$T_a = T_{min} + y(T_{max} - T_{min}) \quad (4.3)$$

donde y los parámetros dentro y son definidos de esta manera:

$$y = at^b \exp ct \quad (4.4)$$

t (en la ecuación 4.4) dado que no puede ser negativo y t es una función del tiempo local (H) y la hora del amanecer (H_0) :

- $t = H - H_0$; si $H \geq H_0$
- $t = H$; si $H < H_0$

a, b, y c son constantes definidas a los criterios de la Tabla 4.1:

TABLA 4.1: Valores de a, b, y c como función de la latitud y de la época del año en México

Mes	Latitud	a	b	c
mar - oct	$\geq 23.5^\circ N$	0.026	3.190	-0.375
nov - feb	$\geq 23.5^\circ N$	0.023	3.436	-0.421
ene - dic	$< 23.5^\circ N$	0.096	2.422	-0.339

4.2.3. Humedad relativa

La humedad relativa a diferencia de la humedad absoluta o de la específica no estipula el contenido de vapor de agua por unidad de masa o volumen; simplemente indica el

porcentaje de vapor disuelto en un volumen de aire en razón del vapor necesario para saturarlo. O bien, indica el cociente entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación [Tejeda-Martínez et al., 2018].

En la humedad relativa (RH) no se realizó un mayor control que acotar los datos entre

$$5 \leq RH \leq 100 \%$$

4.2.4. Presión de vapor

4.2.4.1. Presión de vapor de saturación

El modelo propuesto por [Tejeda-Martínez, 1994] para la estimación de la presión de vapor de saturación y donde asegura que es válido para el rango de temperatura de [-10, 50 °C]:

$$e_s = 6.63 + 0.458T + 4.6 \times 10^{-3}T^2 + 6.6 \times 10^{-4}T^3 \quad (4.5)$$

Según [Luna Munguía, 2019] este modelo tiene un $RSME = 0.4757^\circ\text{C}$ y una $r = 0.9999$, dado esto es suficiente precisión para estimar la presión de vapor de saturación necesaria en el cálculo de otras variables en este trabajo.

4.2.4.2. Presión de vapor

De acuerdo con [Ahrens, 2008] la humedad relativa se puede interpretar como la presión de vapor como la medida de vapor de agua contenido en el aire, y la presión de saturación como la capacidad total del aire para contener vapor de agua. Ergo la humedad relativa se puede expresar de la siguiente manera:

$$RH = \frac{e}{e_s} \cdot 100 \quad (4.6)$$

Después de una operación algebraica sencilla sobre la ecuación (4.6) se convierte en:

$$e = e_s \cdot \frac{RH}{100} \quad (4.7)$$

y de esta forma podemos obtener el valor de la presión de vapor de agua.

4.2.5. Presión atmosférica

Estimar la presión atmosférica a partir de la altitud (Z) y válida para $0 \leq Z \leq 4000\text{m}$ [Tejeda-Martínez et al., 2008]:

$$P = 1008.4 - 0.102 * Z \quad (4.8)$$

la ecuación 4.8 necesaria para calcular la humedad específica.

4.2.6. Humedad absoluta

La humedad absoluta está definida como la masa volumétrica, es decir la masa de vapor de agua m_v (gr) dividida entre el Volumen (m^3) [Pinedo Vega et al., 2012],

$$AH = \frac{m_v}{V}$$

y dado que no es una variable de las que se ofrecen en la estación se calculará con la siguiente ecuación propuesta por [Tejeda-Martínez et al., 2018]:

$$AH = 217 \frac{e}{T_a} \quad (4.9)$$

donde e es la presión de vapor (hPa), T_a la temperatura ambiente (K) y las unidades de la humedad absoluta están dadas en $\text{gr} \cdot \text{m}^{-3}$.

4.2.7. Precipitación pluvial

La palabra precipitación designa una caída de hidrometeoros que alcanzan la superficie, y existen diversas formas de precipitación [Cervantes Pérez, 2011].

Como filtro se realizó el siguiente criterio:

$$0 \leq PP < 100 \text{ mm/hr}$$

4.2.7.1. Datos faltantes

La naturaleza del pluviómetro lo hace susceptible a diversas fuentes que pueden alterar su medición o inhabilitarlo, para solucionar esto los meses faltantes fueron completados con la **climatología periodo 1981- 2000** correspondiente.

4.3. Índices bioclimáticos a revisar

4.3.1. Térmicos

4.3.1.1. Temperatura media

Koenisberger, et alt. (1971) modificado por *Gómez-Azpeitia*.

TABLA 4.2: Índice temperatura media

Clave	Denominación	Criterio ($^{\circ}\text{C}$)
K	<i>Caluroso</i>	$\bar{T}_a > 25$
C	<i>Cálido</i>	$20 < \bar{T}_a \leq 25$
T	<i>Templado</i>	$15 < \bar{T}_a \leq 20$
F	<i>Frío</i>	$\bar{T}_a \leq 15$

4.3.1.2. Radiación horizontal

Propuesto por *Gómez-Azpeitia*.

TABLA 4.3: Radiación sin nublado típico

Clave	Denominación	Criterio ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$)
I	<i>Intensa</i>	$Q_g < 7500$
M	<i>Moderada</i>	$5000 < Q_g \leq 7500$
D	<i>Débil</i>	$Q_g \leq 5000$

4.3.2. Hígricos

4.3.2.1. Ombrotérmico

Ombrotérmico (OT) Bagnouls y Gausson (1953).

$$OT = \left[\frac{PP}{2T_a} \right] - 1 \quad (4.10)$$

TABLA 4.4: Ombrotérmico

Clave	Denominación	Criterio
LL	<i>Lluvioso</i>	$OT \geq 0$
D	<i>Despejado</i>	$OT < 0$

4.3.2.2. Humedad

Koenisberger, et alt. (1971).

TABLA 4.5: Humedad Relativa

Clave	Denominación	Criterio (%)
H	<i>Húmedo</i>	$RH > 70$
SH	<i>Sub-Húmedo</i>	$50 < RH \leq 70$
SS	<i>Semi-Seco</i>	$30 < RH \leq 50$
A	<i>Árido o Seco</i>	$RH \leq 30$

4.3.2.3. Contenido de vapor

Propuesto por *Gómez-Azpeitia*.

TABLA 4.6: Humedad Absoluta (AH)

Clave	Denominación	Criterio (gr/m^3)
A	<i>Alto</i>	$AH > 15$
M+	<i>Medio Alto</i>	$10 < AH \leq 15$
M-	<i>Medio Bajo</i>	$5 < AH \leq 10$
B	<i>Bajo</i>	$AH \leq 5$

4.3.2.4. Índice termohigríco

Índice termohigríco (TH) propuesto por *Gómez-Azpeitiaen bioclimarq (2016)* .

$$TH = \frac{T_a + AH}{2} \quad (4.11)$$

TABLA 4.7: Termohigríco como estipulado en *bioclimarq (2016)*

Clave	Denominación	Criterio
A	<i>Alto</i>	$TH > TH + \frac{\sigma}{2}$
M	<i>Medio</i>	$TH - \frac{\sigma}{2} < TH \leq TH + \frac{\sigma}{2}$
B	<i>Bajo</i>	$5 < TH \leq TH - \frac{\sigma}{2}$

TABLA 4.8: Termohídrico con parámetros numéricos

Clave	Denominación	Criterio
A	Alto	$TH > 21$
M	Medio	$16 < TH \leq 21$
B	Bajo	$5 < TH \leq 16$

4.4. Índices propuestos para bioclimarq

4.4.1. Humedad específica

Se define la humedad específica como la cantidad de masa de vapor de agua (m_v) entre una masa de aire (m) tal como es estipulado por: [Tsonis, 2007]

$$q = \frac{m_v}{m}$$

[Tejeda-Martínez et al., 2018] define la estimación de la humedad específica (q en $gr \cdot kg^{-1}$), si se tienen los valores de las presiones (P) en hPa:

$$q = 622 \frac{e}{P} \quad (4.12)$$

TABLA 4.9: Humedad específica (SH)

Clave	Denominación	Criterio (gr/kg)
A	Alto	$SH > 17$
M+	Medio Alto	$12 < SH \leq 17$
M-	Medio Bajo	$7 < SH \leq 12$
B	Bajo	$SH \leq 7$

4.4.2. Precipitación suficiente para su uso doméstico

Se propone un índice bioclimático pensado para un aprovechamiento eficiente de las variables meteorológicas disponibles en particular la precipitación pluvial en la región de interés. La captación de agua se piensa como un uso responsable y sostenible, ecológicamente apropiado. El índice *Precipitación suficiente para su uso doméstico* considera el promedio mensual de consumo de agua para uso doméstico como la cantidad climatológica de precipitación pluvial, los relaciona:

$$PSUD = \frac{\text{Precipitación pluvial} \times \text{Área}}{\text{Promedio mensual de uso doméstico}} \quad (4.13)$$

El promedio mensual de uso doméstico ($A_{mensual}$) se obtiene a partir de dividir el promedio anual de agua para su uso doméstico $A_{anual} = 4.16m^3$ de acuerdo a [INEGI, 2013]

$$A_{mensual} = \frac{A_{anual}}{12} \times 1000 = \frac{4.16m^3/year}{12} \times 1000lts \cdot m^{-3} = 346.7 lts/mes$$

Promedio mensual de uso doméstico se divide el promedio anual entre 12 y se multiplica por 1000 para obtener el resultado en litros. Se decide por un captador virtual de $10m^2$ y junto con el ingreso de la precipitación mensual de interés en milímetros. La ecuación 4.13 se convierte en:

$$PSUD = \frac{PP < mm > \times 10 < m^2 >}{346.7 < lts >} \quad (4.14)$$

TABLA 4.10: Precipitación suficiente para su uso doméstico

Clave	Denominación	Criterio
S	<i>Suficiente</i>	$PSUD \geq 1$
I	<i>Insuficiente</i>	$PSUD < 1$

Capítulo 5

Resultados

5.1. Caracterización climática

La ESIME de Xalapa que se describirá en esta sección es únicamente para ejemplificar el trabajo hecho con todas las estaciones las cuales son anexadas al final de este texto. Se escogió por su base de datos completa pero cabe mencionar que no es única bajo esta condición.

ESIME Xalapa:

- **Lat:** 19.51°N
- **Lon:** -96.90°
- **Alt:** 1360.0 m.s.n.m

Se hará de acuerdo a los lineamientos que propone [Givoni, 1998] “La presentación de los datos climáticos suele ser en forma de gráficas, facilitando al lector el entendimiento de los patrones diurnos en distintas temporadas y el promedio anual de diferentes elementos climáticos”.

5.1.1. Temperatura ambiente

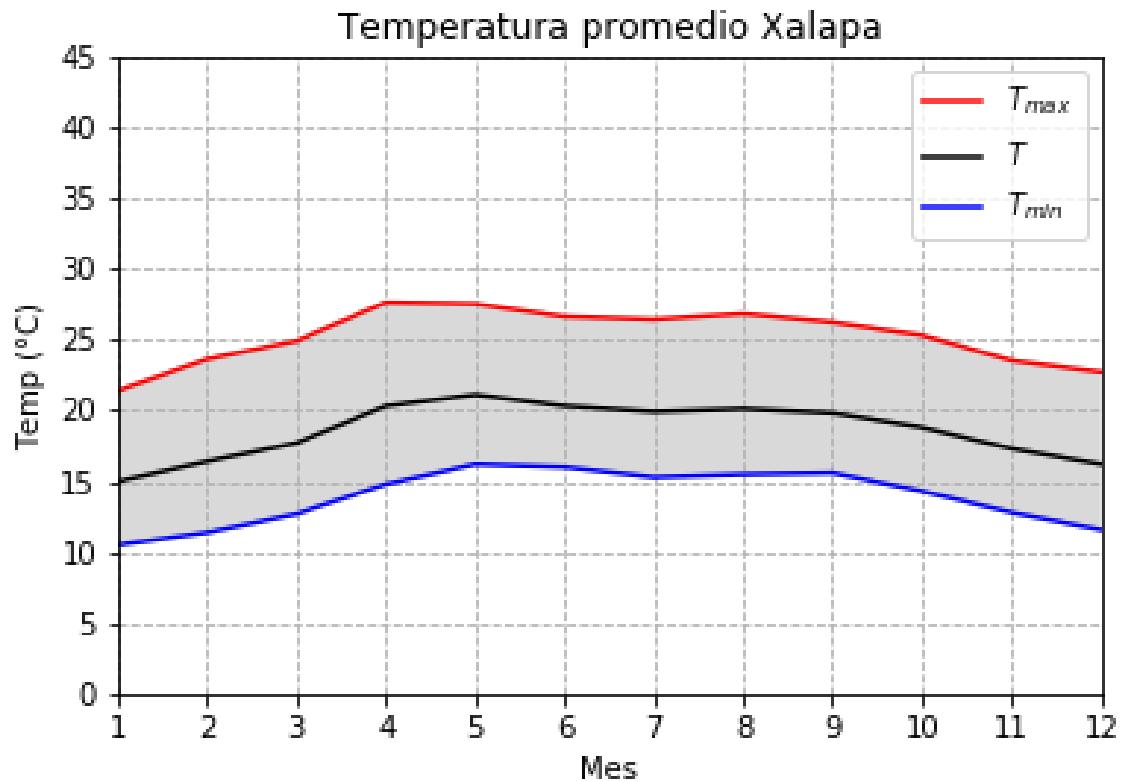


FIGURA 5.1: Temperaturas promedio máxima, mínima y media de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.1 el menor valor de la temperatura mínima promedio 10.5°C temperatura promedio mínima 13.9°C en enero, el mayor valor Temperatura máxima promedio 27.6°C en abril, Temperatura máxima promedio 25.2°C y una temperatura promedio anual de 18.6°C lo cual lo hace **Templado: T** .

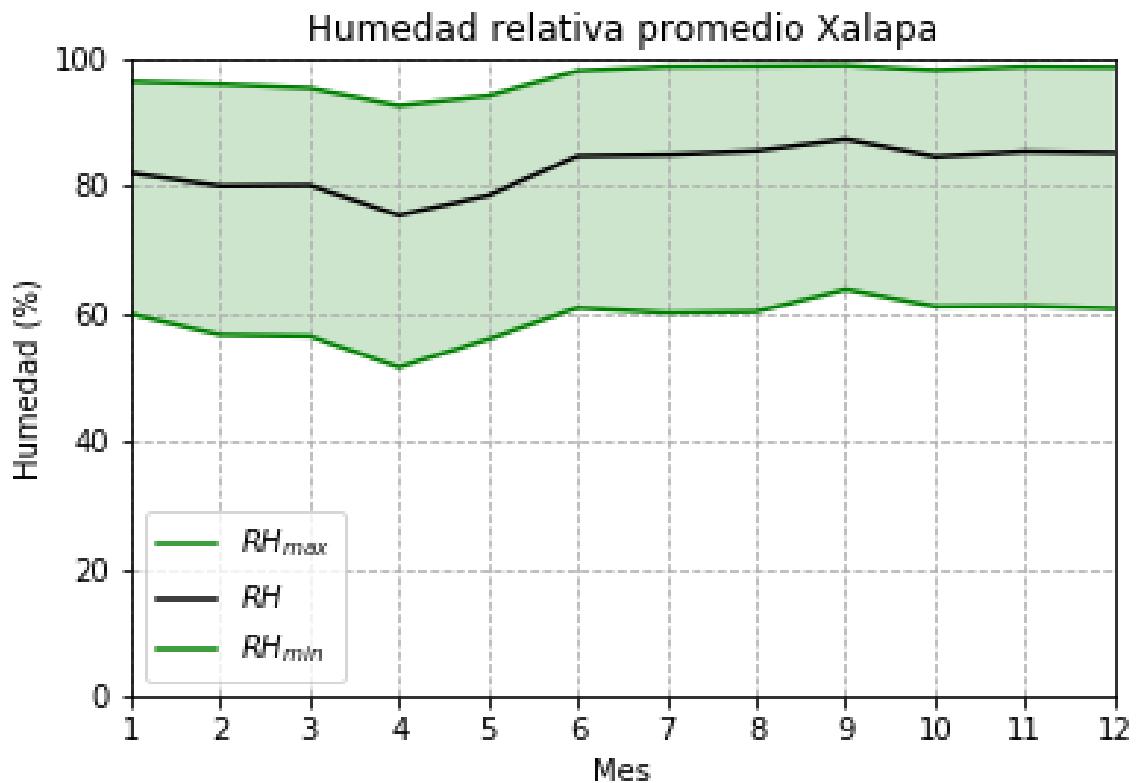


FIGURA 5.2: Humedad relativa promedio máxima, mínima y media de Xalapa, Veracruz.

5.1.2. Humedad relativa

La Figura 5.2 muestra la humedad relativa mínima promedio 51.5 %, humedad relativa promedio mínima 75.3 % en abril, humedad relativa promedio máxima 87.9 % en octubre, el mayor valor de la humedad relativa máxima promedio es 98.8 % en el mes de octubre, humedad relativa promedio anual de 82.7 % lo cual lo hace **Húmedo: H** .

5.1.3. Contenido de vapor

5.1.3.1. Humedad específica

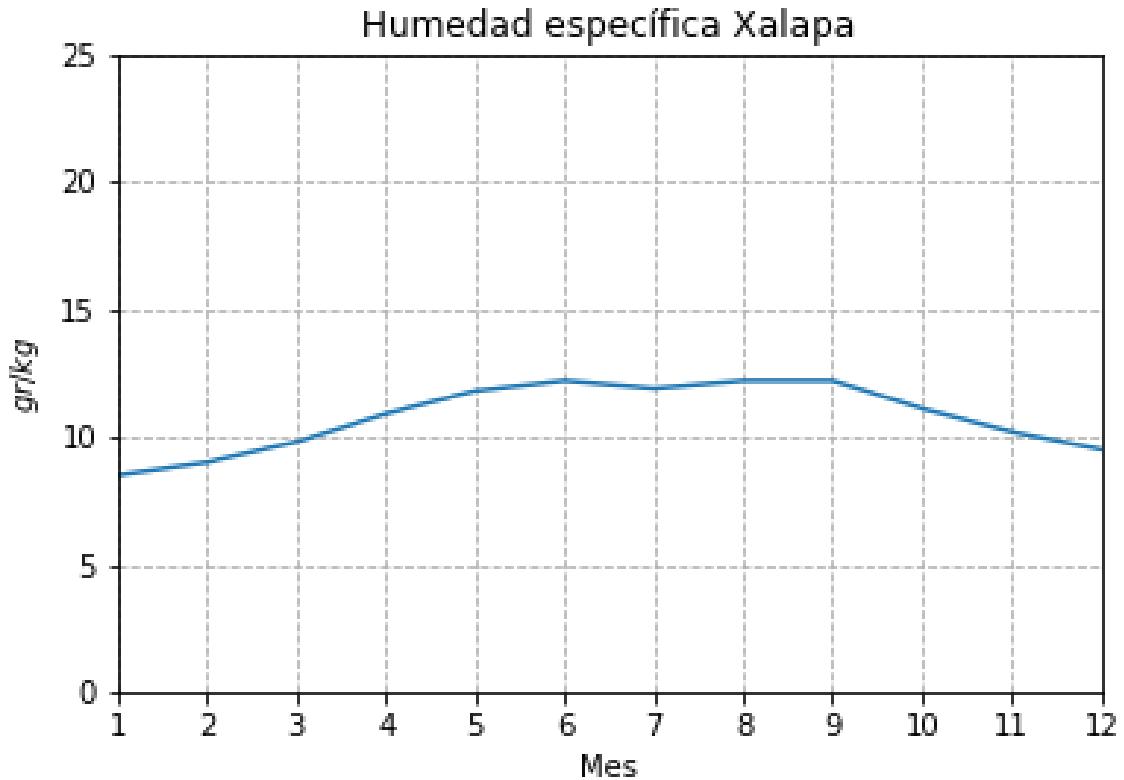


FIGURA 5.3: Humedad específica promedio de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.3 muestra el comportamiento anual de la variable como su valor mínimo 8.5 gr/kg en enero, valor máximo 12.2 gr/kg y un promedio de 10.8 gr/kg **Medio Bajo: M-**.

5.1.3.2. Humedad absoluta

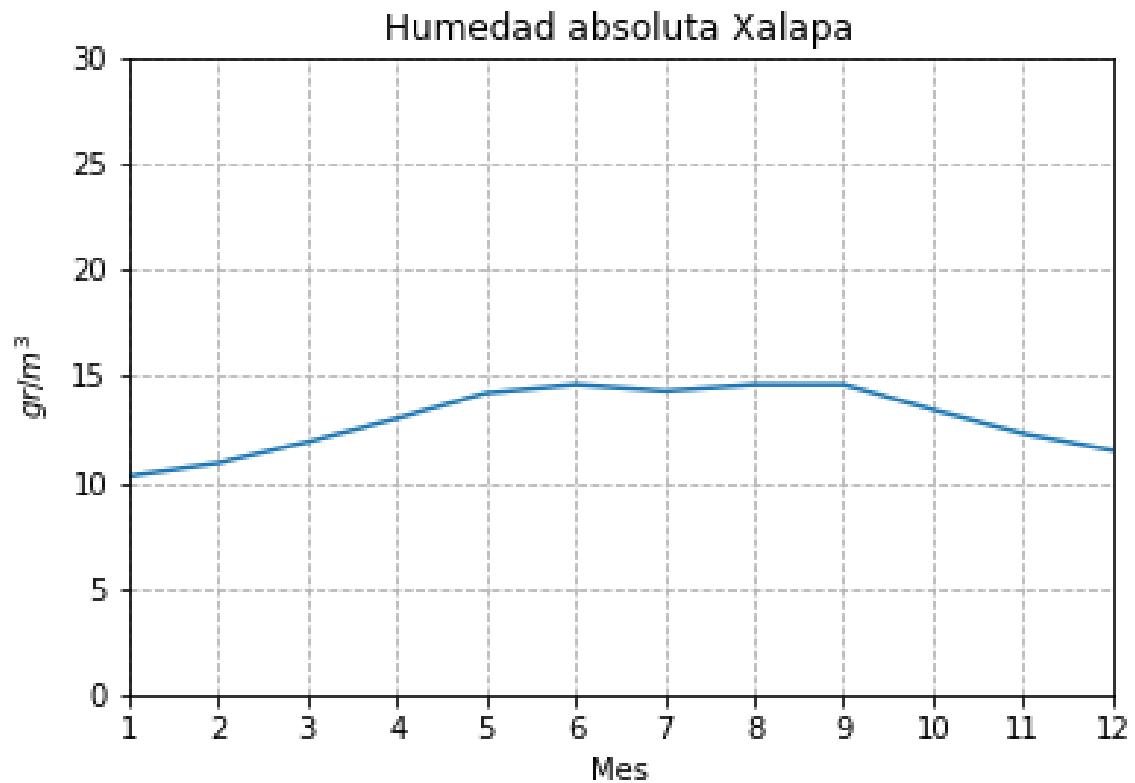


FIGURA 5.4: Humedad absoluta promedio de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.4 muestra el comportamiento anual de la variable como su el valor mínimo $10.3 \text{ gr}/\text{m}^3$ en enero, valor máximo $14.6 \text{ gr}/\text{m}^3$ para junio, agosto, septiembre, y un promedio de $13.0 \text{ gr}/\text{m}^3$ todos son **Medio Alto: M+**.

5.1.4. Índice termohigríco

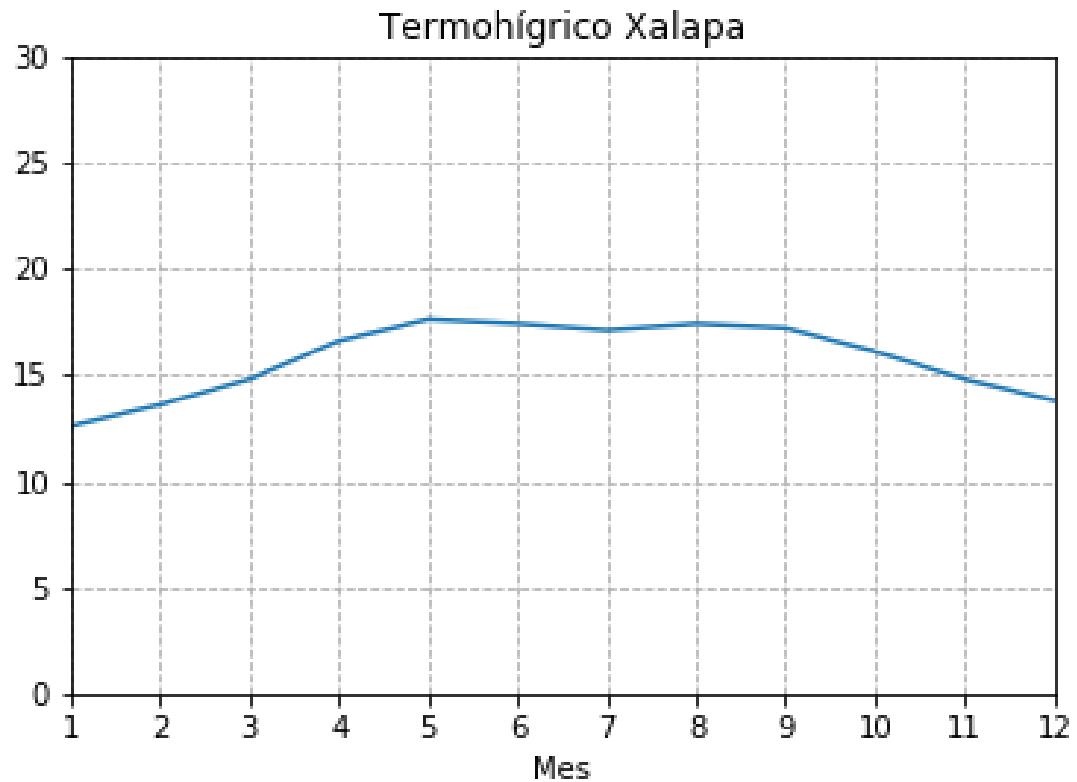


FIGURA 5.5: Termohigríco de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.5 muestra el menor valor del índice termohigríco para la ciudad de Xalapa es el mes de enero con 12.6 que lo hace **Medio alto M+**, el mayor valor es 17.6 para el mes de mayo **Alto A**, y un promedio anual de 15.8 lo hace **Alto A**.

5.1.5. Radiación solar horizontal

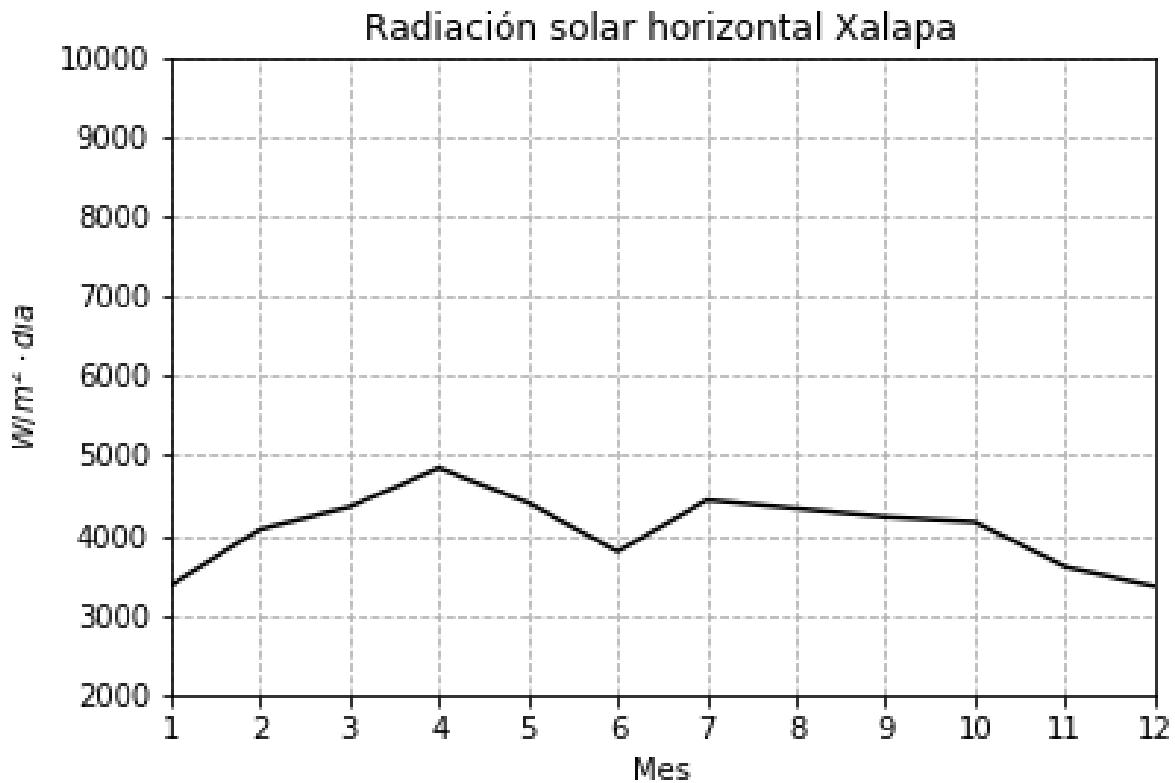


FIGURA 5.6: Radiación solar horizontal acumulado diario de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.6 muestra el mínimo valor registrado es de $3370.2\text{ }W/m^2 \cdot dia$ en el mes de diciembre, máximo valor es $4846.6\text{ }W/m^2 \cdot dia$, y un valor promedio de $4151.5\text{ }W/m^2 \cdot dia$ que cae dentro de la categoría de **Débil**: *D*.

5.1.6. Hígricos

5.1.6.1. Ombrotérmico1

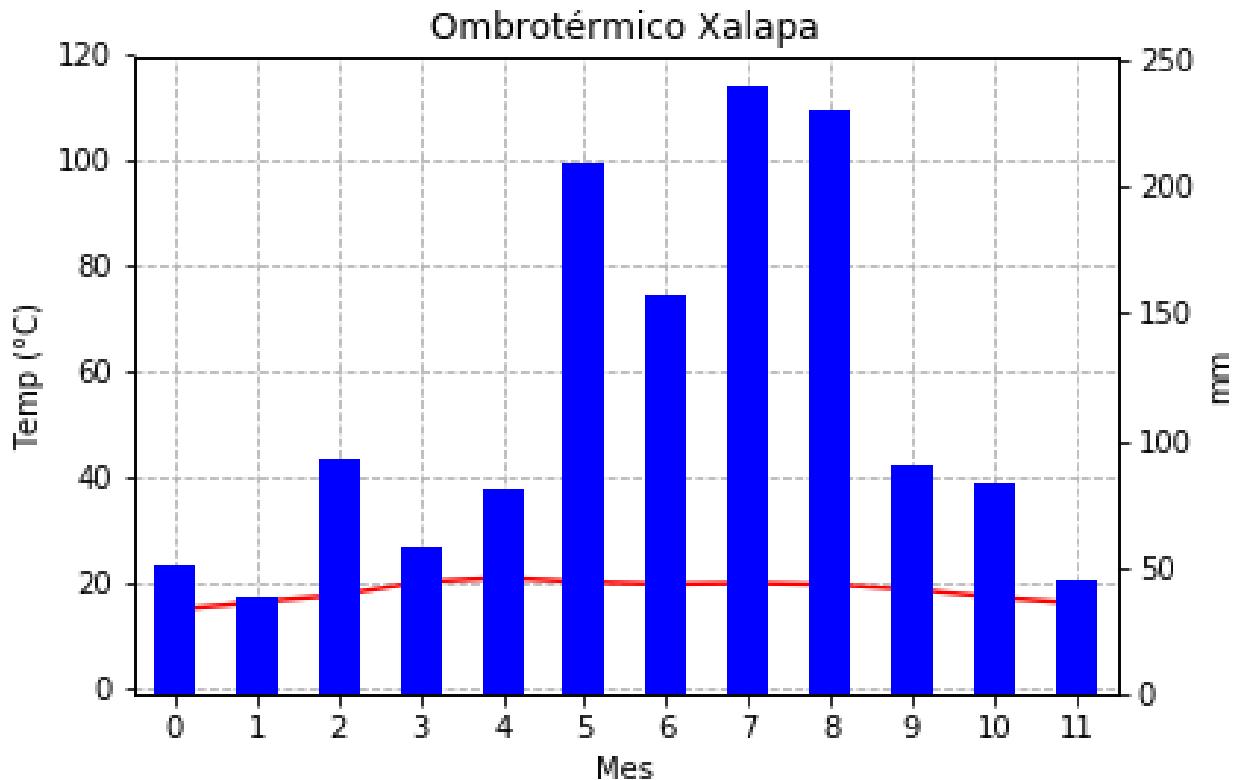


FIGURA 5.7: Ombrótermico de Xalapa, Veracruz.

La Figura 5.7 muestra el promedio del mínimo acumulado mensual es de 38.6 mm con una temperatura 16.4°C para el mes de febrero que registró el mínimo en el índice ombrotérmico de 0.2 que se considera como **Lluvioso: LL**, el máximo 239.8 mm con 20.1°C y da 5.0 **Lluvioso: LL** en agosto, y en total es un conteo de 12 meses **Lluviosos** y 0 meses **Secos**. El acoplamiento de la temperatura es fijado mediante el valor mínimo -1 y el máximo que es $\frac{PP_{max}}{2}$.

5.1.6.2. Precipitación suficiente para su uso doméstico

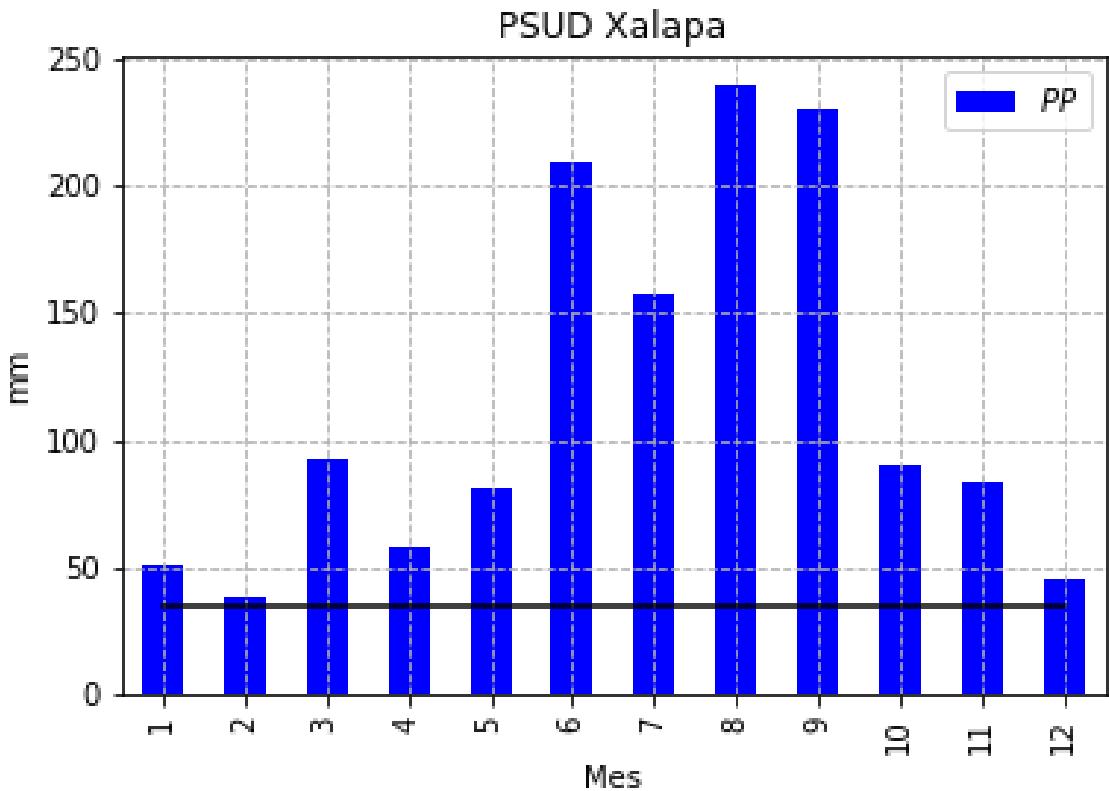


FIGURA 5.8: Precipitación suficiente para uso doméstico de Xalapa, Veracruz.

La linea horizontal negra equivale 34.7 mm, que es el mínimo requerido para que el índice PSUD = 1.

La Figura 5.8 el promedio del mínimo acumulado mensual es de 38.6 mm para el mes de febrero con un índice PSUD de 1.1 es **Suficiente (S)**, el máximo 239.8 mm en agosto con 6.9 es **Suficiente (S)**, y en total es un conteo de 12 meses **Suficiente**, 0 meses **Insuficiente**, y 1376.6 mm acumulados anuales que es 3.9 índice anual **Suficiente (S)**.

5.2. Sensibilidad de índices

En esta sección evaluaremos todos los índices existentes en *bioclimarg* (2016) y los dos propuestos en esta tesis. Fueron tomadas en cuenta los doce meses del año de cada una de las diecinueve estaciones automáticas. Nos da un doscientos ochenta y ocho (288) datos individuales.

5.2.1. Temperatura

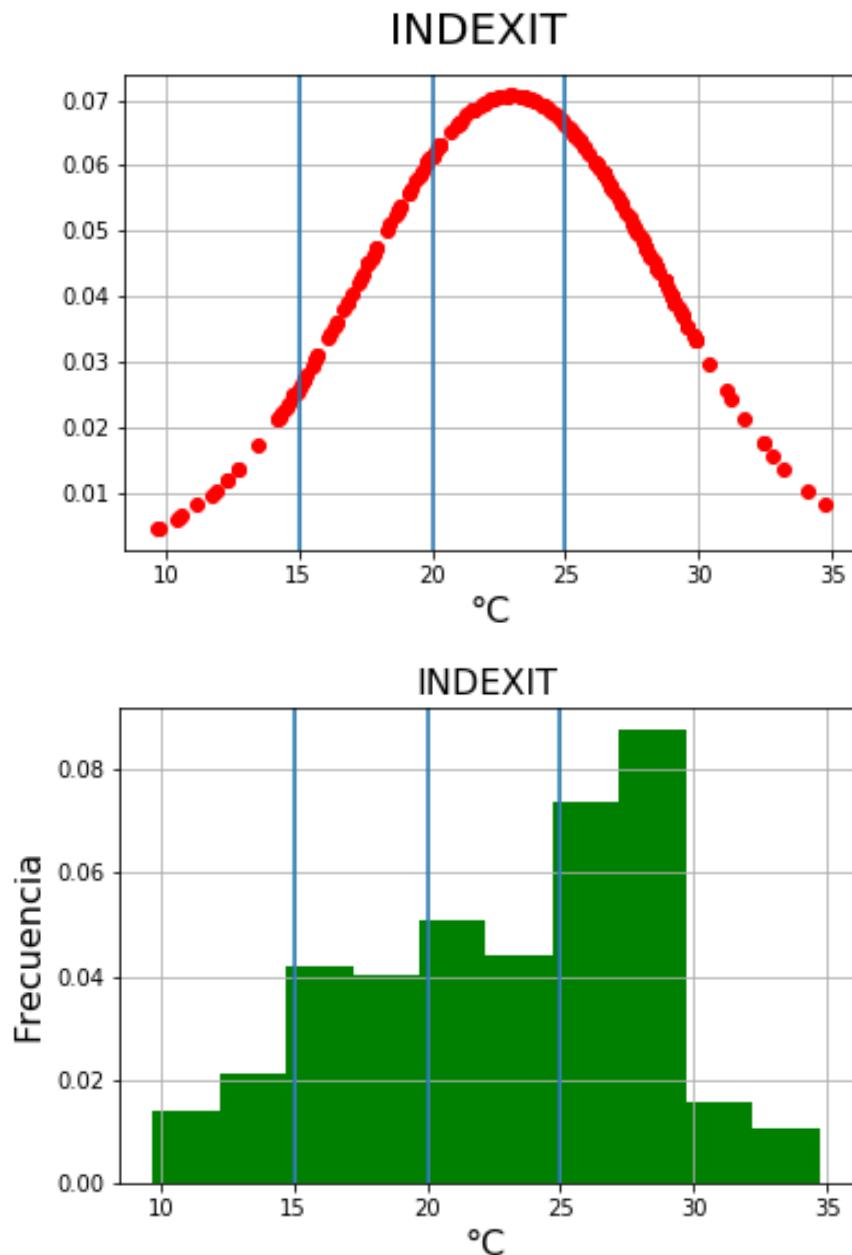


FIGURA 5.9: Distribución teórica e histograma del índice de temperatura ambiente.

La distribución teórica e histograma de la temperatura a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.9, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos por encima de los 25°C y dentro de la clasificación correspondiente a **CALUROSO (K)**. Mientras tanto la distribución teórica es menor a los 25°C pero mayor a 20°C se clasifica como **CÁLIDO (C)**.

5.2.2. Humedad relativa

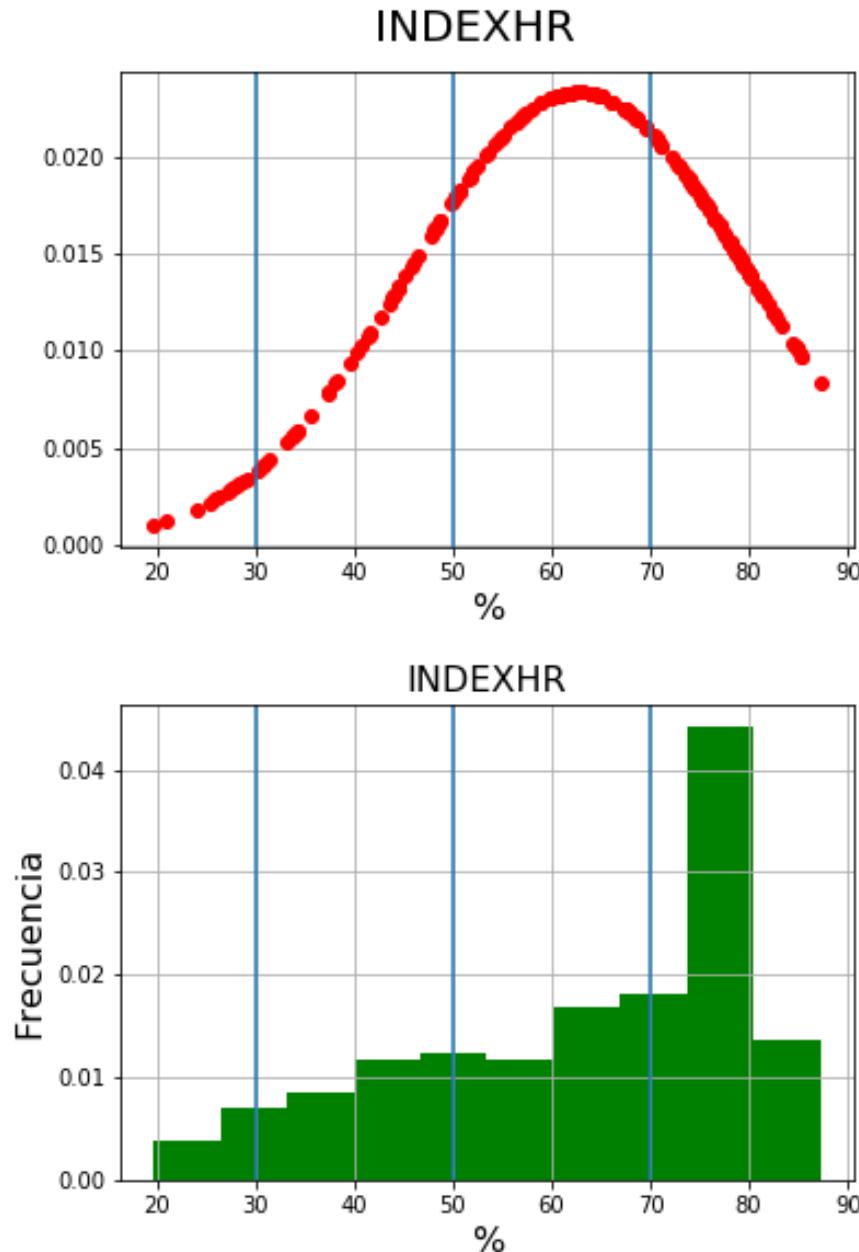


FIGURA 5.10: Distribución teórica e histograma del índice de humedad relativa.

La distribución teórica e histograma de la humedad relativa a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.10, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos por encima de los 70 % y dentro de la clasificación correspondiente a **Húmedo (H)**. Mientras tanto la distribución teórica es menor a los 70 % pero mayor a 50 % se clasifica como **Sub-Húmedo (SH)**.

5.2.3. Radiación solar horizontal

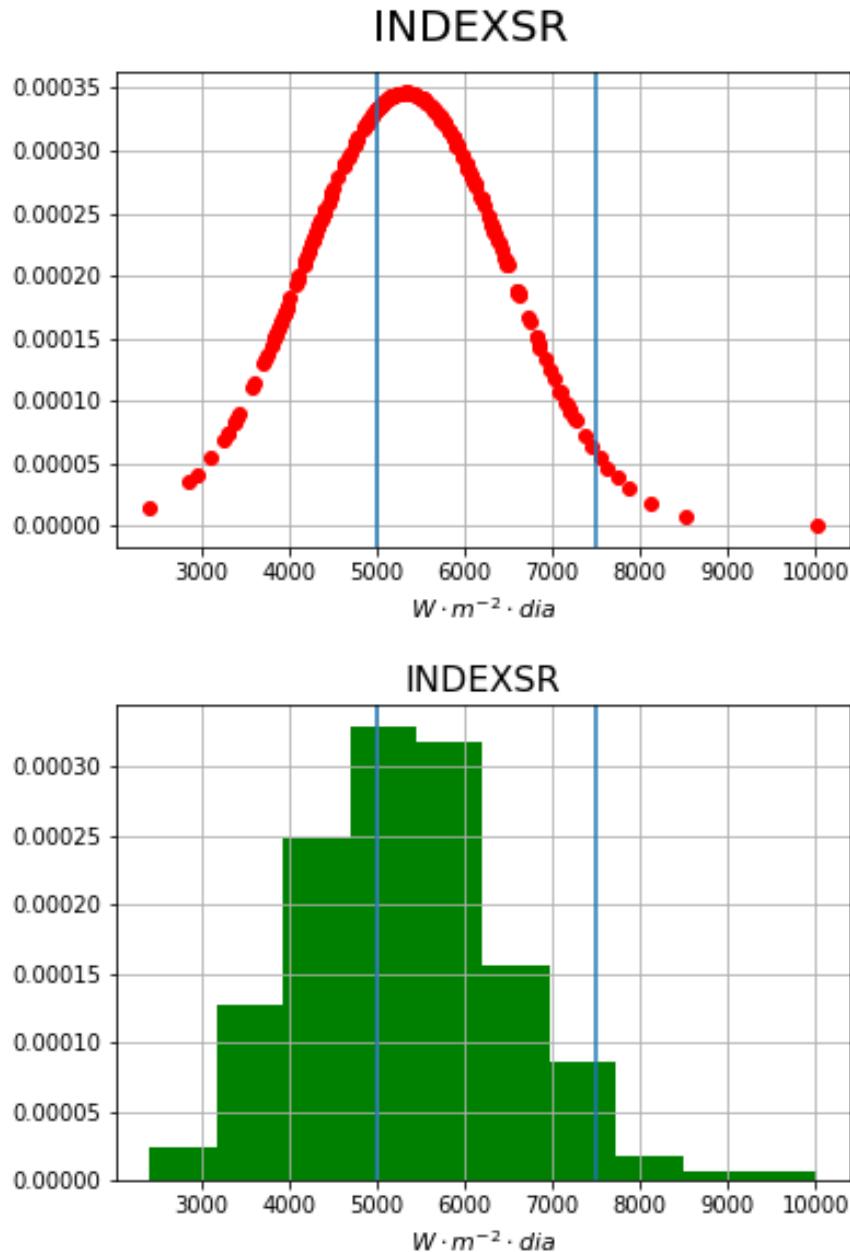


FIGURA 5.11: Distribución teórica e histograma del índice de radiación solar.

La distribución teórica e histograma de la radiación a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.11, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos por encima de los $5000 \text{ } W/m^2 \cdot dia$ y dentro de la clasificación correspondiente a **Moderada (M)**. Mientras tanto la distribución teórica es mayor a $5000 \text{ } W/m^2 \cdot dia$ se clasifica como **Moderada (M)**.

5.2.4. Contenido de vapor

5.2.4.1. Humedad específica

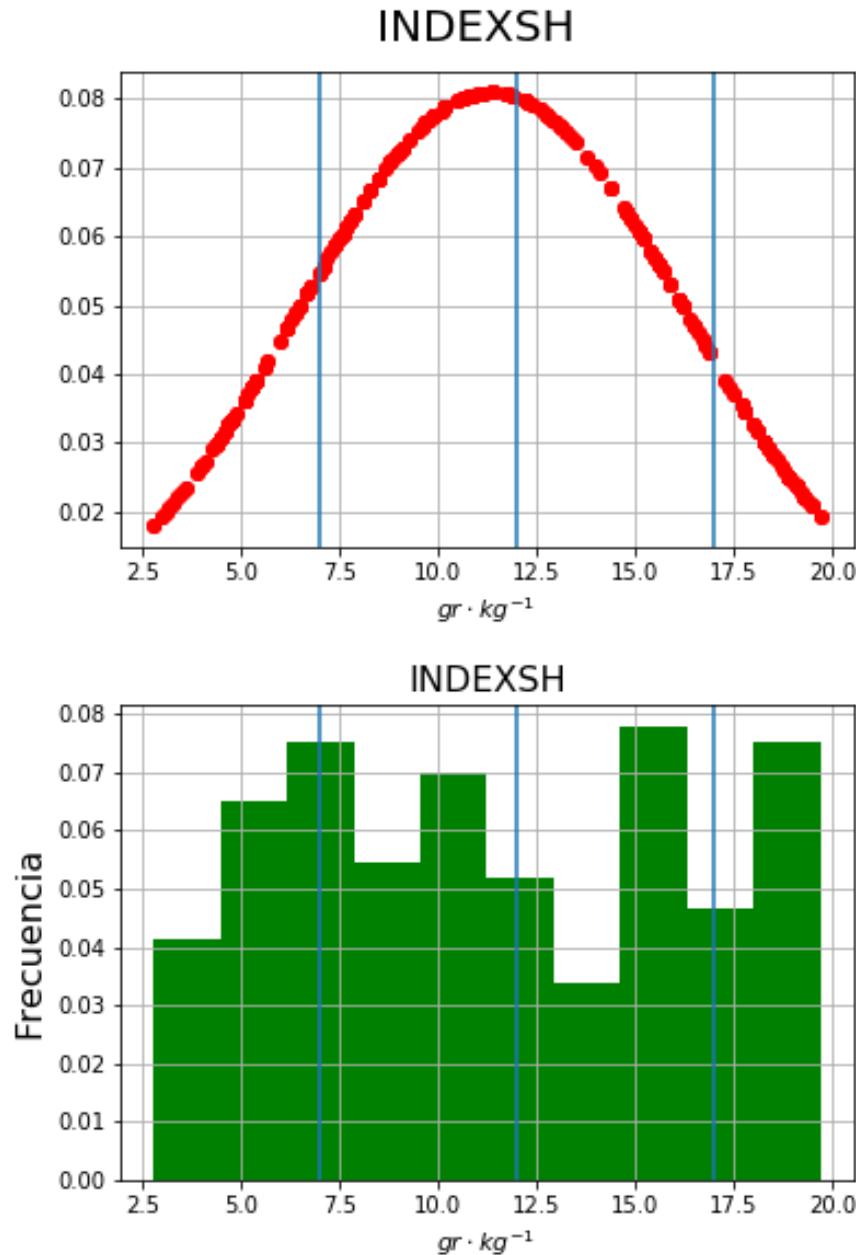


FIGURA 5.12: Distribución teórica e histograma del índice de humedad específica.

La distribución teórica e histograma de la humedad específica a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.12, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos por encima de los 12.5 gr/kg y dentro de la clasificación correspondiente a **Medio Alto (M+)**. Mientras tanto la distribución teórica es menor a 12.5 gr/kg pero aún así se clasifica como **Media Alta (M+)**.

5.2.4.2. Humedad absoluta

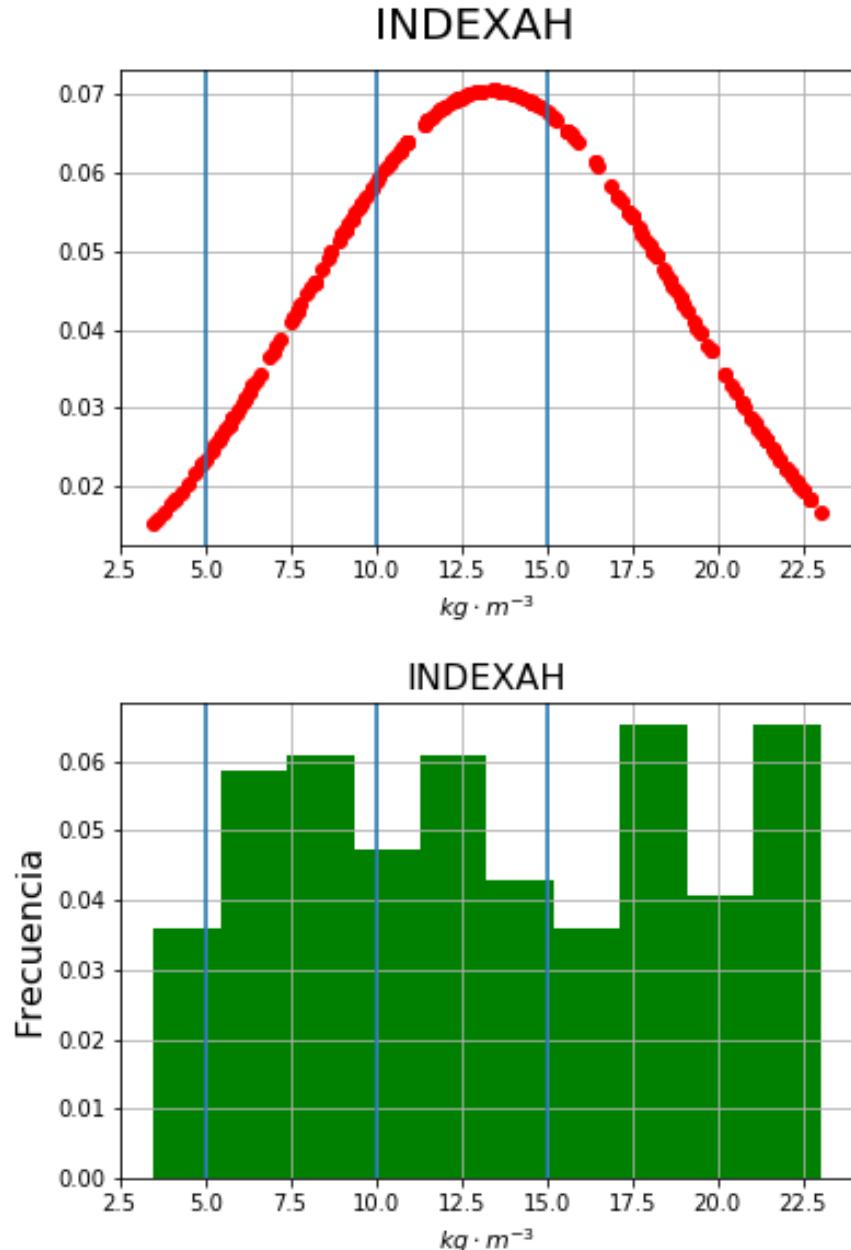


FIGURA 5.13: Distribución teórica e histograma del índice de humedad absoluta.

La distribución teórica e histograma de la humedad absoluta a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.13, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos por encima de los $12.5 \text{ gr}/m^3$ y dentro de la clasificación correspondiente a **Medio Alto (M+)**. Mientras tanto la distribución teórica es mayor a $17.5 \text{ gr}/m^3$ y clasifica como **Alta (A)**.

5.2.5. Hígricos

5.2.5.1. Ombrotérmico1

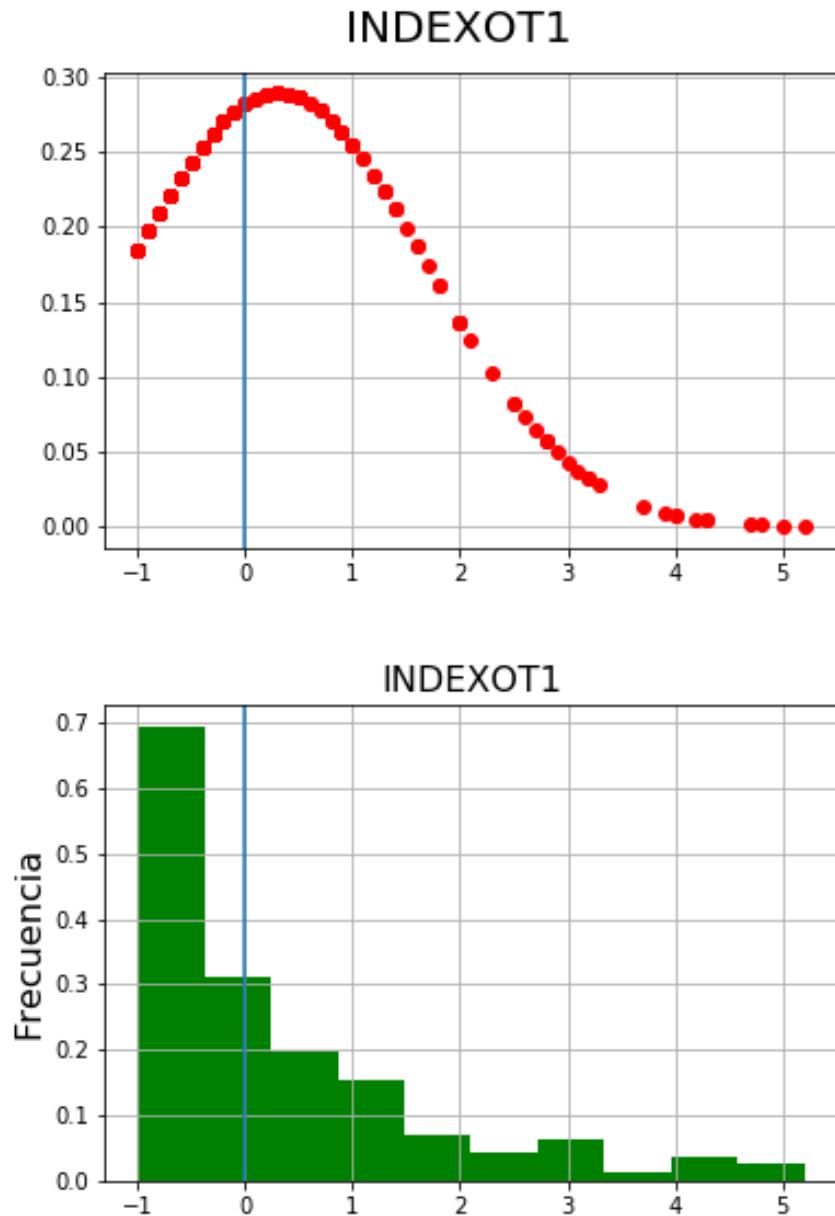


FIGURA 5.14: Distribución de densidad teórica e histograma del índice ombrotérmico1.

En la Figura 5.14 se observa en la mayoría de a población como **Seco** (S) en el histograma; mientras que en la densidad teórica es **lluvioso** (LL).

5.2.5.2. Ombrotérmico2

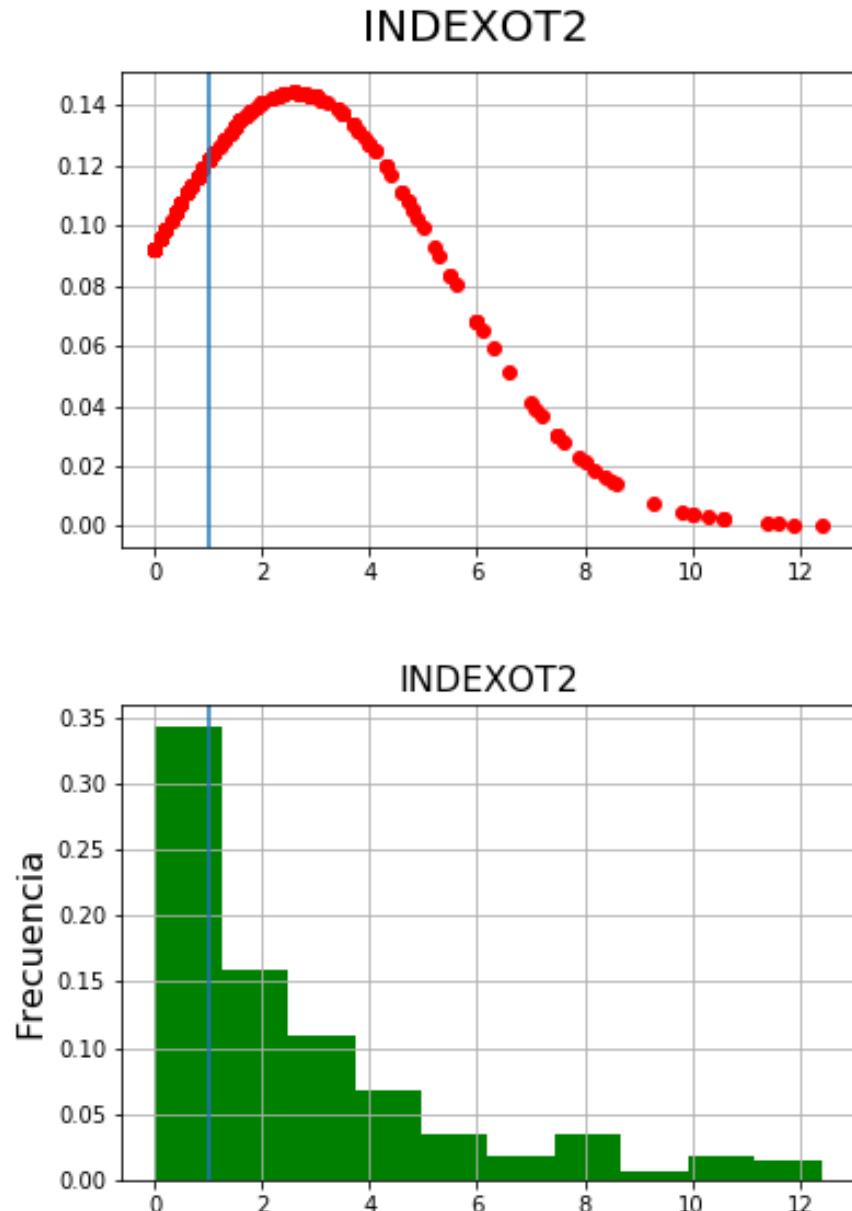


FIGURA 5.15: Distribución teórica e histograma del índice ombrotérmico2.

En la Figura 5.15 se observa en la mayoría de a población como **Seco (S)** en el histograma; mientras que en la densidad teórica es **lluvioso (LL)**.

5.2.5.3. Precipitación suficiente para su uso doméstico

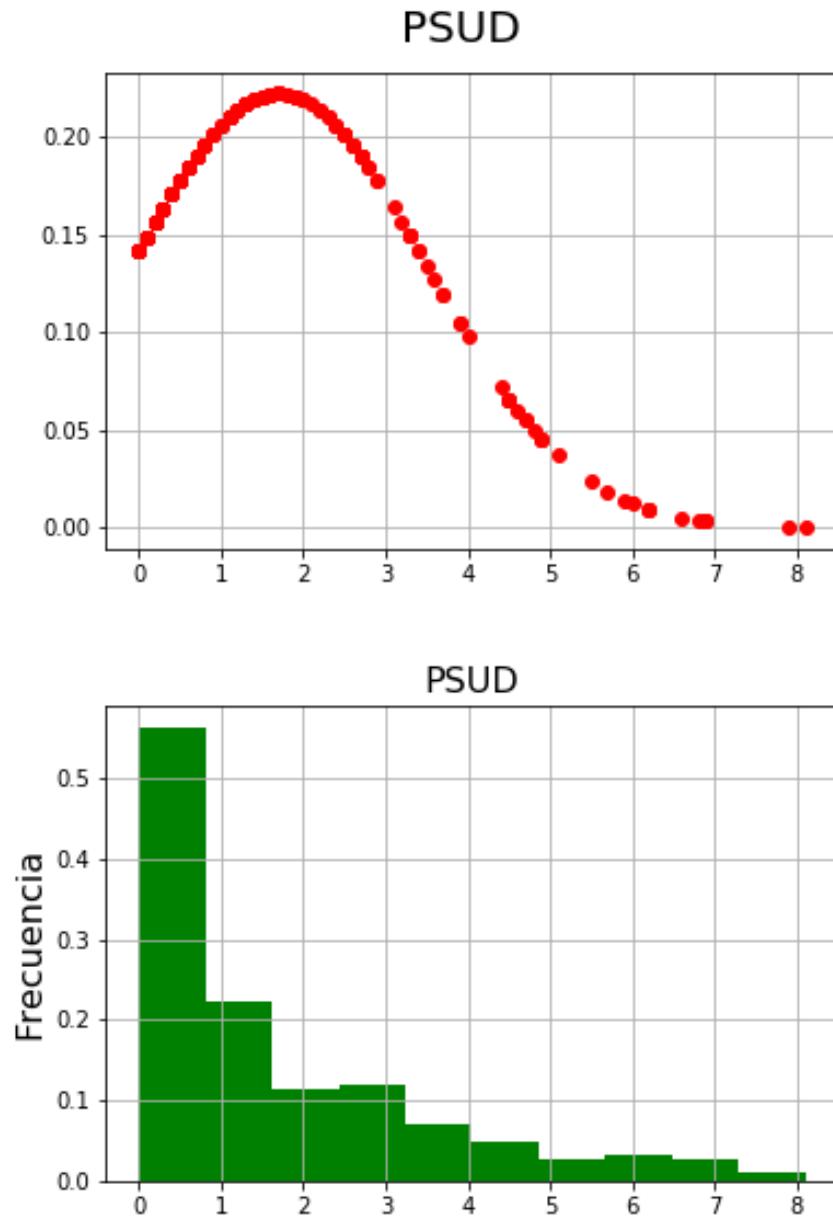


FIGURA 5.16: Distribución teórica e histograma del índice de precipitación suficiente para su uso doméstico (PSUD).

En la Figura 5.16 se observa en la mayoría de la población como **Insuficiente** (I) en el histograma; mientras que en la densidad teórica es **Suficiente** (S).

5.2.5.4. Índice termohigríco

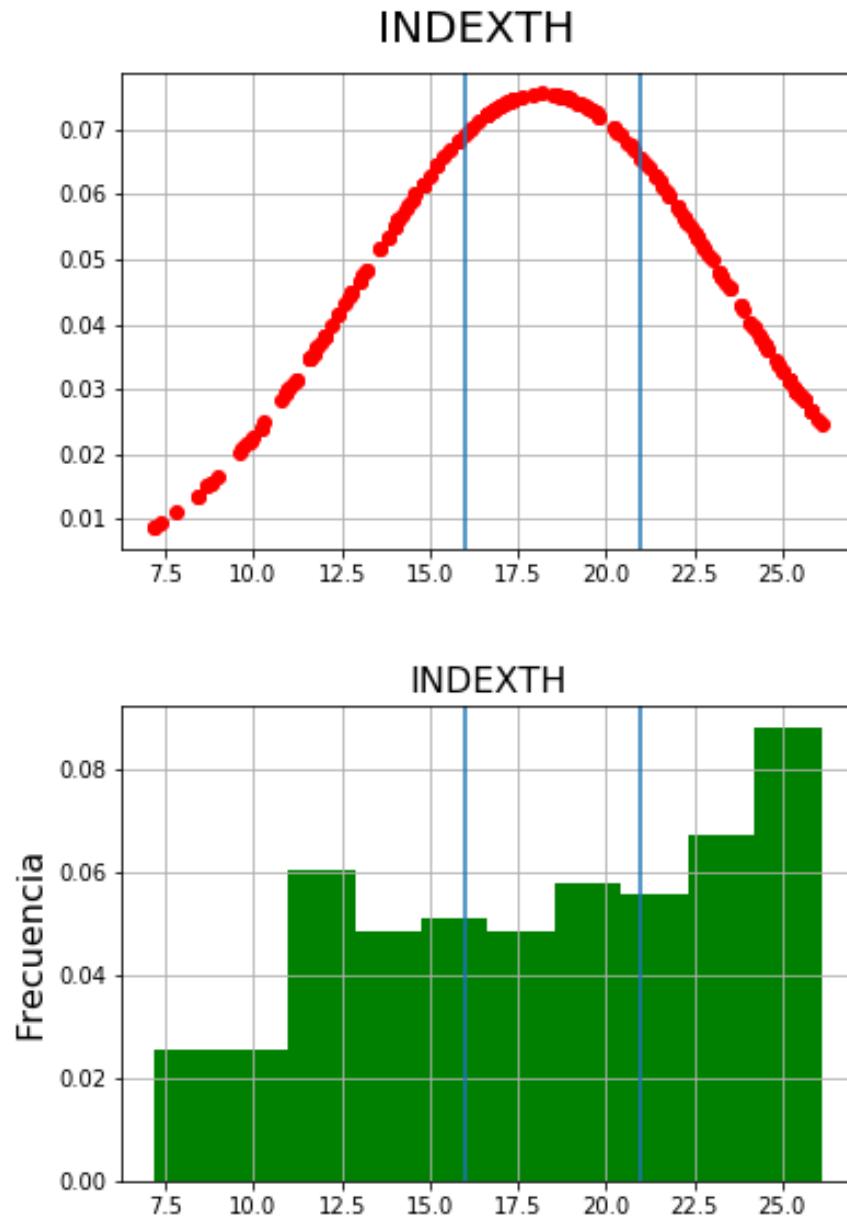


FIGURA 5.17: Distribución teórica e histograma del índice de termohigríco.

La distribución teórica e histograma de la humedad específica a lo largo los 12 meses del año y los diferentes puntos geográficos estudiados de la República Mexicana como se muestra en la figura 5.12, donde se puede observar en el histograma un mayor número de datos al rededor de los 25.0 y dentro de la clasificación correspondiente a **Alto (A)**. Mientras tanto la distribución teórica es menor a 17.5 pero aún así se clasifica como **Medio (M)**.

5.3. Correlación de métodos de estimación

5.3.1. Temperatura horaria

TABLA 5.1: Temperatura ambiente horaria estimada contra observada

Lugar	r	RSME ($^{\circ}\text{C}$)
Acapulco	0.97	0.61
Chetumal	0.93	0.72
Chihuahua	0.98	0.28
Culiacan	0.97	0.77
Hermosillo	0.99	0.59
La Paz	0.98	0.78
Manzanillo	0.98	0.69
Merida	0.96	0.95
Mexicali	0.98	0.48
Monterrey	0.98	0.78
Oaxaca	0.98	0.99
Pto Vallarta	0.99	0.35
Tacubaya	0.99	0.83
Tampico	0.98	0.89
Toluca	0.97	0.9
Torreón	0.98	0.6
Tuxtla Gutierrez	0.96	1.09
Xalapa	0.95	0.92
Zacatecas	0.93	0.6
Promedio	0.97	0.73

En la Tabla 5.1 el la correlación de Pearson de toda la muestra fue de $r = 0.97$ y un $\text{RSME} = 0.73^{\circ}\text{C}$. El comparativamente tuvo un ajuste menor fue **Chetumal** con $r = 0.93$ y un $\text{RSME} = 0.72^{\circ}\text{C}$, mientras que el ajuste mayor fue **Pto. Vallarta** con $r = 0.99$ y un $\text{RSME} = 0.35^{\circ}\text{C}$.

5.3.2. Humedad relativa horaria

TABLA 5.2: Humedad relativa horaria estimada contra observada

Lugar	r	RSME (%)
Acapulco	0.92	0.74
Chetumal	0.86	0.93
Chihuahua	0.76	4.89
Culiacan	0.86	1.14
Hermosillo	0.87	4.20
La Paz	0.93	3.39
Manzanillo	0.85	2.07
Merida	0.93	1.36
Mexicali	0.80	5.75
Monterrey	0.90	3.20
Oaxaca	0.96	1.18
Pto Vallarta	0.86	1.69
Tacubaya	0.84	3.26
Tampico	0.92	0.16
Toluca	0.91	2.84
Torreón	0.80	4.93
Tuxtla Gutierrez	0.91	2.31
Xalapa	0.76	3.53
Zacatecas	0.60	4.59
Promedio	0.85	2.80

En la Tabla 5.2 el promedio de la correlación de Pearson de toda la muestra fue de $r = 0.85$ y un $RSME = 2.80\%$. El comparativamente tuvo un ajuste menor fue **Zacatecas** con $r = 0.60$ y un $RSME = 4.59\%$, mientras que el ajuste mayor fue **Oaxaca** con $r = 0.96$ y un $RSME = 1.18\%$. Se debe de hacer hincapié que el método de [Tejeda-Martínez, 1994] para la humedad fue estimado de los valores de temperatura, este mismo modelo contempla si el usuario posee los datos de humedad relativa mensual máximos y mínimos; lo cual se anticiparía un resultado aún más certero.

Capítulo 6

Conclusiones, recomendaciones, y a futuro

6.1. Conclusiones

6.1.1. Caracterización climática

Resumen de la caracterización climática de la estación sinóptica meteorológica automática ubicado en la ciudad de Xalapa en el estado de Veracruz.

- **Temperatura promedio anual:** 18.6°C
- **Radiación global horizontal promedio anual:** $4086.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{dia}$
- **Precipitación anual:** 1377 mm
- **Ombrotermico promedio anual:** 2.0
- **Humedad relativa promedio anual:** 82.7 %
- **Humedad absoluta promedio anual:** 13.0 gr/m^3
- **Humedad específica promedio anual:** 10.8 gr/kg
- **Termohigríco promedio anual:** 15.8

En la Tabla 6.1 la cual sería la el comportamiento y clasificación climático sintetizado de la estación previamente analizada.

TABLA 6.1: Resumen de clasificación climática de Xalapa, Ver.

Parametros	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp (°C)	15	16.4	17.7	20.3	21.1	20.3	19.9	20.1	19.8	18.8	17.3	16.2
RH (%)	81.9	79.9	80	75.3	78.4	84.6	84.8	85.4	87.2	84.5	85.3	85.1
SR (W/m^2)	3378.4	4080.1	4356.5	4846.6	4409.7	3799.9	4442.7	4336.4	4233.4	4170.6	3611.6	3370.2
AH (gr/m^3)	10.3	10.9	11.9	13	14.2	14.6	14.3	14.6	14.6	13.4	12.3	11.5
SH (gr/Kg)	8.5	9	9.8	10.9	11.8	12.2	11.9	12.2	12.2	11.1	10.2	9.5
TH	12.6	13.6	14.8	16.6	17.6	17.4	17.1	17.4	17.2	16.1	14.8	13.8
OT	0.7	0.2	1.6	0.4	0.9	4.2	2.9	5	4.8	1.4	1.4	0.4
PSUD	1.5	1.1	2.7	1.7	2.3	6	4.5	6.9	6.6	2.6	2.4	1.3
Clasificación												
Temp	F	T	T	C	C	C	T	C	T	T	T	T
RH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
SR	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
AH	M+											
SH	M-	M-	M-	M+	M-							
TH	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	B	B
OT	LL											
PSUD	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

6.1.2. Sensibilidad geográfica de los índices

Los diferentes índices existentes en *bioclimarq (2016)* fueron evaluados en su distribución de la población además de un análisis subjetivo sustentado en el conocimiento geográfico a priori, es decir un análisis bayesiano de la muestra. Dadas las características naturales y ampliamente diferentes entre los elementos de la población esperaríamos un comportamiento platicúrtico en algunos de los histogramas.

Para el caso de los índices de **Temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, y radiación solar horizontal** poseen una sensibilidad geográfica aceptable y no requieren de mayor cambio, mientras que los índices **ombrotérmico, y termohídrico** debe replantearse su uso. En el caso del ombrotérmico no es claro entre si está tratando de determinar el régimen de precipitación del punto en escrutinio o si simplemente busca categorizar entre si el mismo es lluvioso o no, por ello se considera como un índice no adecuado. El índice termohídrico tiene un sesgo en clase alta de la muestra y no es geográficamente sensible, por ello proponemos replantearlo o su uso.

En cuanto los índices propuestos en esta tesina (**humedad específica y precipitación suficiente para su uso doméstico (PSUD)**) se concluye lo siguiente. La humedad específica físicamente y comportamiento se asemeja a la humedad absoluta, ende es geográficamente sensible. El PSUD no busca caracterizar la precipitación de un lugar sino es únicamente una cuantificación aproximada para la incorporación de un captor de agua pluvial al proyecto arquitectónico, y de esta manera ser lo más sostenible posible.

6.1.3. Estimación de temperatura ambiente y humedad relativa horaria

Para la estimación de la temperatura ambiente y humedad relativa horaria tienen un coeficiente de $r = 0.97$ con un $RSME = 0.73^{\circ}\text{C}$ y de $r = 0.85$ con un $RSME = 2.80\%$ respectivamente y ello sustenta la continuidad de su uso en *bioclimarq (2016)*.

6.1.4. Recomendaciones:

- Añadir una casilla de ingreso y modelo de estimación para la presión atmosférica indispensable para la estimación de la humedad específica. Ya sea generar un modelo propio, el modelo propuesto por [Tejeda-Martínez et al., 2008] o la hypsométrica teorizada en [Stull, 1988].
- Añadir **precipitación suficiente para uso doméstico** por los beneficios que tiene captar agua de lluvia.
- Reconsiderar las clases de la **humedad absoluta**
- Añadir en **radiación solar horizontal** mapas de distribución anual (de ser posible interactivos) y un concepto como *Sun Number* que calcula necesidades de electricidad del usuario teniendo en consideración paneles solares. Ambas ideas son extraídas del **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**.

6.2. A futuro

Dado que esta tesina deja un código capaz de leer una los formatos de las ESIME's de manera automática, correrlo para todas las estaciones existentes y que *bioclimarq (2016)* ofrezca a sus usuarios una base de datos observados para su uso en arquitectura sostenible.

Explorar la posibilidad de añadir nuevos índices al arsenal de *bioclimarq (2016)*.

Hacer el ejercicio de esta tesina considerando viento.

Las variables climatológicas de una misma región pueden variar apreciablemente si es dentro de un contexto urbano o natural como lo menciona [Givoni, 1998] “La diferencia existe en una temperatura, velocidad y/o dirección de viento, humedad, radiación solar y radiación de onda larga nocturna, niebla, precipitación, así como turbulencia y calidad química del aire”; por ende sería apropiado agregar conceptos como islas de calor a *bioclimarq (2016)*.

Considerar escenarios de cambio climático como lo mencionan estos autores:

Una revisión de medidas potenciales de adaptación sugiere tres distintas maneras de adaptación: cambios generales en la estrategia comercial de la compañía (adaptación comercial); cambios a la tecnología usada para producir o entregar un producto o servicio (adaptación tecnológica); y cambios relacionados al manejo de sistemas financieros, financiación o seguro de la compañía (adaptación financiera) [Hertin et al., 2003].

Las implicaciones simuladas de asumir cambio climático sugiere que la tendencia para el futuro es que las necesidades de calentamiento bajarán, así como las necesidades de enfriamiento aumentarán de manera considerable [Orehounig et al., 2011].

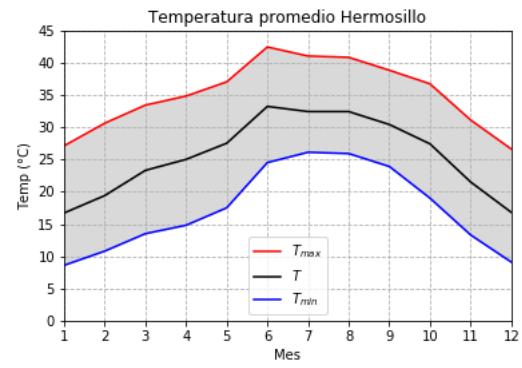
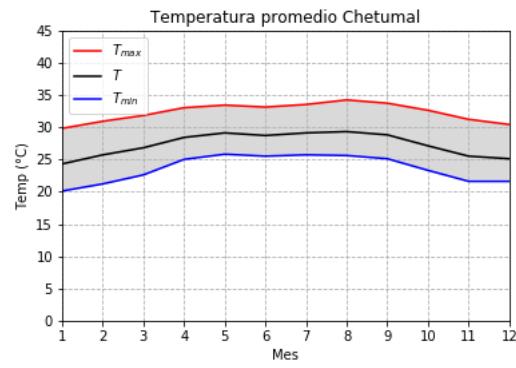
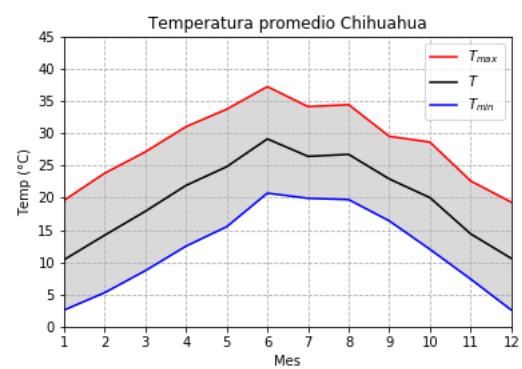
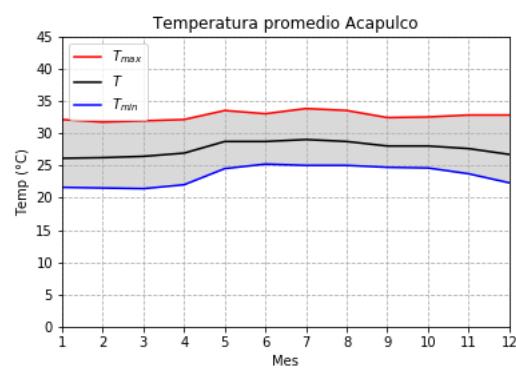
“Sin embargo falta trabajar en la construcción de escenarios de confort térmico en los que seguramente las personas tendrán que adaptarse a las condiciones cambiantes, por lo que los estándares reconocidos hasta la fecha tendrán que modificarse.”[Gómez-Azpeitia et al., 2007]

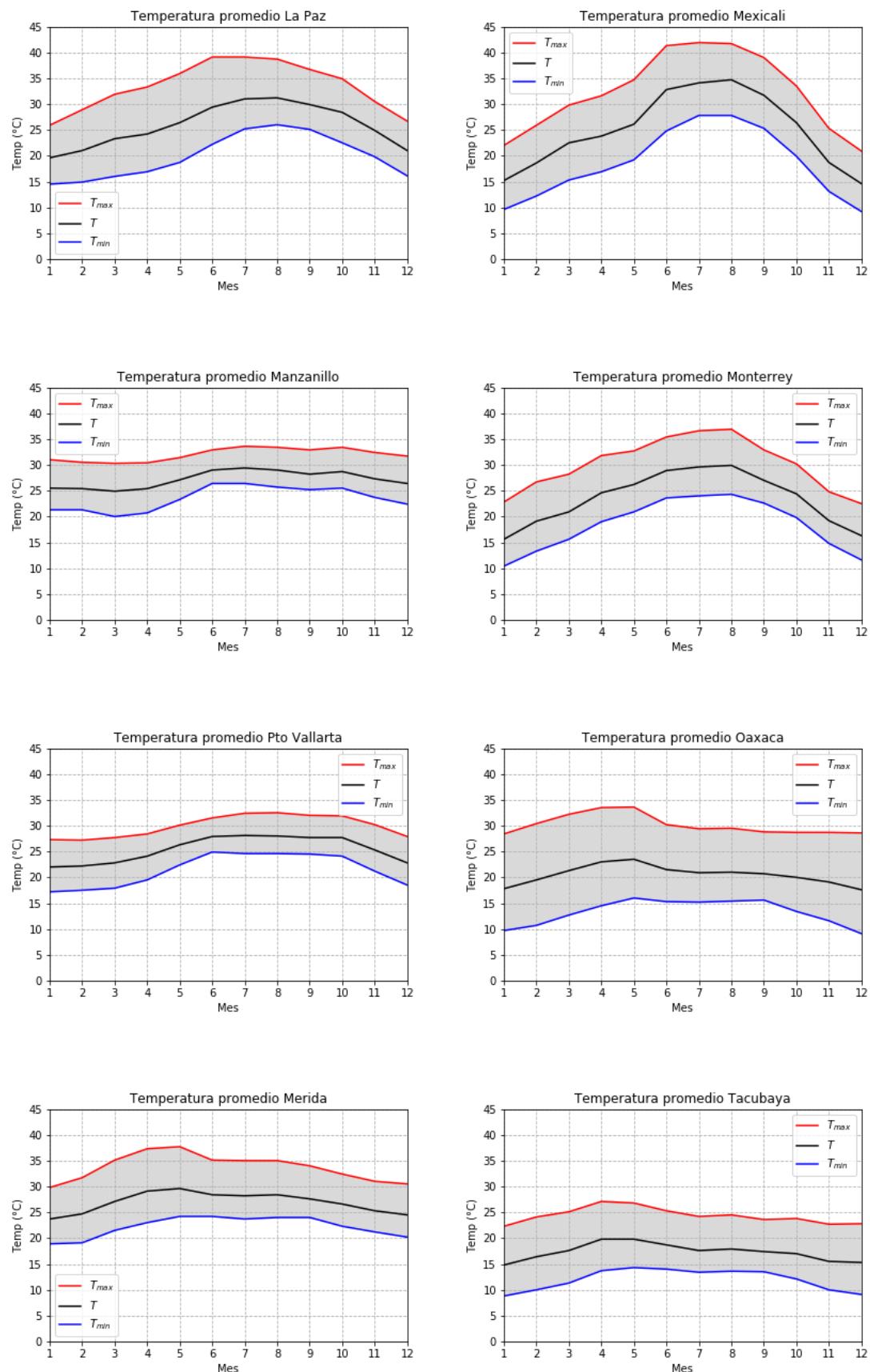
“Las localidades de climas cálidos como Acapulco, Tuxtla Gutiérrez, Ciudad del Carmen y Chetumal requerirán un incremento en sistemas de enfriamiento de un 100 % o hasta de un 200 % para Veracruz, mientras que Oaxaca y Xalapa, templadas actualmente (es decir, con requerimientos de enfriamiento y de calefacción relativamente bajos), vivirían una situación cálida inédita” [Tejeda-Martínez and Rivas-Camargo, 2003]

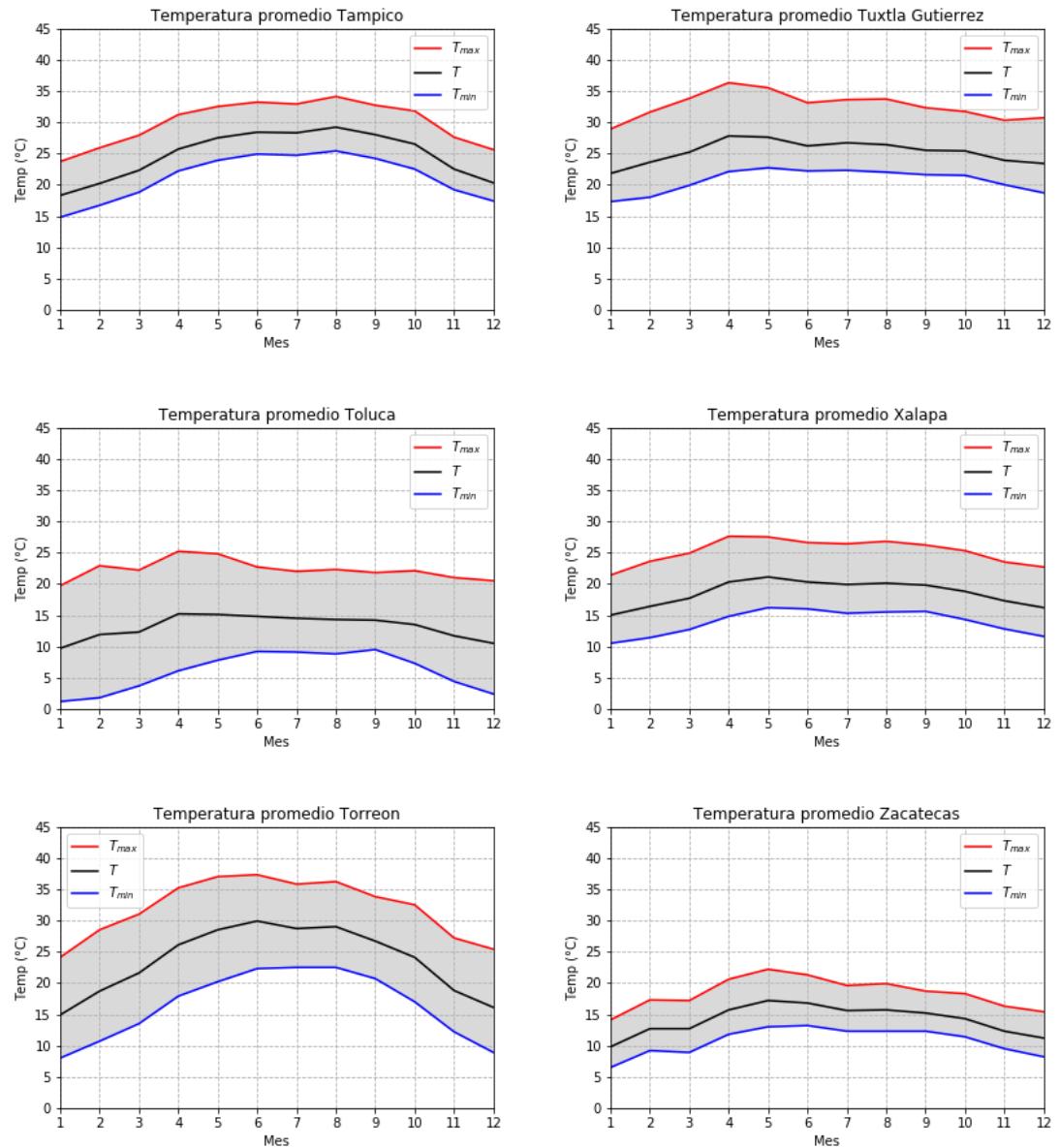
Apéndice A

Caracterización climática

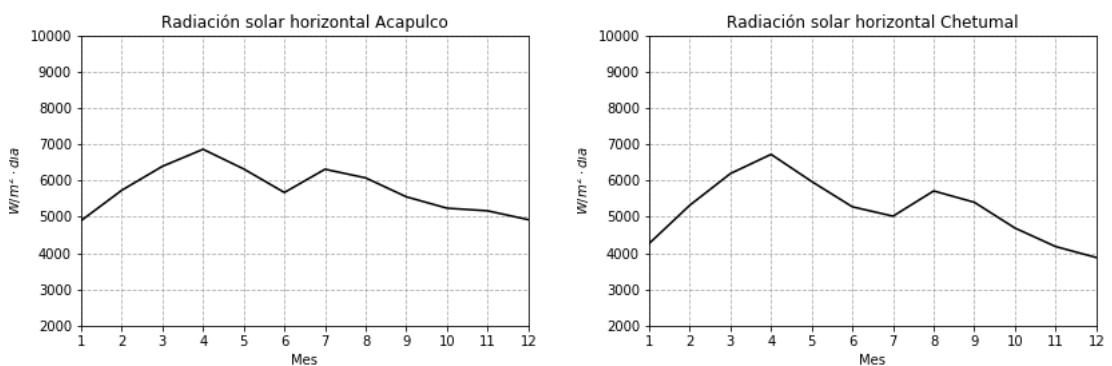
A.1. Temperatura ambiente

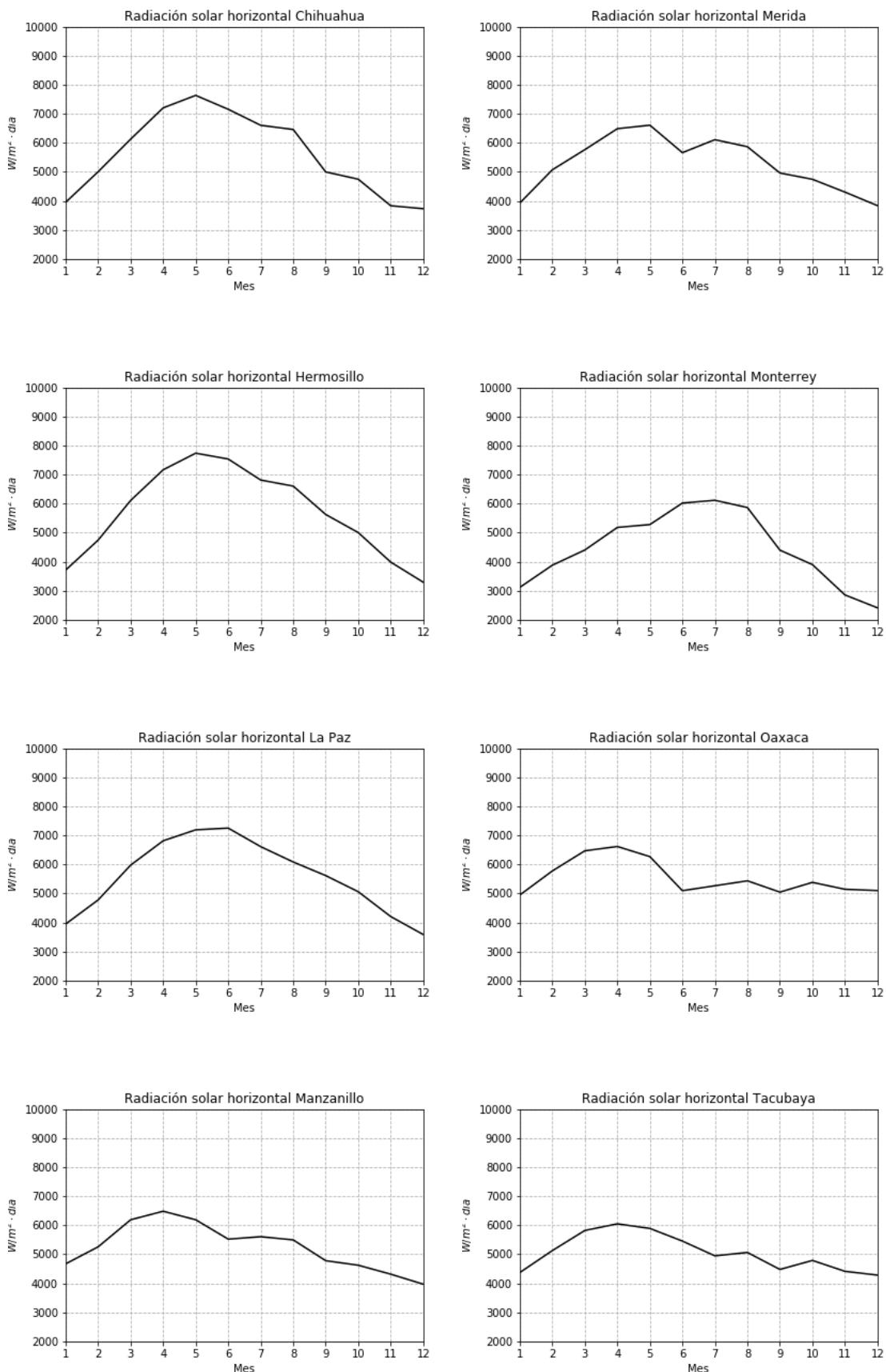


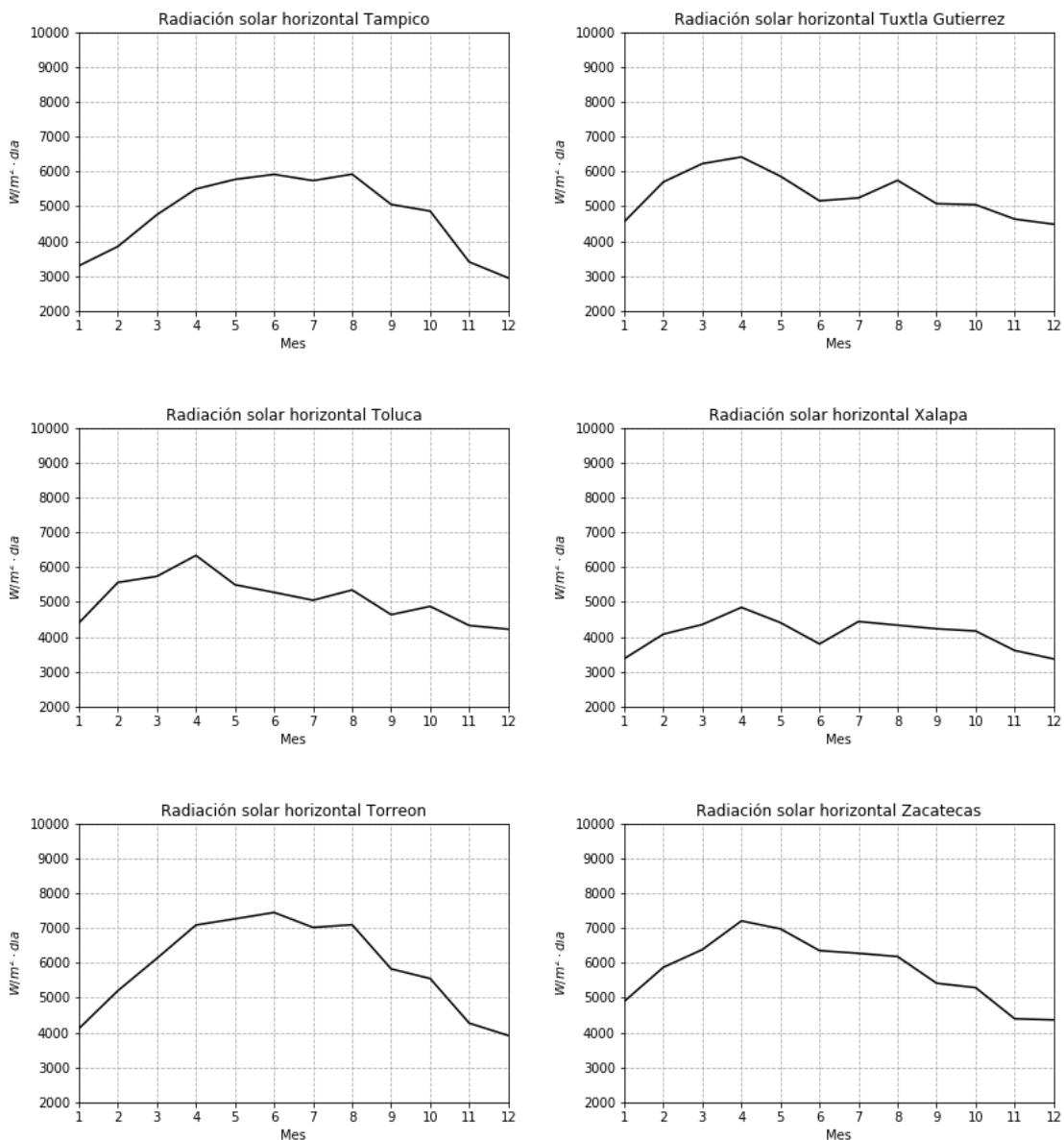




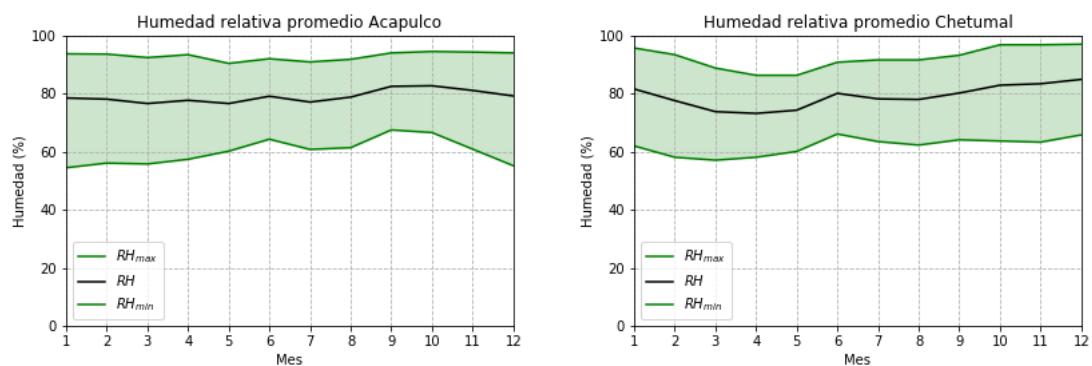
A.2. Radiación solar horizontal

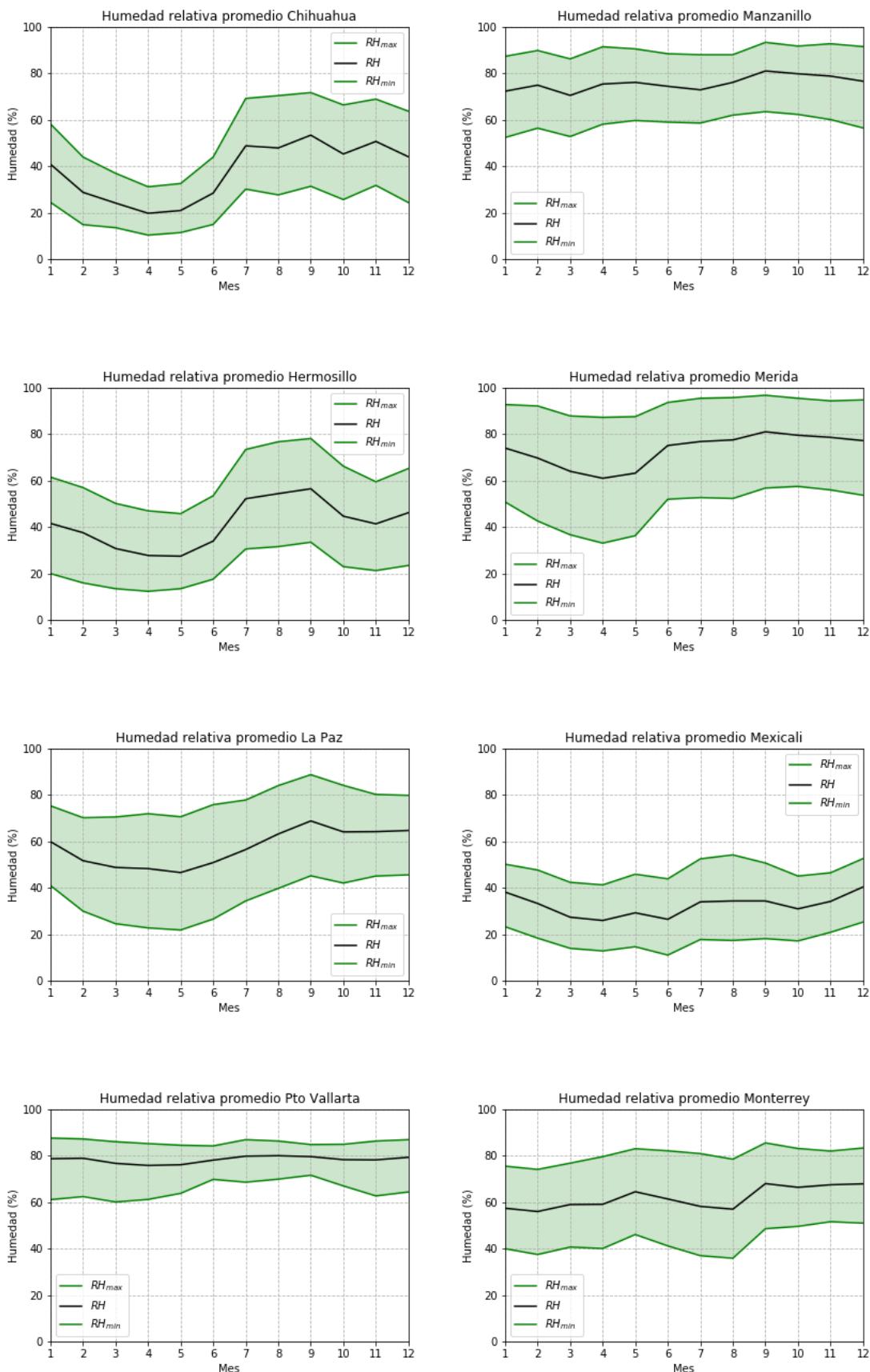


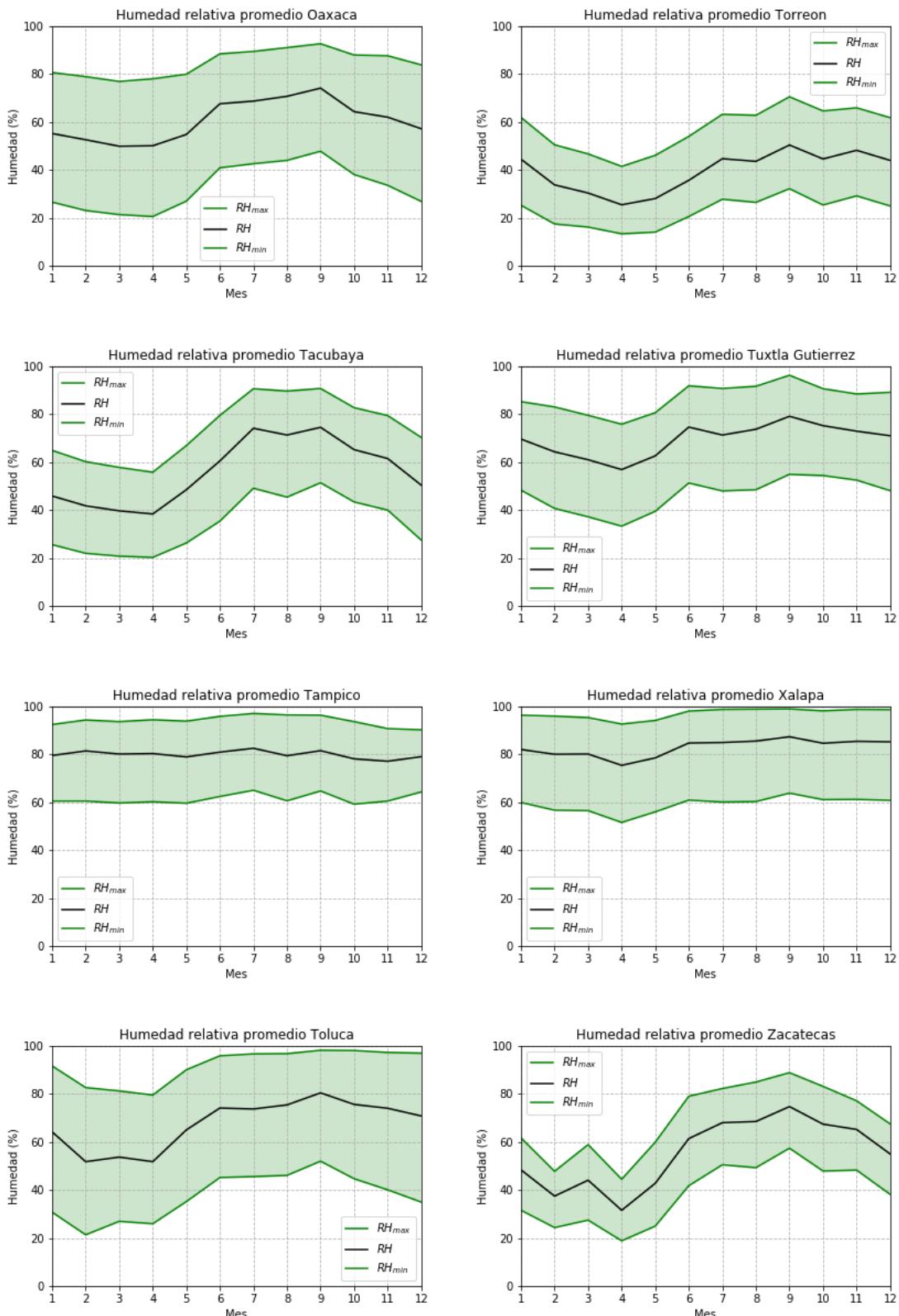




A.3. Humedad relativa

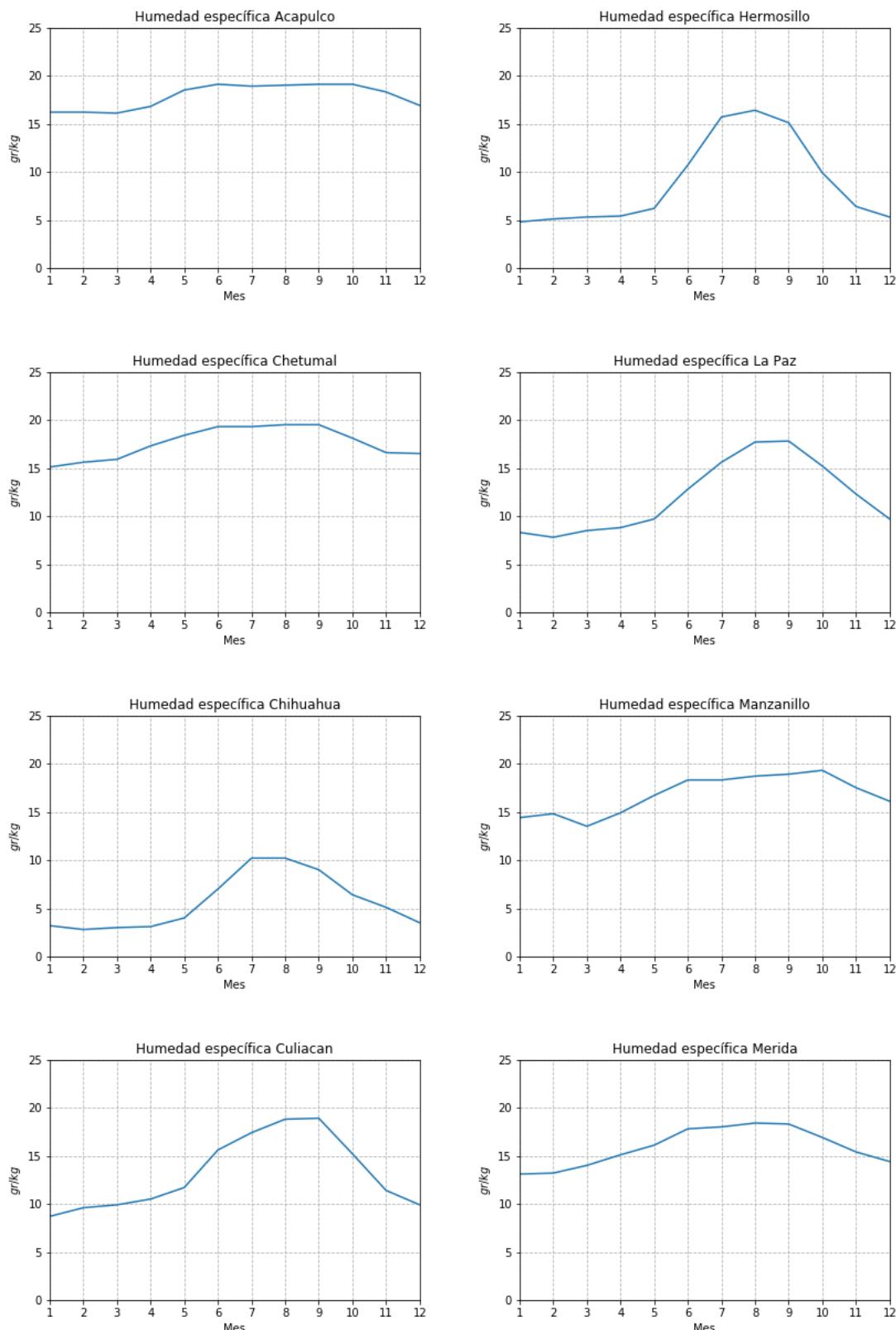


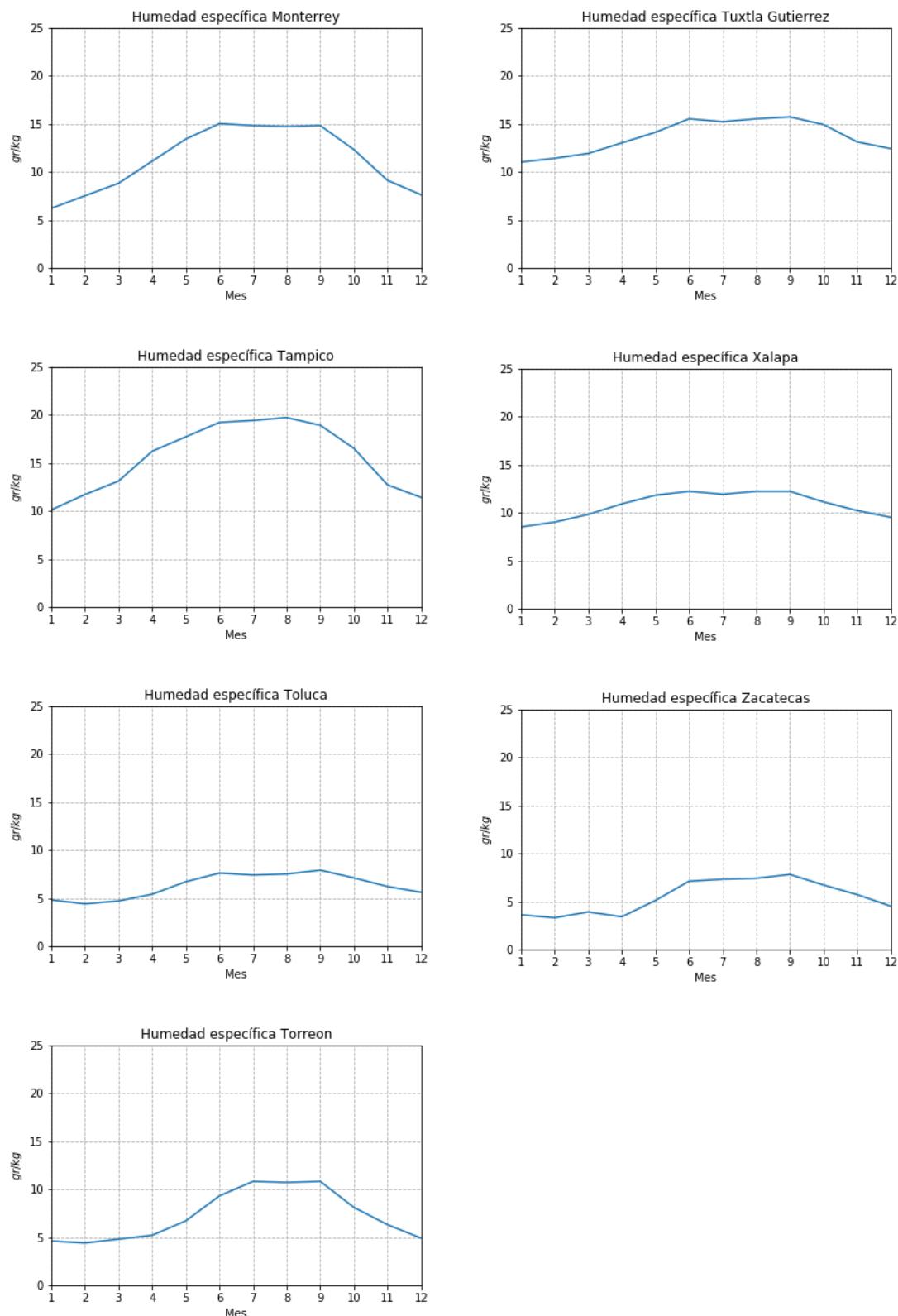




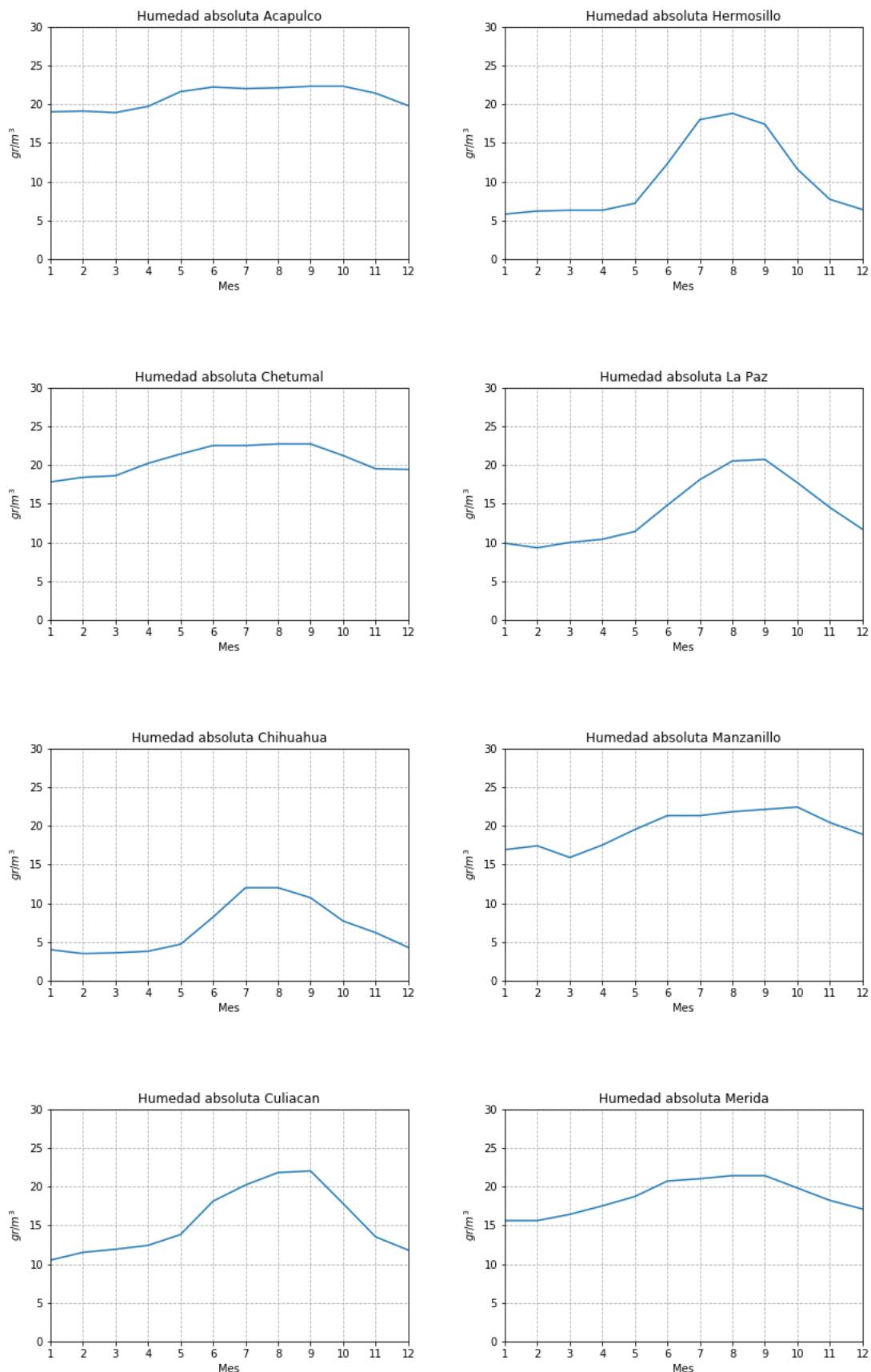
A.4. Contenido de vapor

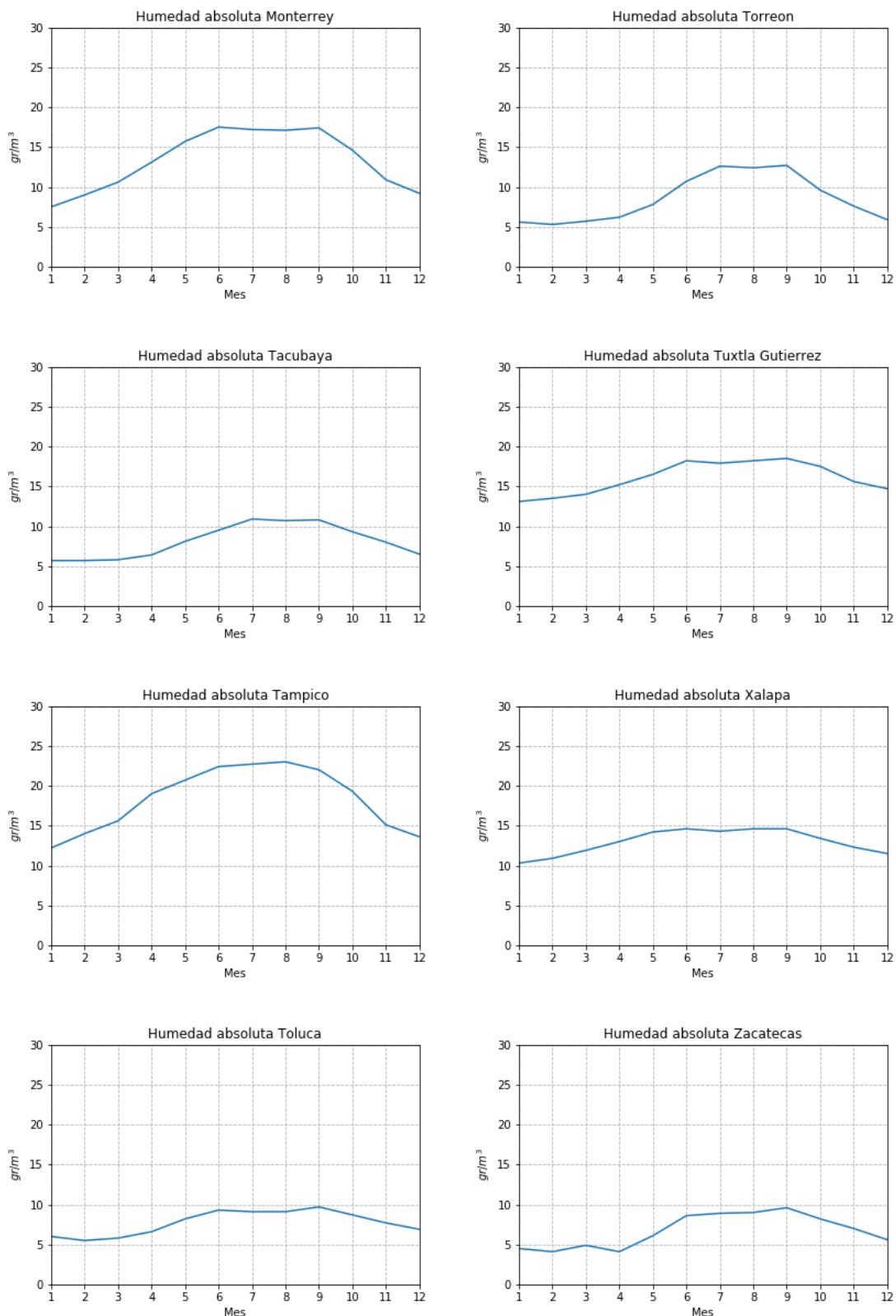
A.4.1. Humedad específica





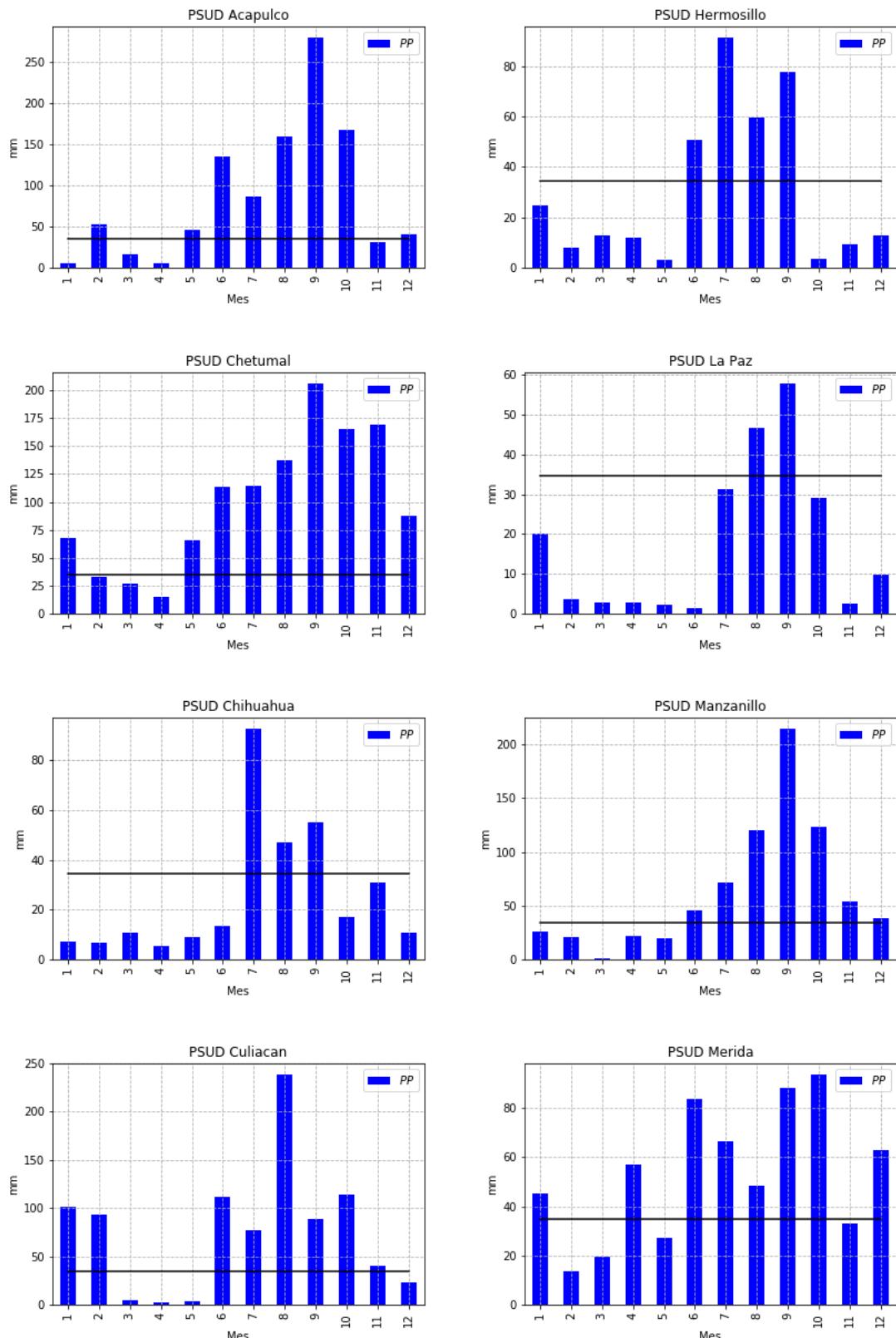
A.4.2. Humedad absoluta

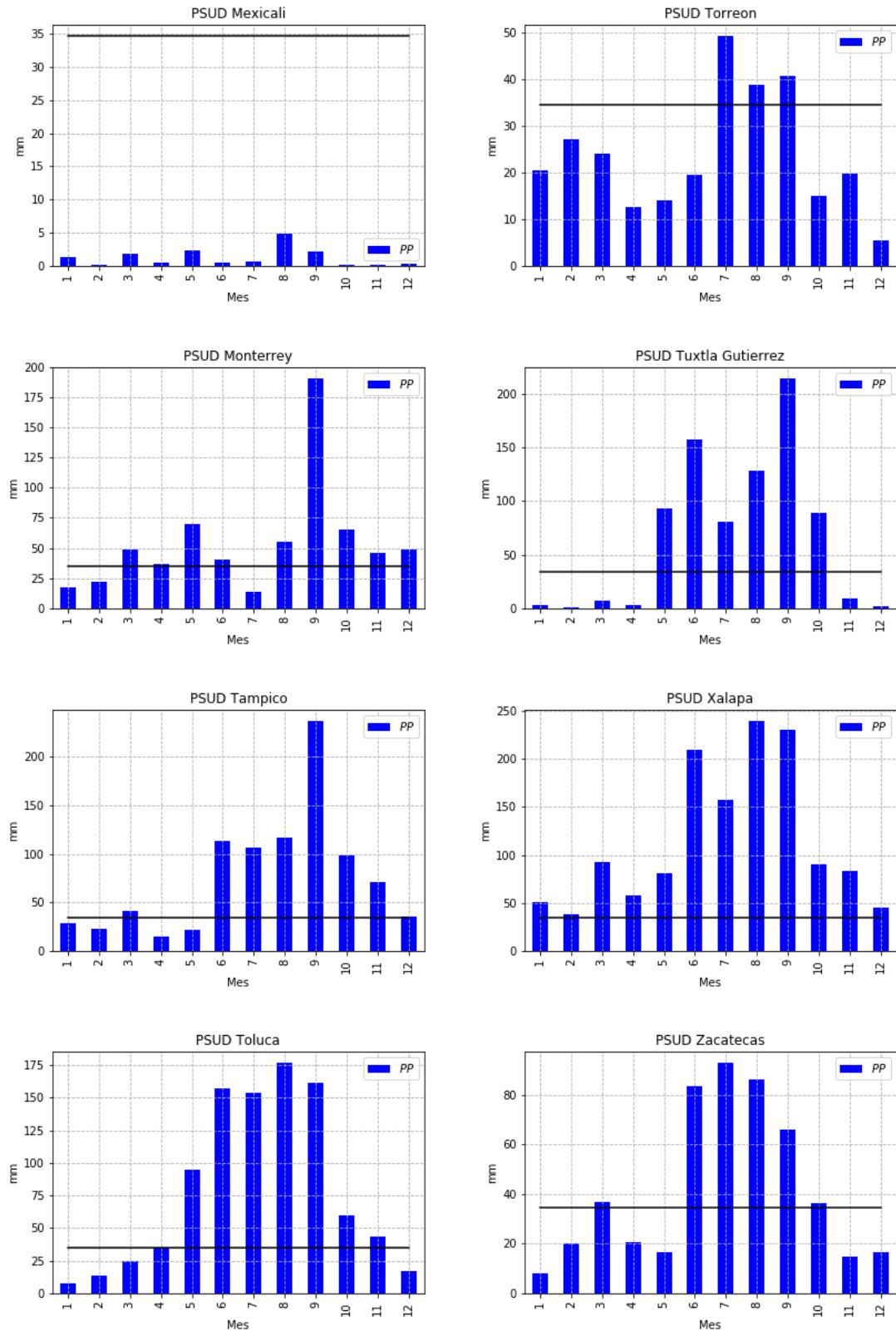




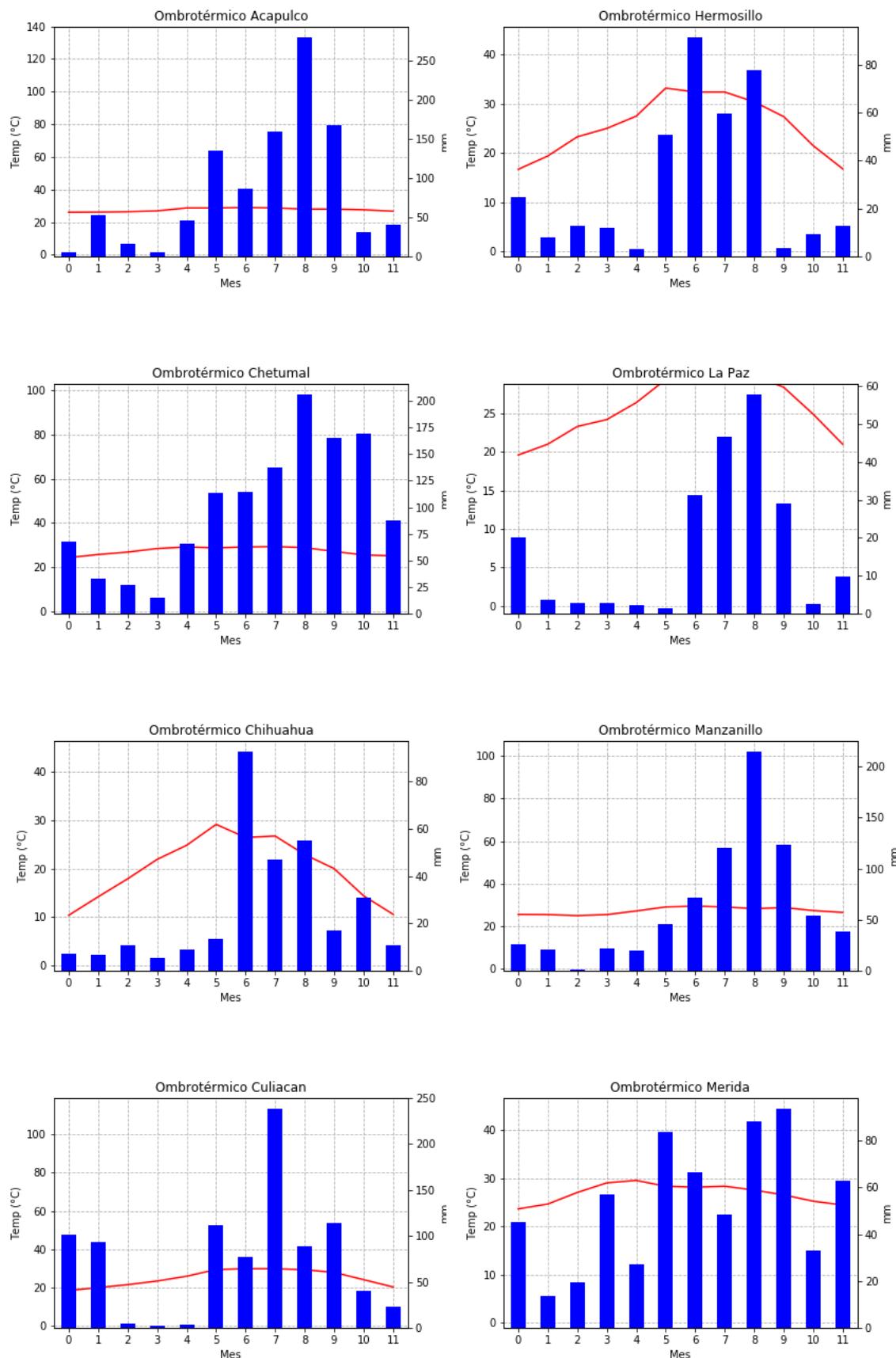
A.5. Higrico

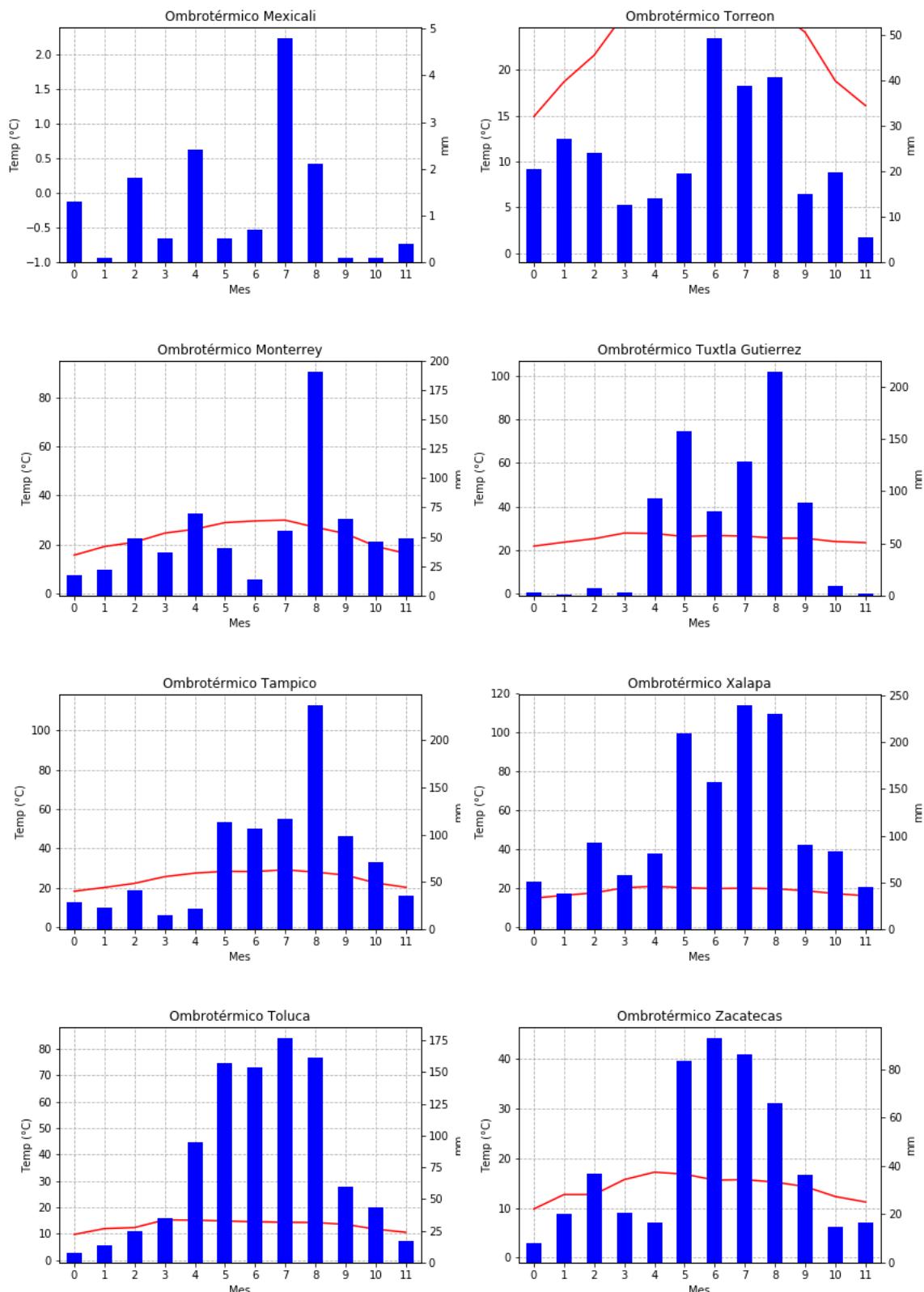
A.5.1. Precipitación suficiente para uso doméstico





A.5.2. Ombrotérmico

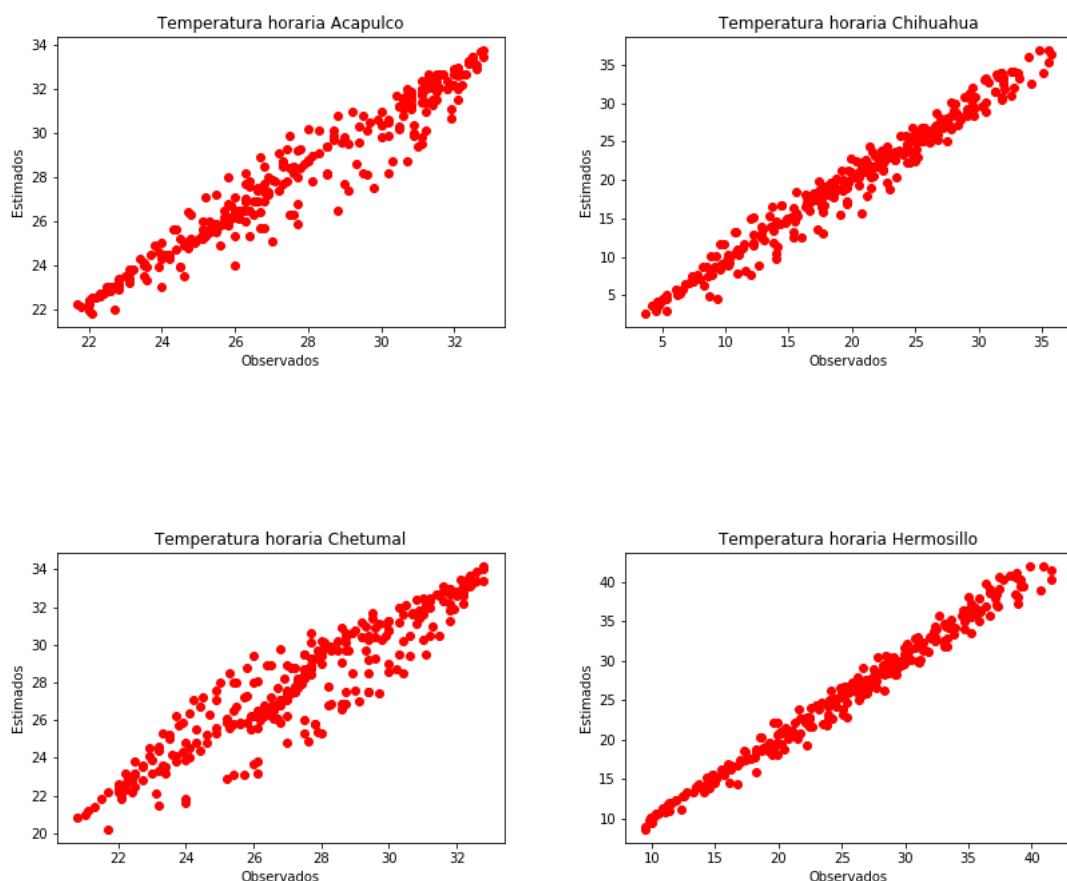


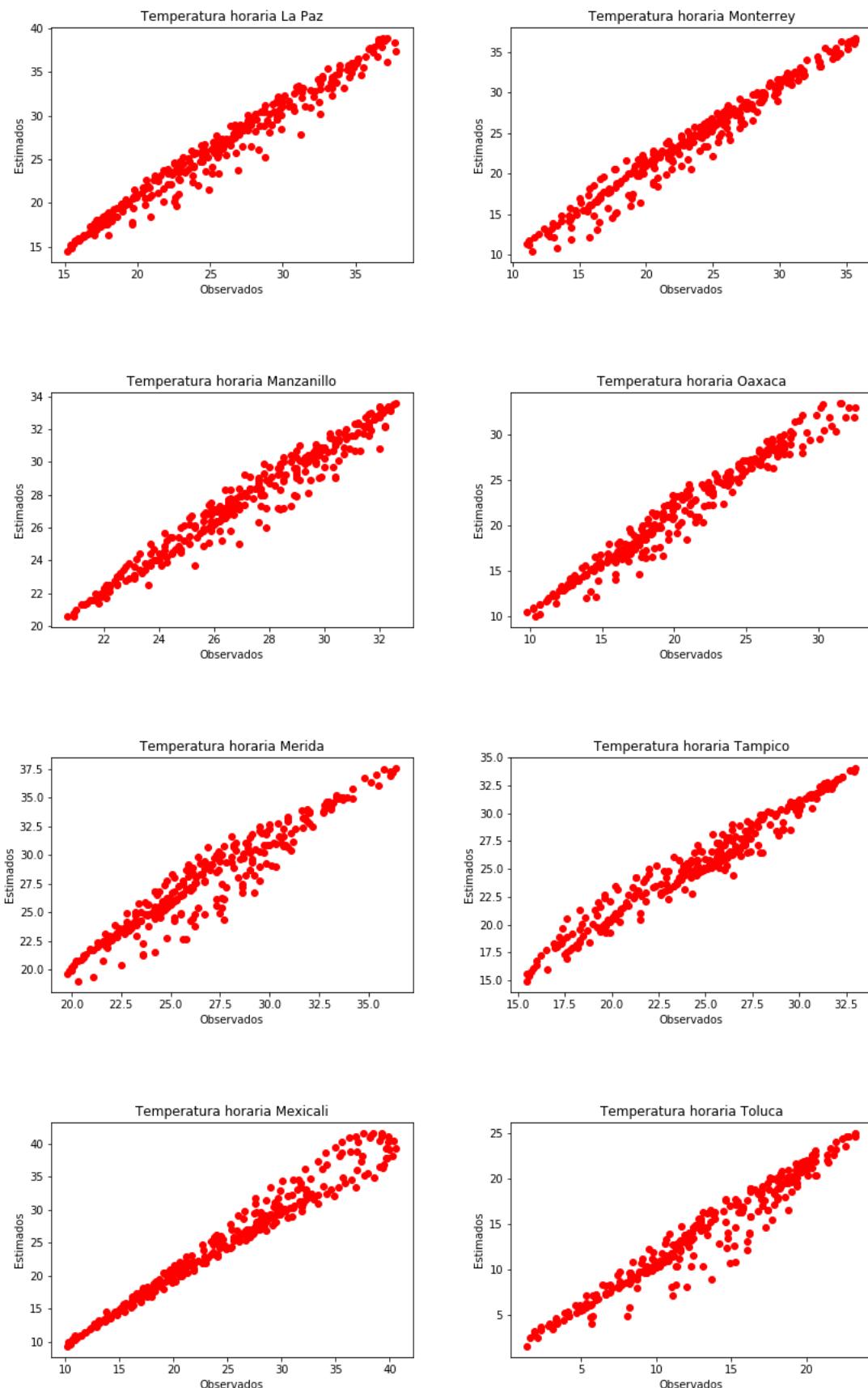


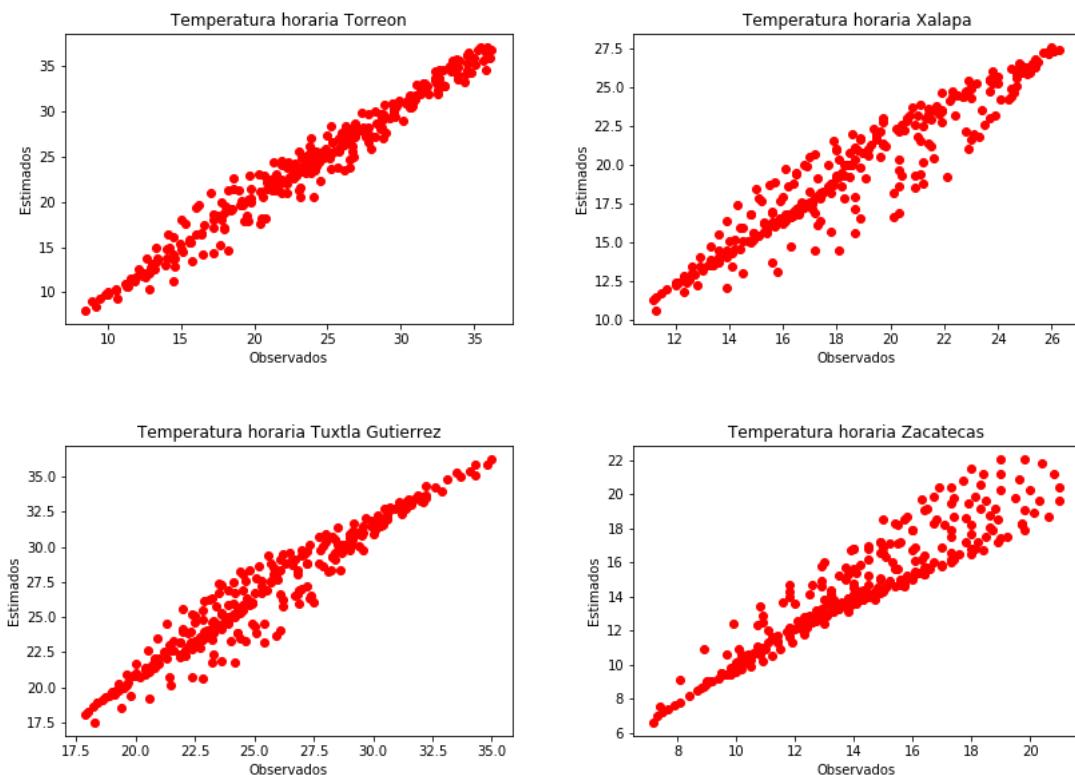
Apéndice B

Scatterplots

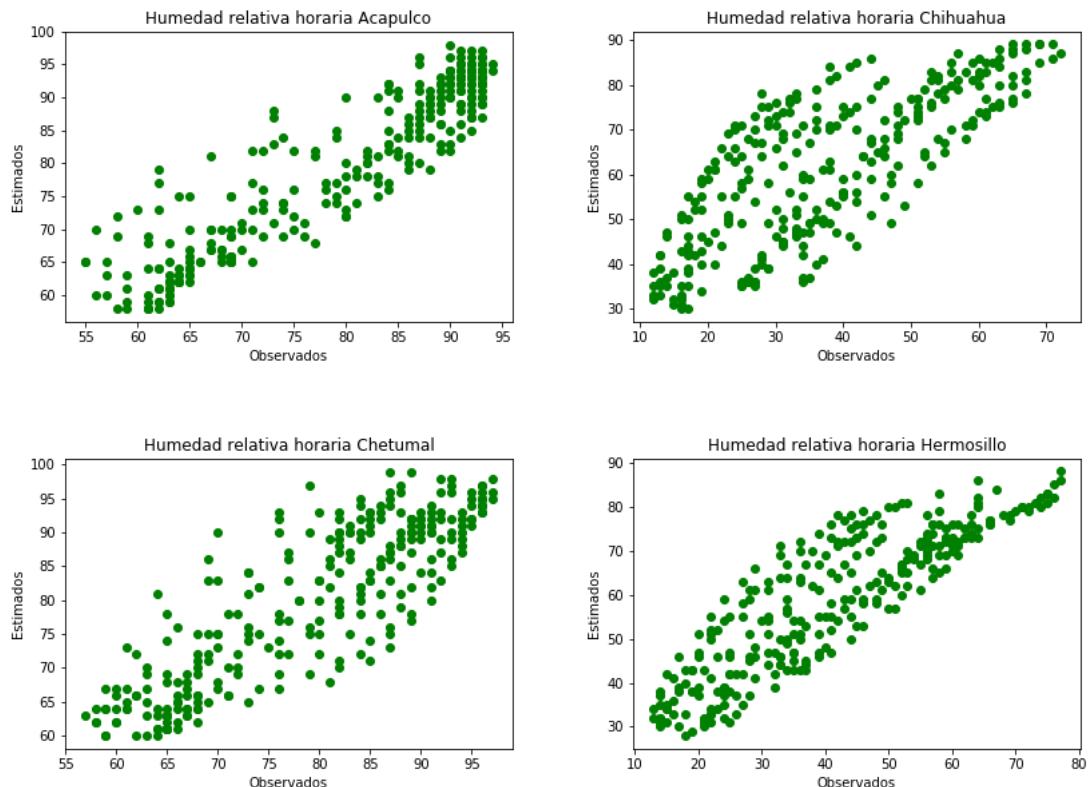
B.1. Temperatura ambiente horaria

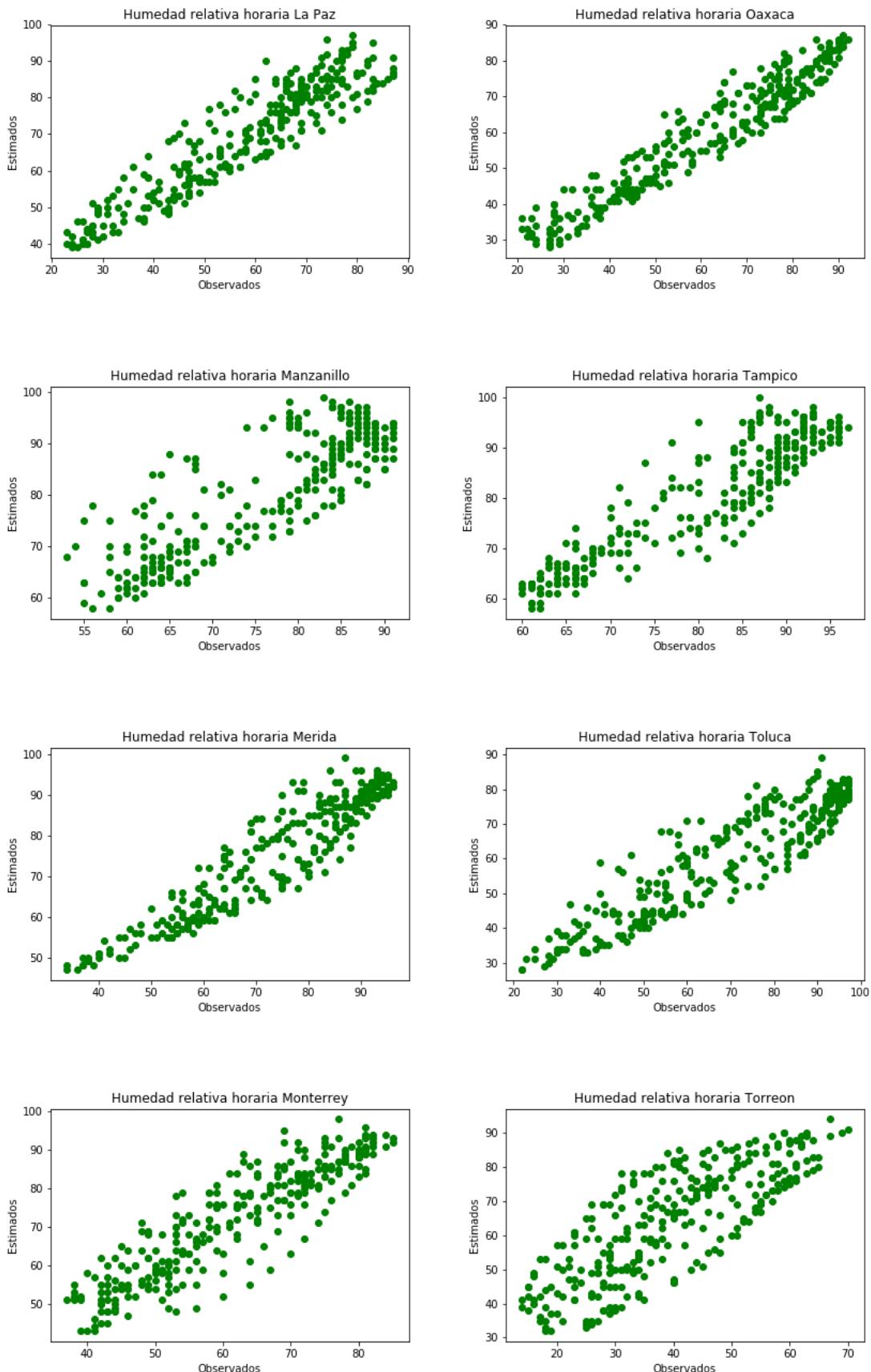


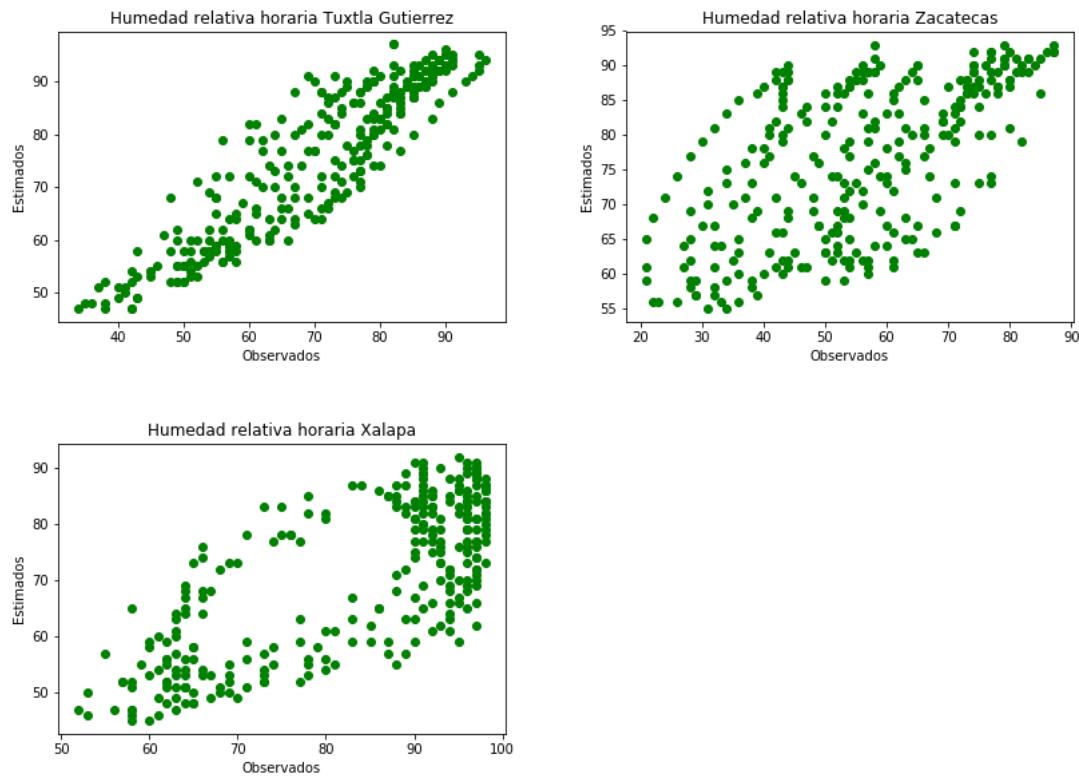




B.2. Humedad relativa horaria







Bibliografía

- C. D. Ahrens. *Meteorology Today: An introduction to weather, climate, and environment.* Brooks/Cole Cengage Learning, ninth edition, 2008.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Thermal enviornmental conditions for human occupancy. *ANSI/ASHRAE Standard*, 55, 2004.
- arcdaily. *Casa bioclimática en Tenerife.* <https://www.archdaily.com/775212/bioclimatic-dwelling-in-tenerife-ruiz-larrea-y-asociados>, 2003. Consultada: sept 2019.
- S. Arias Orozco and D. C. Ávila Ramírez. *Análisis Bioclimático de la Ciudad de Guadalajara.* Universidad de Guadalajara, 2004.
- J. Cervantes Pérez. *Los procesos del tiempo en la atmósfera: Una breve introducción a la meteorología.* IETEC-Arana Editores, 2011.
- Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en méxico 2017. *Estadísticas del Agua en México*, 2017.
- Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en méxico 2018. *Estadísticas del Agua en México*, 2018.
- Facultad de Arquitectura y Diseño. Consultada en enero del 2018, <https://portal.ucol.mx/fad/historia.htmhistoria>, 2018.
- B. Givoni. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18, 1992.
- B. Givoni. *CLIMATE CONSIDERATIONS IN BUILDING AND URBAN DESIGN.* Jon Wiley & Sons, Inc., 1998.
- E. Gonzalez, E. Hinz, P. De Oteiza, and C. Quiros. *Proyecto Clima y Arquitectura.* Universidad del Zulia, 1986.
- L. González Franco. *Historia de la arquitectura y el urbanismo mexicanos.* UNAM, 2015.

- G. Gómez-Azpeitia. Comunicación Personal, intercambio de correos como tema central bioclimarq(2016), 2018.
- G. Gómez-Azpeitia, G. Bojórquez-Morales, and R. Ruiz-Torres. El bioclima humano en urbes del sur de México para condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico. *Palapa*, II(I):45–57, 2007.
- D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker. *Fundamentals of Physics, Chapters 33-37*. John Wiley & Sons, 2010.
- G. A. Hernández Romero, A. Tejeda Martínez, and D. P. Lunagómez Cruz. *Evaluación de temperaturas generadas por Meteonorm 7.2 contra registradas por CLICOM en 28 puntos de la República Mexicana*. Universidad Veracruzana, 2019.
- J. Hertin, F. Berkhout, D. M. Gann, and J. Barlow. Climate change and the UK house building sector: perceptions, impacts and adaptive capacity. *BUILDING RESEARCH & INFORMATION*, 31, 2003.
- INEGI. Huella de agua de uso público-urbano en México. *REALIDAD, DATOS Y ESPACIO*, 4, 2013.
- IPCC. Global warming of 1.5°C : an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *IPCC SR1.5*, 2018.
- E. Leff. *Saber Ambiental*. Siglo XXI Editores, 6a edición, 2010.
- E. Luna Munguía. *Comparación de catorce modelos para la estimación de la presión de vapor de saturación contra un modelo patrón*. Universidad Veracruzana, 2019.
- F. Méndez Florián, P. Velasco Sodi, A. Isabel Gabilondo, R. Galindo, and M. L. Silva. *ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA VIVIENDA SUSTENTABLE Componente Ambiental de la Sustentabilidad*.
- D. Oktay. Design with the climate in housing environments: An analysis in northern Cyprus. *Building and Environment*, (37), 2002.
- V. Olgay, A. Olgay, D. Lyndon, V. W. Olgay, J. Reynolds, and K. Yeang. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*, volume 26. Princeton University Press Princeton, NJ, 1963.
- K. Orehounig, E.-M. Doppelbauer, A. Mahdavi, W. Loibl, and T. Tötzer. Climate change, building design, and thermal performance. *Proceedings of Building Simulation*, 12, 2011.

- J. Pinedo Vega, R. Armilde, J. Dávila Rangel, F. Mireles García, and L. Quirino Torres. *Petróleo en Oro y Negro*. LibrosEnRed, 2005.
- J. Pinedo Vega, A. Rivera Huizar, C. Ríos Martínez, F. Míreles García, H. López del Río, C. A. Dávila Rangel, J Ignacio, V. M. García Saldívar, and S. A. Saucedo Anaya. *Fundamentos Físicos de la Atmósfera: Atmósfera y Energía*. Editorial Académica Española, 2012.
- J. Remund. Accuracy of meteonorm (7.1.6.14035): A detailed look at the model steps and uncertainties. *Meteotest*, 2015.
- J. Remund, S. Müller, S. Kunz, B. Huguenin-Landl, C. Studer, and R. Cattin. Meteonorm handbook part i: Software. 2017.
- M. Rodríguez Viquiera. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. EDITORIAL LIMUSA S.A. de C.V., 2008.
- Secretaría de Economía. Norma oficial mexicana: Nom-018-ener-2011, aislantes térmicos para edificaciones características y métodos de prueba. y norma oficial mexicana: Nom-020-ener-2011, eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional. *Diario Oficial de la Nación*, 2011.
- Secretaría de Economía. La norma mexicana nmx-aa-164-scfi-2013. edificación sustentable.- criterios y requerimientos ambientales mínimos. *Diario Oficial de la Nación*, 2013.
- SENER. Balance nacional de energía 2017. *Secretaría de Energía*, 2018.
- L. Sepúlveda Pérez and J. Barba Erdmann. *ARQUITECTURA VERNÁCULA Y DESARRROLLO*. UNAM, 2006.
- R. B. Stull. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publisher, 1st edition, 1988.
- S. Szokolay. *Introduction to architectural science*. Routledge, 2012.
- A. Tejeda Martínez. An exponential model of the curve of mean monthly hourly air temperature. *Atmósfera*, 1991.
- A. Tejeda-Martínez. On the evaluation of the wet bulb temperature as a function of dry bulb temperature and relative humidity. *Atmósfera 7: 179-184*, 1994.
- A. Tejeda-Martínez and G. Gómez-Azpeitia. *Prontuario Solar de México*. Universidad Veracruzana y Universidad de Colima, 2015.

- A. Tejeda-Martínez and D. Rivas-Camargo. El bioclima humano en urbes del sur de méxico para condiciones de duplicación de co2 atmosférico. *Investigaciones Geográficas*, (51):37–52, 2003.
- A. Tejeda-Martínez, C. Conde-Álvarez, and L. Valencia-Treviso. Climate change scenarios of extreme temperatures and atmospheric humidity for méxico. *Atmósfera*, 2008.
- A. Tejeda-Martínez, E. Tejeda-Zacarias, and I. Méndez-Pérez. *LA HUMEDAD EN LA ATMÓSFERA: bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima, 2018.
- A. A. Tsonis. *An introduction to Atmosphere Thermodynamics*. Cambridge Press, second edition, 2007.
- F. Tudela. *Ecodiseño*. Universidad Autónoma Metropolitana, 1982.
- L. Turner. Climate and architecture. *Report for Honor's Section 8 of MET1010 Introduction to the Atmosphere*, 2003.
- A. Velázquez Ruiz, F. M. Carrillo González, L. M. Martínez Rivera, and L. Quirino Olvera. Compendio de datos bioclimáticos para la ciudad de puerto vallarta. 2019. Aún no publicado.
- M. R. Viquiera. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, volume VII. Editorial Limusa S.A. de C.V., primera edición edition, 2005. ISBN 968-18-6853-6.
- D. Wilks. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International Geophysics. Elsevier Science, 2006.
- WMO. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. World Meteorological Organization, wmo-no. 8 edition, 1994.
- K. Álvarez Cosío, E. Maldonado-López, Y. Montaño-Moreno, S. Neria-García, J. Yahuitl-Baeza, M. Díaz-Bautista, M. González-Matías, and J. Miranda. *ADECUACIÓN BIOCLIMÁTICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS*. IPN, 2015.