

Análisis técnico del cambio climático en los años 2015-2016 de la ciudad de Puebla, México, aplicando el modelo Ion-Wavelets

Rogelio Ramos-Aguilar*

Patricia Máximo-Romero**

Andrés Sánchez-Hernández***

María de la Cruz Vázquez-García•

Laura Jimena Torres Soto■

Diana Laura Torres Sánchez■

Dora Marcela Benítez-Ramírez▲

Ana Guadalupe Martínez Ortiz◆

Recibido el 15 de marzo de 2017; aceptado el 04 de mayo de 2017

Abstract

The following paper presents the analysis of meteorological variables that could indicate a possible effect of climate change in the City of Puebla; The study was generated with data from February 2015 to December 2016, which were downloaded from the meteorological station, located in University City, Central Campus of the Benemérita Universidad Autónoma of Puebla.

For the analysis of these variables the Morlet mathematical method was applied within the ION-Wavelets Model; the data processed served as a hypothetical refer-

* Profesor-investigador, Facultad de Ingeniería; Jefe del Laboratorio de Ciencias de la Tierra, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Av. San Claudio y 18 Sur, CU, Puebla, México. Responsable del monitoreo y vigilancia del volcán Citlaltépetl, 2004-2012. Responsable de proyectos en CONACYT, PROMEP, VIEP y SEGOB, en las áreas de vulcanología, sismología, geohidrología y meteorología, correo electrónico: rogelio.ramos@correo.buap.mx

** Profesora-investigadora, Facultad de Ingeniería, BUAP, Puebla, México. Colaboradora en proyectos de CONACYT, PROMEP, VIEP y SEGOB en las áreas de ingeniería estructural y sísmica, correo electrónico: patricia.maximo@correo.buap.mx

*** Profesor-investigador, Facultad de Arquitectura, responsable de proyectos, BUAP, México.

• Directora comercial de Imágenes Geoespaciales Satelitales, Bufete de Ingeniería en Telecomunicaciones y Sistemas, José Toribio Medina núm. 130, Ciudad de México, México, teléfono (+52)55-5519-6929.

■ Estudiantes, Colegios de Ingeniería Topográfica y Geodésica, BUAP, Puebla, México.

▲ Universidad de Boyacá, Carrera 2 Este N° 64-169, Tunja, Colombia, teléfono:(+57)311-7450-000.

◆ Estudiante, becaria y colaboradora del proyecto del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

ence to correlate the effect of the “El Niño” phenomenon (possibly the biggest cause of climatic changes in the last years) in the City of Puebla.

The mapping of the study with the Surfer program of each of the processed variables was performed: Maximum and Minimum Temperature, Solar Radiation and Humidity.

This was done in order to compare the meteorological changes, as well as to generate the statistics of possible changes in the climate during the analyzed period.

Key words: *Climate change, Puebla Ion Wavelets.*

Resumen

El siguiente trabajo presenta el análisis de variables meteorológicas que pudieran indicar un posible efecto de cambio climático en la ciudad de Puebla, el estudio se generó con datos comprendidos entre febrero del 2015 y diciembre del 2016, mismos que se descargaron de la estación meteorológica, ubicada en Ciudad Universitaria, campus Central de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Para el análisis de estas variables se aplicó el método matemático de Morlet dentro del modelo Ion-Wavelets; los datos procesados nos sirvieron como referencia hipotética para correlacionar el efecto del fenómeno de El Niño (posiblemente el mayor causante de cambios climáticos en los últimos años) en la Ciudad de Puebla.

Se realizó la cartografía del estudio con el programa Surfer de cada una de las variables procesadas: Temperatura Máxima y Mínima, Radiación Solar y Humedad. Lo anterior se realizó con el propósito de comparar los cambios meteorológicos, así como generar la estadística de posibles cambios en el clima durante el periodo analizado.

Palabras clave: *cambio climático, Puebla, Ion Wavelets.*

Introducción

Puebla es el estado 21 de la República Mexicana, es una de las entidades con mayor variedad de climas, aproximadamente el 35% del territorio presenta un clima templado subhúmedo ubicado principalmente en la parte centro y sur del estado, un 25% presenta un clima cálido subhúmedo en la parte norte y sureste, 19% de clima seco y semiseco en el sur y centro oeste, 14% cálido húmedo en norte y sureste de la entidad y el 7% presenta un clima templado húmedo, en parte del norte y sureste; es factible encontrar un clima frío sobre la cumbre de los volcanes.

El promedio de temperaturas máximas es de 28.5° C y las mínimas de 6.5° C; las primeras se presentan principalmente en los meses de abril y mayo, y las mínimas en enero. Los mayores porcentajes de precipitación se presentan entre los meses de junio y octubre, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La importancia del estudio del clima en la ciudad de Puebla, tiene mayor peso debido a que es una urbe con gran dinámica socio-económica, cultural y de servicios. Desde actividades agrícolas hasta comerciales; incluyendo que la ciudad es un punto intermedio relevante en el transporte de mercancías, así como un gran centro turístico. Estas actividades como muchas otras son afectadas por el clima; anteriormente se tenían registros relativamente constantes del clima a lo largo del año, lo que ayudaba a tener una mejor organización en la práctica de actividades, principalmente agrícolas. Hoy en día eso no es posible por los cambios climáticos que se han presentado en las últimas décadas.

El objetivo de este trabajo es presentar los periodos del año en el que las alteraciones fueron mayores y estudiar los resultados para tener una teoría de cómo se comportará el clima durante el año 2017.

Ion Wavelets

Ion Wavelets es una herramienta que facilita el análisis de variaciones en determinados fenómenos, descomponiendo una serie de tiempo-frecuencia-espacio, se puede determinar la posición dominante, modos de variabilidad y cómo estos fluctúan con el tiempo.

Morlet

Es una onda compuesta por una exponencial compleja multiplicada por una ventana gaussiana. Esta onda está estrechamente relacionada con la percepción humana.

La wavelet se define como una constante k_σ que se resta de una onda plana y luego localizada por un Gaussian.

$$\Psi_\sigma(t) = c_\sigma \pi^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{1}{2}t^2} (e^{iot} - k_\sigma) \tag{1}$$

Dónde $k_\sigma = e^{-\frac{1}{2}\sigma^2}$ se define por el criterio de admisibilidad y la constante de normalización c_σ es:

$$c_\sigma = (1 + e^{-\sigma^2} - 2e^{-\frac{3}{4}\sigma^2}) \tag{2}$$

La transformada de Fourier de la wavelet Morlet es:

$$\Psi_\sigma(\omega) = c_\sigma \pi^{-\frac{1}{4}} (e^{-\frac{1}{2}(\sigma-\omega)^2} - k_\sigma e^{-\frac{1}{2}\omega^2}) \tag{3}$$

Con esto se puede obtener una variabilidad temporal en cierto tiempo; lo que produce una onda de muy corta duración, que facilita el estudio de la misma.

Análisis de datos

El procesador de Ion-Wavelet es un programa que se desarrolló para el análisis de variables, en este caso meteorológicas. Dichas variables pueden ser procesadas por distintos modelos de fenómenos como “El Niño”, Monzón, CO₂ y manchas solares. Para el proceso del presente trabajo el enfoque principal fue el fenómeno de “El Niño”, este es un clima cíclico que ha ocasionado innumerables cambios en la zona centro del mundo, provocado así el cambio en la temperatura del agua marina.

Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. La estación mide diversos componentes climáticos: las temperaturas máximas y mínimas, precipitación, radiación solar, humedad, etc., es por eso que al descargar los datos se seleccionan los parámetros que se requieren para el presente análisis (Figura 1).

Date	Time	Hi Temp	Low Temp	Rain Rate	Solar Rad.	In Hum
01/01/2016	00:00	14.1	13.8	0	0	45
01/01/2016	01:00	13.8	13.3	0	0	45
01/01/2016	02:00	13.5	13.1	0	0	46
01/01/2016	03:00	13.1	12.7	0	0	46
01/01/2016	04:00	12.7	12.3	0	0	45
01/01/2016	05:00	12.3	11.7	0	0	45
01/01/2016	06:00	11.7	11.3	0	0	44
01/01/2016	07:00	11.5	10.8	0	7	44
01/01/2016	08:00	11.4	10.7	0	50	44
01/01/2016	09:00	13.1	11.4	0	219	44
01/01/2016	10:00	16.1	13.1	0	443	43
01/01/2016	11:00	18.6	16.1	0	610	43
01/01/2016	12:00	21.2	18.6	0	743	43
01/01/2016	13:00	22.4	20.9	0	754	42
01/01/2016	14:00	22.4	21.5	0	529	41
01/01/2016	15:00	22.5	22.1	0	332	41
01/01/2016	16:00	22.4	22	0	304	41
01/01/2016	17:00	22.3	21.2	0	117	41
01/01/2016	18:00	21.2	20.4	0	59	42
01/01/2016	19:00	20.4	17.4	0	8	43
01/01/2016	20:00	17.4	16	0	0	44
01/01/2016	21:00	16.1	14.9	0	0	45

Figura 1. Datos descargados de la estación meteorológica, como se puede apreciar, la toma de datos ocurre cada hora.

Para el modelo Wavelet se tienen que asignar distintos parámetros para determinar el área de estudio, en la Figura 2 se muestran los valores usados para realizar el modelo, fueron elegidos de manera que se obtuviera la muestra de un ciclo completo.

Visualization Options Submit

Wavelet Morlet Param: 0 Start scale = 2 Scale width = 0 Powers-of-two = 4 <input type="checkbox"/> Pad with zeroes <input type="checkbox"/> Global wavelet norm	Significance Background spectrum: None Level: 100 % Plotting Start at X= 0 End at X= 50 <input type="checkbox"/> Cone of influence <input type="checkbox"/> Grayscale Output to Image
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 2. Se determinaron los valores con los que se obtienen mejores resultados.

Los datos que se usaron fueron resultado del promedio de cada hora y día de los meses en estudio. Los resultados de las temperaturas máximas y mínimas para la ciudad de Puebla se pueden comparar en las Figuras 3 y 4.

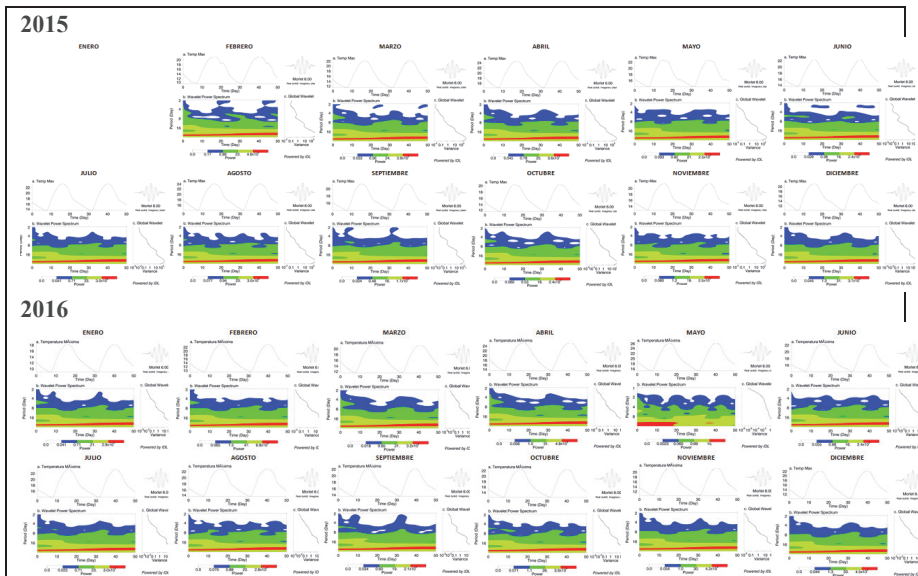


Figura 3. Modelo de Ion Wavelets para temperaturas máximas (2015: abril y agosto 24° C; 2016: abril 24° C y mayo 26° C).

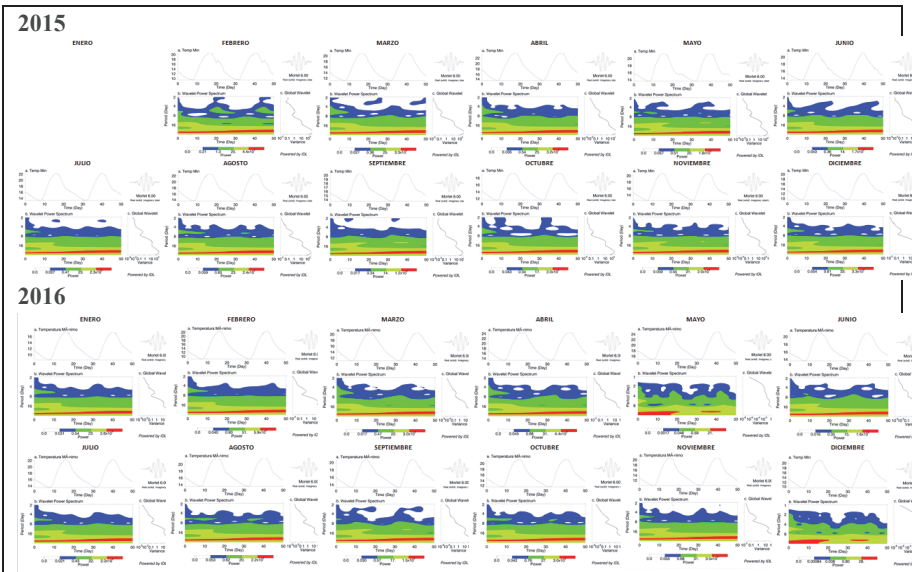


Figura 3. Modelo de Ion Wavelets para temperaturas mínimas (2015: febrero 6° C y diciembre 2° C; 2016: enero, febrero y diciembre 3° C).

En el primer año se aprecian alteraciones de temperatura en los meses de febrero, mayo, noviembre y diciembre, las variaciones en mayo pueden deberse a precipitación ocurrida durante ese mes, mientras que en noviembre dicho cambio puede surgir a partir de la entrada del fenómeno de “El Niño”. Durante el 2016 las temperaturas tuvieron un comportamiento esperado, hubo un mínimo cambio en los meses de mayo, octubre y noviembre, mismo que se puede deber a los hechos anteriormente mencionados, sin embargo estos no fueron tan significativos como en 2015. En ambos casos es notorio que el cambio surge en octubre.

En la Figura 5 aplicando el modelo de “El Niño” se observa la temperatura máxima a lo largo y ancho de la ciudad de Puebla; la representación se denota por colores, siendo de color rosa-fiusha la temperatura más alta registrada durante el mes y, la de color negro la más baja. La más alta registrada en el año 2015 fue de 25.5° C en abril y se tiene registro de una mínima de 9° C en febrero y diciembre, menor en enero.

En 2016 (Figura 6) la temperatura más alta registrada es de 26.5° C en mayo y una mínima de 8° C registrada en los meses de enero y febrero, cabe recalcar, que estos datos son los promedios de las temperaturas de cada mes, eso debe de decir que en ambos años se registraron temperaturas más altas a la máxima, como más bajas a la mínima.

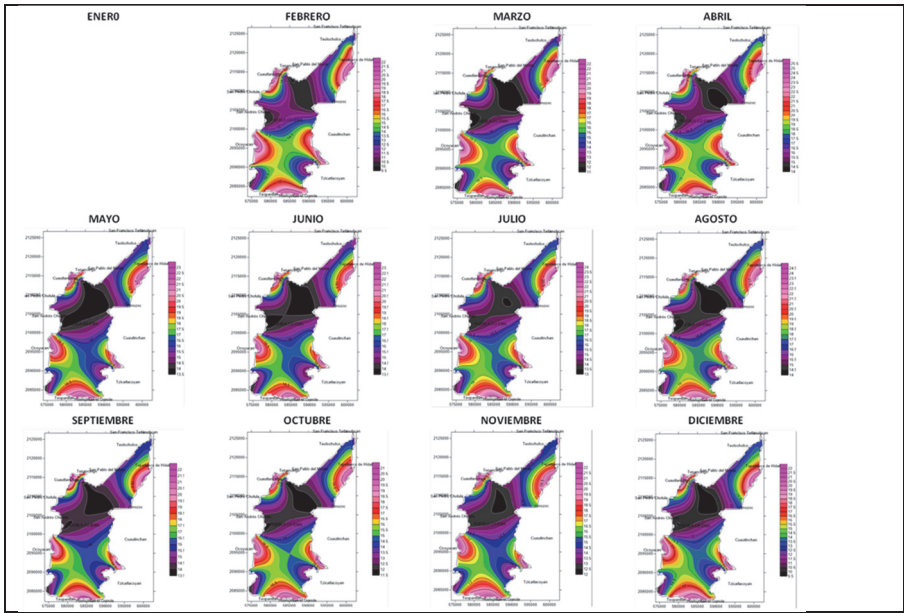


Figura 5. Temperaturas a lo largo de la ciudad de Puebla (2015).

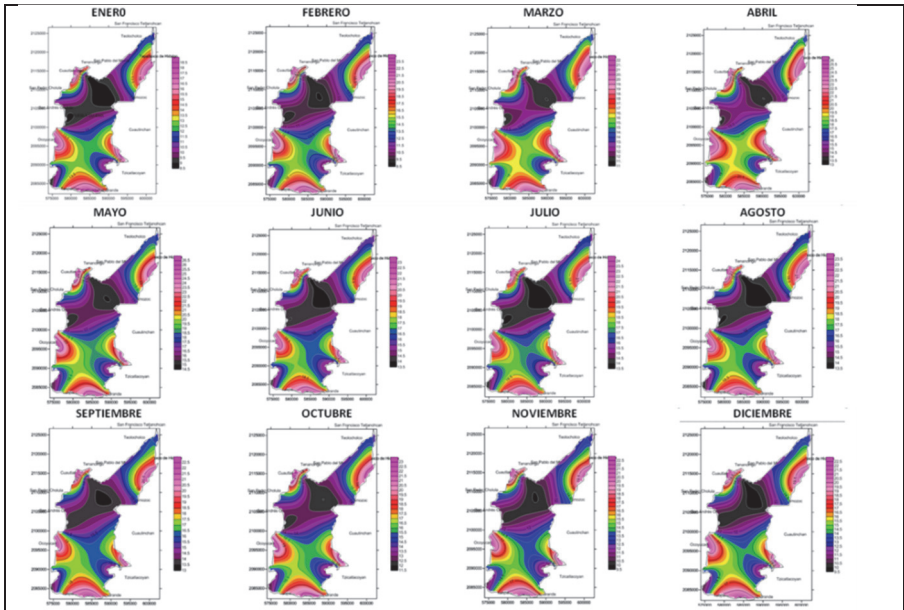


Figura 6. Temperaturas a lo largo de la ciudad de Puebla (2016).

La radiación solar es un factor importante en este estudio ya que es uno de los factores asociados al estado del clima, para su estudio se sigue el mismo procedimiento; sin embargo al hacer la selección de datos la estación presentaba alteraciones en las lecturas de varios meses (solo se muestran los meses significativos de ambos años), motivo por el cual se muestran los datos que se encontraban dentro de los parámetros “normales” y los resultados obtenidos son los siguientes (Figura 7).

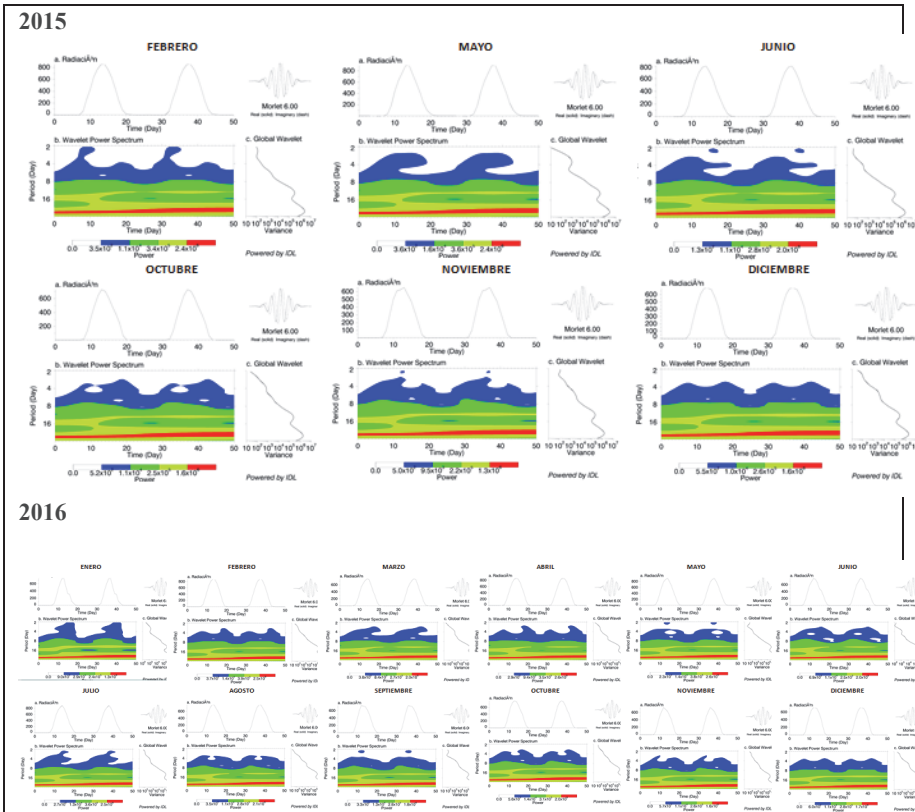


Figura 7. Modelo de Ion Wavelets para radiación solar años 2015 (700 w/m^2 promedio anual) y 2016 (800 w/m^2 promedio anual).

La información obtenida que estaba dentro de los parámetros es justamente la de los meses en que se había registrado mayor alteración en la temperatura, el rango de la radiación solar califica normal, lo que hace suponer que ésta no tuvo relación con el incremento de la temperatura.

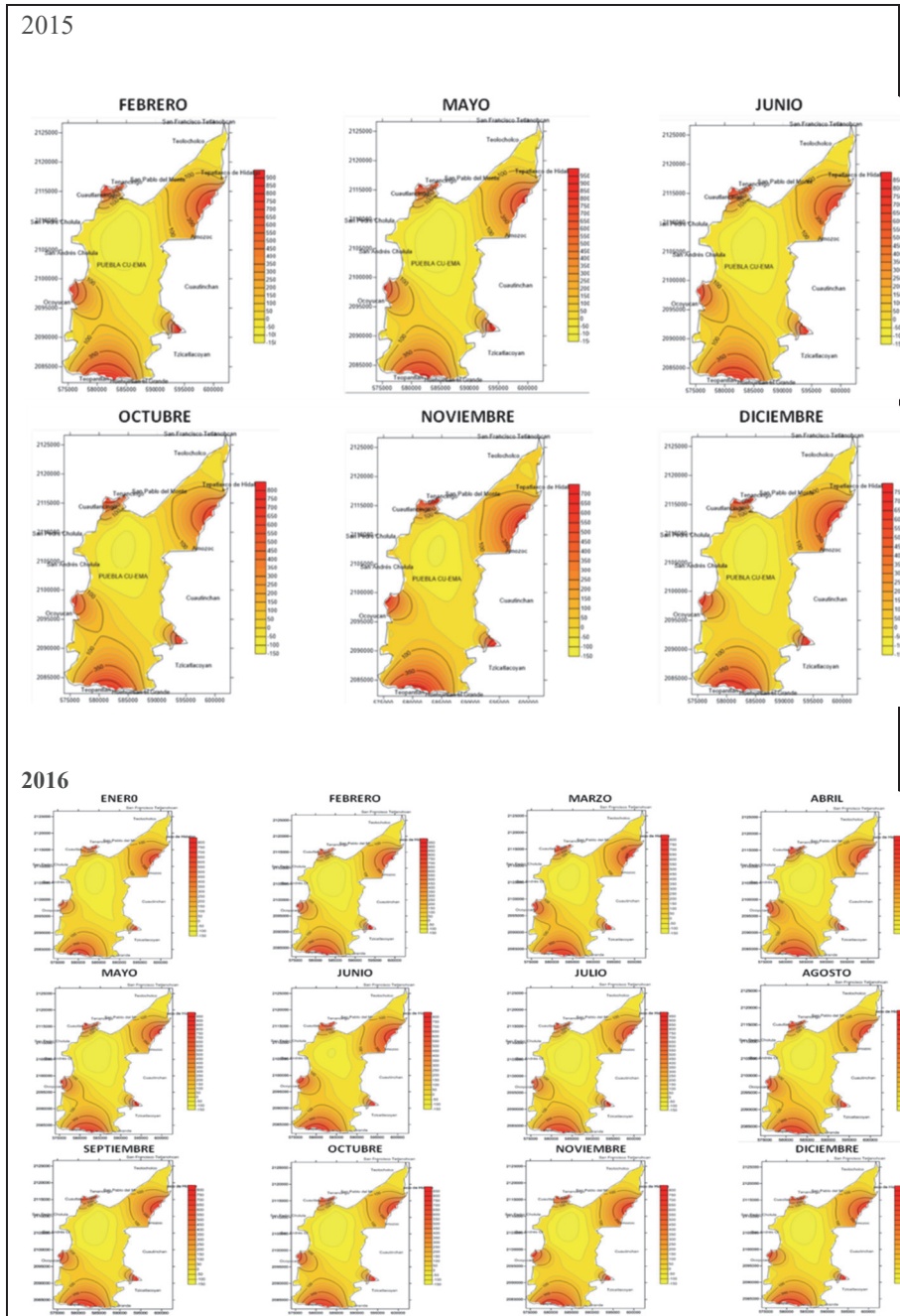


Figura 8. Radiación solar a lo largo de la ciudad de Puebla (2015 y 2016).

Para el año 2016 la radiación tuvo un rango cercano al normal, donde se puede apreciar un cambio notable es en el mes de enero, aquí muestra un aumento rápido en comparación con otros meses.

En la Figura 8 se puede apreciar la radiación solar en la ciudad de Puebla, resultado de los datos recaudados de la estación que, como se menciona estaban dentro de los parámetros normales. La radiación promedio máxima fue de 950 registrada en mayo de 2015 y en los meses de febrero, mayo y julio de 2016.

El último aspecto analizado en Ion Wavelets es la humedad; se siguió el procedimiento ya elaborado con las otras variables y se obtuvieron las modelaciones (Figura 9).

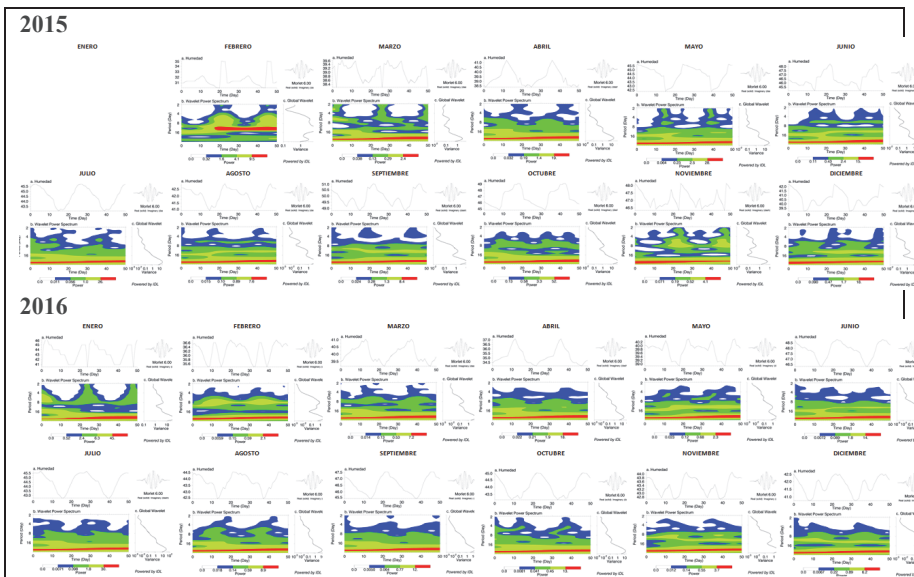


Figura 9. Modelo de Ion Wavelets para humedad: (2015, septiembre 51% máxima y febrero 31% mínima; 2016 junio 48.5% máxima y abril 34.5% mínima).

La humedad en el año 2015 presenta niveles cambiantes, cambios bruscos son los que causan repercusiones en la agricultura y la salud; se aprecian cambios en los meses de febrero y noviembre en ambos años, sin embargo, en el año 2016 son menos drásticos.

En la Figura 10 se aprecia la humedad que se tuvo en cada año, en el año 2015 podemos ver un cambio en los meses de marzo, mayo, julio y agosto; mientras que en el año 2016 el cambio es notorio de mayo a agosto.

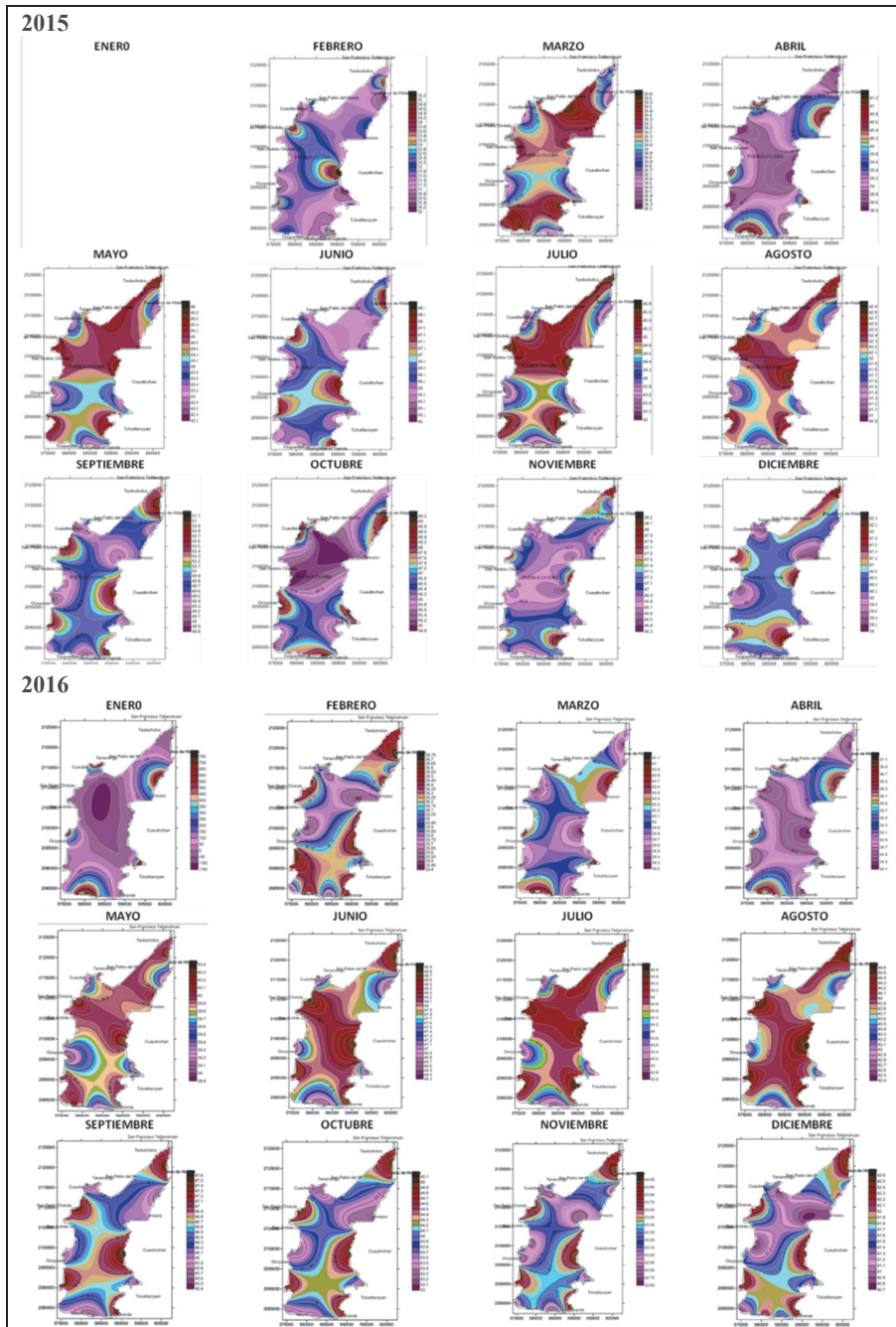
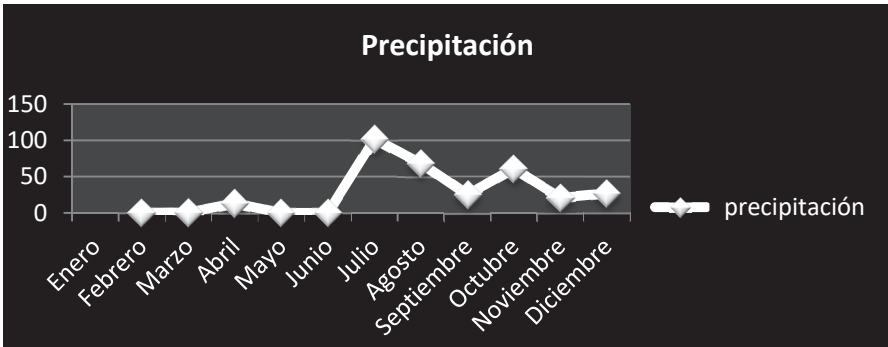


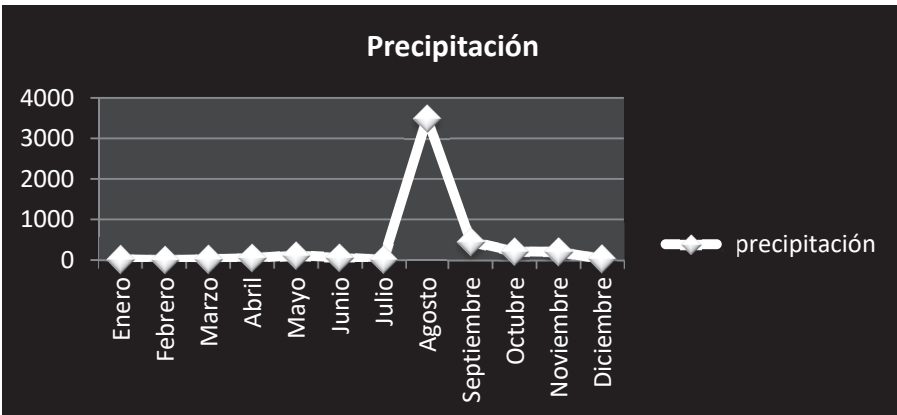
Figura 10. Humedad a lo largo de la ciudad de Puebla (2015 y 2016).

Con la precipitación el mejor método para entender su comportamiento fue sumar la precipitación registrada cada mes. La Gráfica 1 muestra la precipitación que se registró en 2015; se aprecian lluvias atípicas en los últimos meses del año. Según los datos del INEGI los meses de mayor precipitación son de junio a octubre; sin embargo la lluvia registrada este año dio comienzo en julio, un mes después de lo habitual, mientras que hubo lluvias registradas en los meses de octubre y diciembre, las cuales ya entran en lo atípico en comparación de los estándares mencionados.

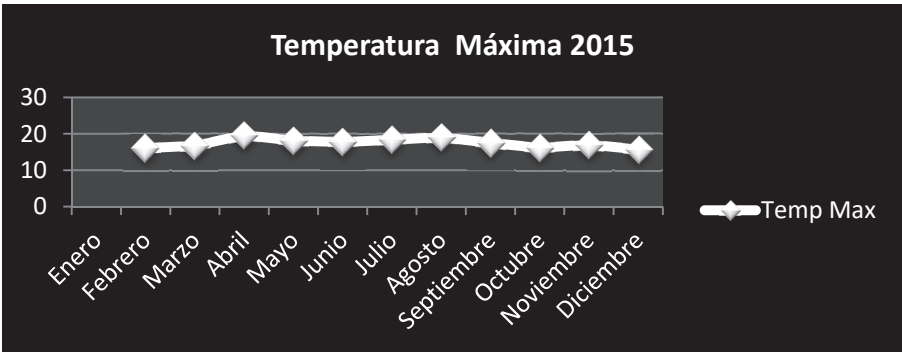


Gráfica 1. Precipitación mensual del año 2015 (julio 100 mm).

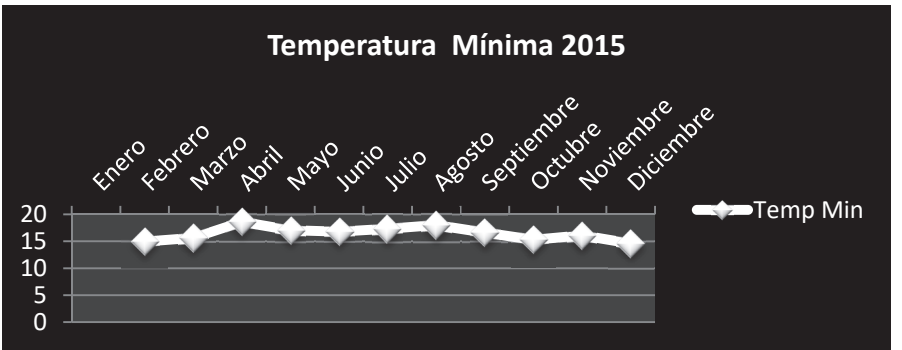
En la Gráfica 2 se aprecia la precipitación del año 2016; en éste se presenta una temporada de escasez de lluvia en los meses de junio y julio donde generalmente se muestran niveles altos de precipitación; en agosto se registró un muy alto nivel de agua precipitada, esto se debió a un huracán que entró por el Golfo de México.



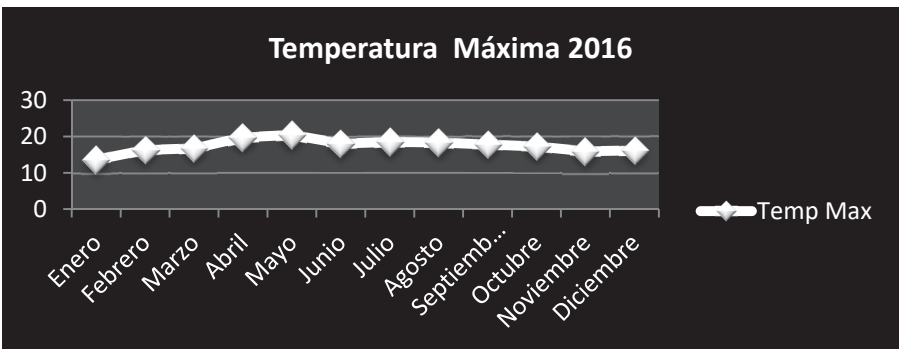
Gráfica 2. Precipitación mensual del año 2016 (agosto 3,500 mm).



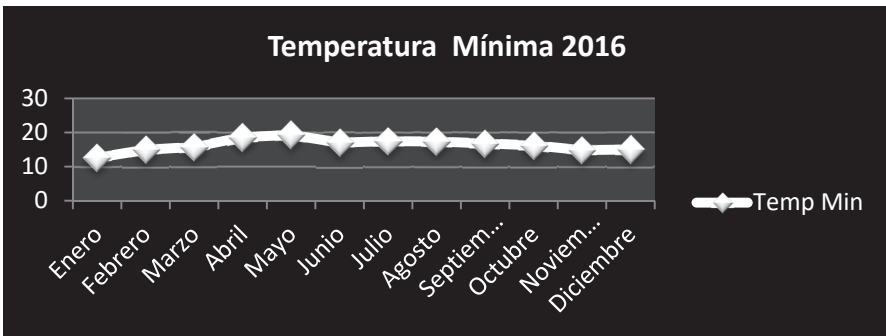
Gráfica 3. Temperatura Máxima del año 2015.



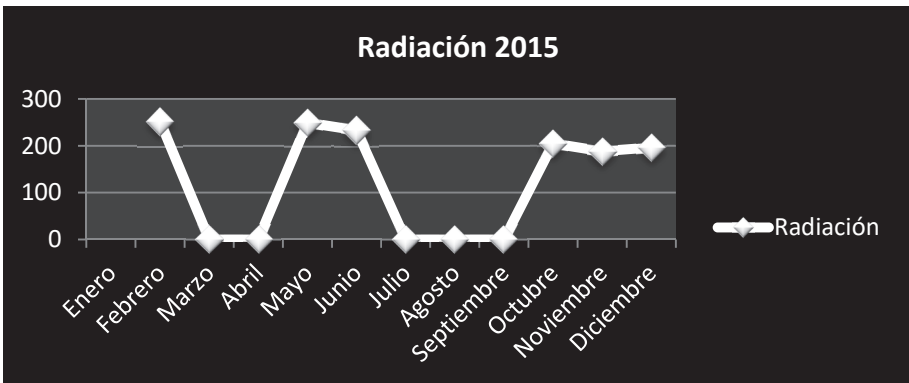
Gráfica 4. Temperatura Mínima del año 2015 (procesamiento a partir de las 11 am).



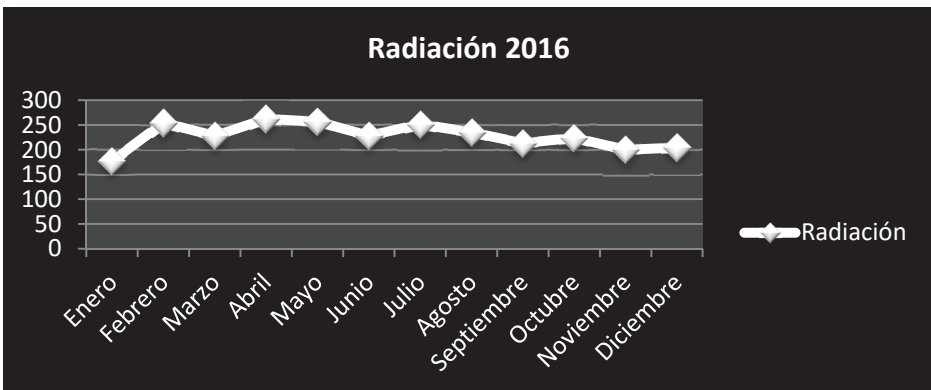
Gráfica 5. Temperatura Máxima del año 2016.



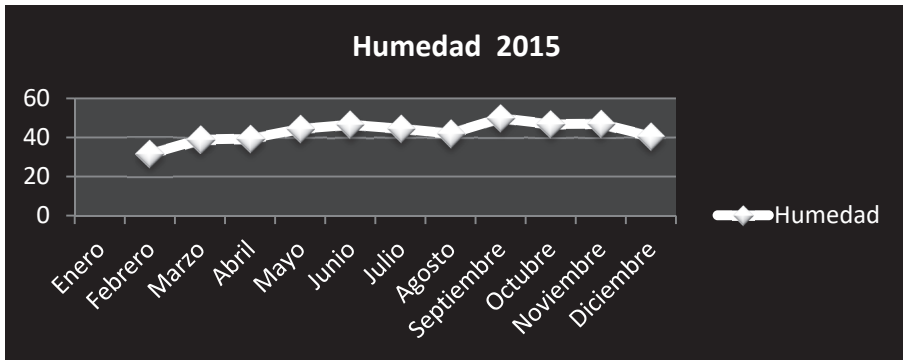
Gráfica 6. Temperatura Mínima del año 2016 (procesamiento a partir de las 11 am).



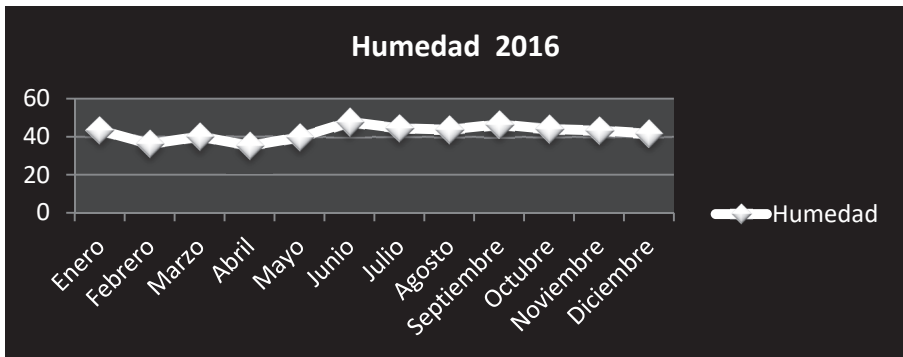
Gráfica 7. Radiación solar del año 2015.



Gráfica 8. Radiación solar del año 2016.



Gráfica 9. Humedad registrada en el año 2015.



Gráfica 10. Humedad registrada en el año 2016.

El estudio de la radiación solar es complicado, por la falta de registros en el 2015, sin embargo se puede idealizar cómo se presentó durante ese tiempo. Si se hace una comparación de las Gráficas 7 y 8, se aprecia que la radiación de los meses registrados en el primer año, es similar a la del segundo año en estudio. Se nota que del mes con menor radiación, que es enero, a febrero se tuvo un aumento considerable de radiación; y que en los meses de abril y mayo se alcanza la más alta de la misma. Si observamos los valores de la radiación en los meses del registro del primer año en cuestión con el segundo, se puede deducir que fueron casi iguales en ambos años ya que los valores son iguales o altamente cercanos.

Se propone una actividad de radiación solar similar para el año 2017, en donde ésta sea más baja en enero y llegue a su máximo en los meses de abril y mayo.

Si comparamos los años en estudio, existe una fuerte alteración por la falta de precipitación en el año 2016; lo que provocó un escás de agua en varios lugares, no

solo en la ciudad de Puebla sino también a lo largo y ancho del estado. Noviembre y diciembre tuvieron un comportamiento dentro de lo normal, donde se registró un nivel promedio de lluvia en octubre y noviembre, mientras que diciembre no tuvo registro.

Resultados

Los datos tratados a lo largo de dos años sirven como guía del patrón climático, también, como posible referencia del clima que se registrará en el año 2017; muestran además los cambios drásticos que podrían presentar. En las Gráficas 1 y 2 se nota que la precipitación está fuera de los rangos estimados para ambos años; en 2016 la alteración fue debida a tres ciclones tropicales; fuera de este fenómeno, el nivel de agua precipitada fue bajo a comparación del rango promedio. Lo que podría suceder en el año 2017 con la precipitación queda como incógnita, ya que el comportamiento de la precipitación se ha mantenido fuera del rango normal en los años de estudio. Sin embargo podemos esperar los niveles mal altos de lluvias entre julio y agosto, ya que en los años anteriores estos fueron los meses de mayor precipitación.

La temperatura en el 2015, a simple vista se puede decir que tuvo un comportamiento normal, porque generalmente el año empieza y termina con temperaturas bajas; mientras que los meses de mayor temperatura se encuentran entre abril y julio. No obstante, al comparar con los promedios de las temperaturas máximas y mínimas establecidas por el INEGI, tenemos que las máximas tienen un promedio de 28° C que llegan entre abril y mayo, mientras que en este año la temperatura máxima rondó en los 20° C, y fue registrada en los meses de abril hasta agosto.

La temperatura mínima obtenida del INEGI es de 6° C en enero, para comprender una oscilación térmica importante se ha graficado a partir de las 11 am para poder representar significativamente las lecturas mínimas, si observamos el registro de febrero oscila en los 15° C, se puede concluir que la mínima temperatura que se tuvo en este año fue en enero, pero aun así mayor al promedio establecido.

En el año 2016 la temperatura fue muy baja en el mes de enero y aumentó al llegar la primavera en marzo, en adelante, el descenso fue lento hasta llegar a diciembre (Gráficas 5 y 6). De la misma forma que el año anterior, tenemos que las temperaturas máximas se tuvieron entre abril y mayo, y que al igual estas están por debajo del promedio establecido por el instituto.

También para las temperaturas mínimas se tiene que fueron en enero (lecturas procesadas a partir de las 11 am), aunque esta no fue tan baja como el promedio.

De este análisis concluimos que la temperatura para 2017 se verá un comportamiento similar al de los años anteriores, siendo baja en enero y las altas se registren entre abril y mayo; sin que estas lleguen al promedio establecido.

En tanto a la humedad se establece que esta varía en ambos años; en el 2015 apreciamos cómo tuvo un aumento rápido de febrero a marzo, de abril a mayo y de agosto a septiembre; mientras que disminuyó de una forma más sutil de julio para agosto y de septiembre a diciembre donde culmina el año (véase Gráfica 9). El segundo año la humedad tuvo un comportamiento muy atípico, ya que estuvo aumentando y disminuyendo constantemente a lo largo del año (Gráfica 10). El nivel más bajo fue en abril, algo inusual, porque ésta normalmente es registrada a inicios o finales de año; y la más alta fue la esperada y alcanzada en junio. Fue justamente aquí donde llegó al máximo de una forma un poco brusca, observando este aumento desde abril, mientras disminuyó de forma pasiva de septiembre a terminar el año en diciembre.

Observando los años anteriores, se puede esperar que, en el año 2017 la humedad varíe en los primeros meses del año, y que se lleven a cabo cambios bruscos en ese mismo tiempo; mientras que, para el segundo semestre, ésta disminuirá como es usual y sin cambios drásticos.

Conclusiones

Al realizar una síntesis de los resultados, se puede pronosticar que para el año 2017 se espera una temperatura que varíe a lo largo del año, en el que las mínimas se registrarán en enero y diciembre; y en cambio las más altas entre abril y mayo y julio y septiembre, como sucedió en los dos años anteriores. La precipitación tenderá a disminuir entre los meses de mayo y julio principalmente en octubre; a menos que algún fenómeno meteorológico cambie esta condición; como sucedió en agosto del 2016. Lo último se puede esperar si, como en el año anterior, hubiese un periodo de escases de agua en meses, en donde la lluvia es común.

La radiación se comportó en general de la misma manera en ambos años de estudio, por consecuencia se espera que en el año 2017 se mantenga dentro del rango establecido, en donde la máxima se concentrara entre los meses de abril a junio, y la mínima en enero y/o diciembre. En tanto a la humedad, cabe mencionar que podría presentar un sube y baja en el primer semestre, como sucedió en el año anterior, es justo en este periodo donde el cambio entre un mes y otro puede ser un tanto brusco; esto provocado por el aumento de la radiación y la existencia o no, de precipitación; de la misma forma que los de los dos años estudiados, se espera que disminuya de forma normal al concluir el año.

El análisis de los resultados arroja posiblemente alteraciones de un posible cambio climático que empieza a suceder en la ciudad de Puebla, ya que las tendencias indican extremos en precipitaciones y temperaturas.

Debemos estar atentos a lo que suceda con estos cambios que pueden afectar a la población.

Referencias

- Anónimo, "Deterioro atmosférico en México", *Memorias del Congreso de Greenpeace-México*, 1993.
- Ayllon, T., *Elementos de Meteorología y Climatología*, Trillas, 2003, pp. 75-105.
- Campbell, R., *Introduction to Remote Sensing*, Academic Press, Waltham, 2002, pp. 20-59.
- Gasquet, C., *Analyse de Fourier et Applications*, 2000.
- Goody D. et al., *Atmospheric Radiation Theoretical Basis*, 2nd Edition, Oxford University Press, Oxford, 1999.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), *Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Puebla*, 2009.
- Juárez, A.; C. Gay and Y. Flores, "Impact of the Popocatepetl's Volcanic Activity on the Air Quality of Puebla City, Mexico", *Atmósfera*, 2005, pp. 57-69.
- Mallat, S., "Wavelet Tour of Signal Processing," Academic Press, Waltham, 1999.
- "Radiation Measurement", *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, No. D25, 2002, pp. 29901-29915, <<http://dx.doi.org/10.1029/97JD01781>>.
- Ramos, R. Rivera, A.; Mayorga, R. y González, J., "Aplicación de Imágenes satelitales para determinar el clima y la radiación solar en el estado de Puebla y la geohidrología de su zona norte," *Ciencia Ergo Sum*, México 2005.
- Ramos, R., *Ciencias atmosféricas, un enfoque general*, UTP, 2003.
- Ramos, R., P. Máximo, B. Soto, S. Alcántara y G. Pérez; "Analysis of the meteorological variables for Puebla City 2011-2012 applying the modeling Ion-Wavelets in a hypothetical manner", *Atmospheric and climate sciences*, no. 3, pp. 450-458, 2013.
- Spiegel M., *Probabilidad y Estadística*, R. Ramos-Aguilar et al., México, McGraw Hill, 2000.
- Torrence C. y P. Compo, *A practical guide to Wavelet analysis*, 1998.
- Torrence C., "A Practical Guide to Wavelet Analysis," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, no. 1, pp. 61-78, 1998.
- Zender, K. et al., "Atmospheric Absorption during the Atmospheric."