

Estudio y comportamiento meteorológico para la ciudad de Puebla (México) durante el periodo 2011-2012 aplicando el modelo Ion-Wavelets de forma hipotética

Rogelio Ramos-Aguilar*
Patricia Máximo-Romero*
Blanca Susana Soto-Cruz**
Salvador Alcántara-Iniesta*
José Guillermo Pérez-Luna**
María Ángela Saldaña-Pacheco**

Abstract

This work presents the results of the meteorological variables using the model Ion-Wavelets hypothetically.

In this case it is used the wavelet transformed, which is the result of a large number of investigations made during the 1980's and applied to a variety of physical phenomena derived from chaotic natural processes; the data were processed with the phenomenon El Niño (El Niño -Southern Oscillation, ENSO) and CO² (carbon dioxide) due to the fact that these are the weather phenomena that are most suited to our object of study correlated with the distribution of Gauss and Morlet during the study period for the Valley of Puebla.

Key words: Wavelets, Gauss, Morlet, Variables, Model.

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de variables meteorológicas aplicando el modelo de Ion Wavelets de forma hipotética.

* Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Av. San Claudio y 18 Sur, C.U., Puebla, Puebla, México, correos electrónicos: rogelio.ramos@correo.buap.mx, patricia.maximo@correo.buap.mx

** Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores, BUAP.

En este caso se utiliza la transformada wavelet que es el resultado de un gran número de investigaciones realizadas durante la década de los 80's y aplicada a diversos fenómenos físicos derivados de procesos naturales caóticos; los datos se procesaron con el fenómeno de El Niño (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) y CO₂ (bióxido de carbono) debido a que éstos son los fenómenos meteorológicos que más se adaptan a nuestro objeto de estudio correlacionándose con la distribución de Gauss y de Morlet durante el periodo de estudio para el Valle de Puebla.

Palabras clave: Wavelets, Gauss, Morlet, variables, modelo.

Método

En este caso se utiliza la transformada wavelet que es el resultado de un gran número de investigaciones realizadas durante la década de los 80's y aplicada a diversos fenómenos físicos derivados de los procesos caóticos, es decir un entendimiento y desarrollo complejo que constituye una técnica de análisis reciente.

El término se define como: pequeña onda o función localizable en el tiempo para la representación y segmentación de señales en el análisis tiempo-frecuencia.

La transformada de wavelet se ha empezado a aplicar en diferentes campos como astronomía, acústica, ingeniería nuclear, detección de terremotos, compresión de imágenes, óptica, resonancia magnética, radar, meteorología, etc.

Utilizando el modelo Wavelet, cuya base matemática es similar a la Teoría de Fourier, se descompone una serie temporal en el dominio del tiempo y de la frecuencia, lo que se convierte en un análisis adecuado para el estudio de series no estacionarias, que contengan variabilidad en muy diferentes escalas temporales, como es el caso de las series meteorológicas.

Con la descomposición en el dominio del tiempo y de la frecuencia, es factible obtener tanto los modos de variabilidad temporal más importantes como su evolución en el tiempo, permitiendo además, la localización en el tiempo de señales oscilatorias de muy corta duración (Godoy, D. et al. 1999).

En este trabajo se aplicó la ion-wavelet gaussiana siguiente para las variables de temperatura, energía y precipitación.

$$(x, n) = Cn * \frac{d}{dx} (e^{-x^2}, n) \quad \text{Modelo 1}$$

Donde Cn es una constante determinada por 2-norm de gauss (x,n)=1; donde sólo es posible realizar la transformada continua de wavelets y puede ser simétrica o asimétrica según el valor de n.

Posteriormente para el desarrollo de las características de comportamiento con los modelos de El Niño y el de CO₂ se utilizó la Transformada Wavelet de Morlet que es simétrica y cuyo modelo matemático es:

$$(x) = e^{-\frac{x^2}{2}} * \cos(5x) \quad \text{Modelo 2}$$

para correlacionar los puntos térmicos máximos con los puntos de precipitación durante el periodo analizado.

Resultados obtenidos con las transformadas de Wavelet y Morlet

Los datos se procesaron con las Ion Wavelet, el cual es un programa desarrollado para el análisis de variables continuas como las meteorológicas, ya que sólo requiere de la instrumentación analítica. Los datos registrados se procesaron con el fenómeno de El Niño (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) y CO₂ debido a que éstos son los fenómenos meteorológicos que más se adaptan a nuestro objeto de estudio.

Recordemos que el fenómeno de El Niño es un proceso climático cíclico que provoca estragos a nivel mundial, siendo las más afectadas América del Sur y las zonas entre Indonesia y Australia, provocando con ello el calentamiento de las aguas del Pacífico; utilizándose de forma hipotética este modelo para entender la posibilidad de cambio climático generado por este proceso en el centro de la República Mexicana, específicamente en la ciudad de Puebla.

La relación entre el fenómeno de El Niño y el CO₂ para este estudio, se considera el ideal para el análisis, debido a las condiciones meteorológicas que pudieran verse reflejadas en el comportamiento de los vientos, temperaturas, lluvia y radiación solar; además de la constante contaminación de CO₂ que se presentan en la capital y que es probable estén relacionadas; posteriormente se usa la señal de reconstrucción de la transformada de Wavelet (véase Gráficas 1).

Este modelo permite analizar los datos por medio de una gráfica en 2D, que se generan en el procesamiento. En el eje “x” se ubica la escala temporal y en el eje “y” la escala del análisis; utilizando únicamente los algoritmos de Gauss y de Morlet. En el espectro Wavelet aparecen localizadas en el espacio temporal las zonas en las que existe una mayor acumulación energética. Es interesante ver la forma en que la acumulación de radiación solar, temperatura, humedad y precipitación se distribuyen a lo largo del tiempo a diferentes escalas temporales.

El análisis de las gráficas nos sirven para entender el comportamiento de las variables procesadas durante el periodo de análisis 2011-2012.

Modelado de variables meteorológicas de la ciudad de Puebla

En este desarrollo se aplicaron los modelos del fenómeno de El Niño (1) y el de CO₂ (2); obteniendo como resultado el modelado en 2D y 3D.

Tanto el procesamiento de los datos como la creación de estos modelos y los resultados, pretenden ser propuestos en un futuro inmediato para darle seguimiento a las variaciones de clima importantes que estén relacionadas con el calentamiento global. Se aplicó (1) para las variables de temperatura, humedad, precipitación y energía en los meses de junio-julio-diciembre de 2011 y mayo-junio de 2012, ya que son los meses representativos según la variación de las variables analizadas.

En este análisis la lluvia inicia en mayo, con una alta humedad y precipitación importante, y una energía que varía constantemente. En el mes de mayo, la superficie de la Tierra recibe energía procedente del Sol en forma de radiación electromagnética: absorbe calor y emite radiación en el rango infrarrojo, de manera que así se genera una constante fuente de energía para mantener el flujo conjunto de la atmósfera.

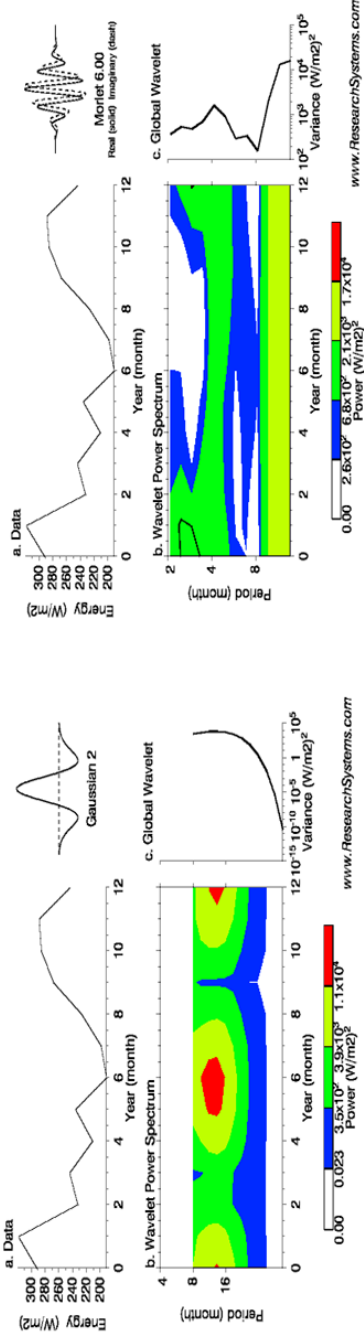
La energía que la superficie del valle de Puebla recibe depende del ángulo de incidencia de los rayos y de la altitud, permaneciendo relativamente constante la temperatura. La Gráfica 1 (incisos “a” al “d”) muestra las gráficas y los espectros obtenidos de las variables procesadas.

El resultado sugiere una alteración en el sistema de precipitación de la media normal, atrasando en el 2011 la temporada de lluvia y en el 2012 entrando a un proceso normal a partir de mayo; es decir existe una clara relación de la actividad de El Niño en el Valle de Puebla en el periodo anual estudiado.

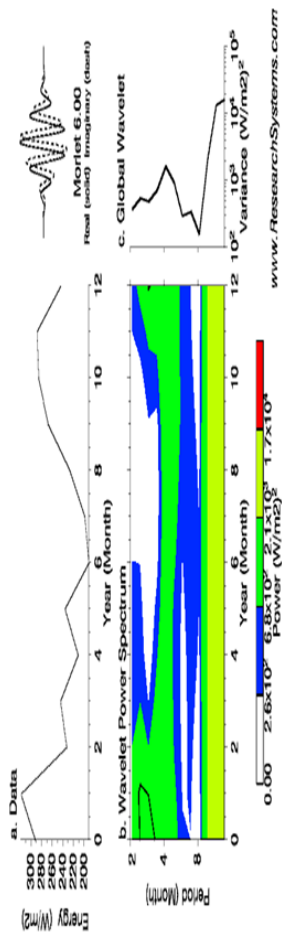
El resultado de las variables procesadas son idénticas, es decir, en este modelo la alteración atmosférica con el bióxido de carbono es nula; así como la actividad del volcán Popocatepetl no influyó en el comportamiento atmosférico de las variables procesadas.

La hipótesis sugiere que aplicando el modelo del fenómeno de El Niño, el resultado que se obtiene está relacionado directamente con el Valle de Puebla, mientras que el modelo del CO₂, se relaciona con el cambio climático y tendría que analizarse para futuros estudios.

En las Figuras 1, 2 y 3 se representa la modelación de las temperaturas máximas y mínimas, precipitación y humedad y por último la energía o radiación solar; la modelación no varía significativamente, se mantiene casi igual con los resultados obtenidos de 2005 a 2010, lo que muestra que se han mantenido en un rango casi igual.

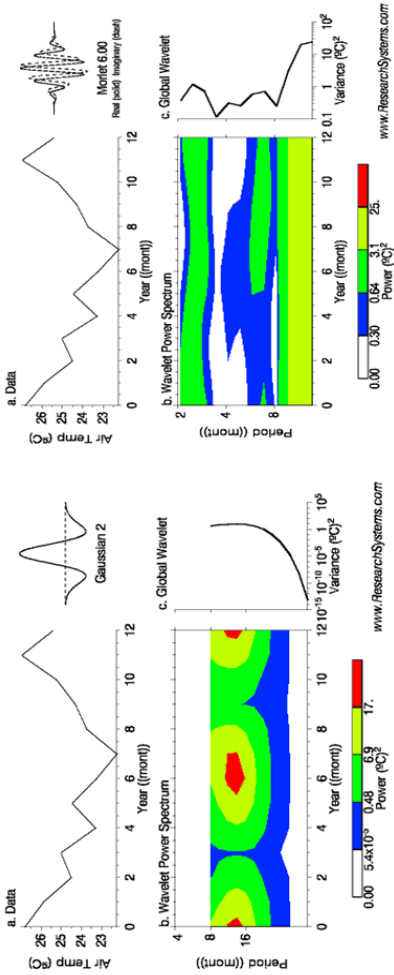


Gráficas procesadas con el modelo del Fenómeno de El Niño

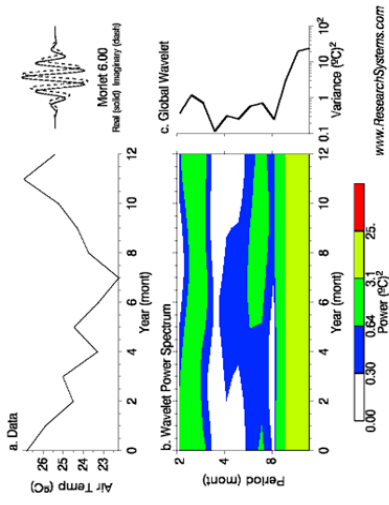


Gráfica procesada con el modelo de CO₂

Gráfica 1a. Radiación solar.

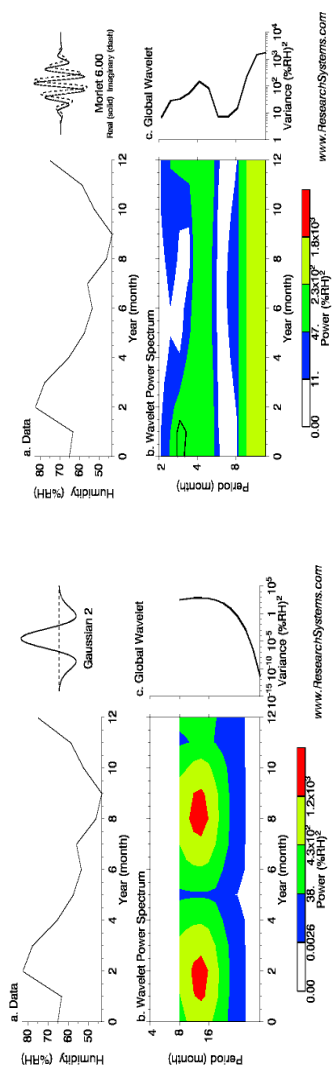


Gráficas procesadas con el Fenómeno de El Niño

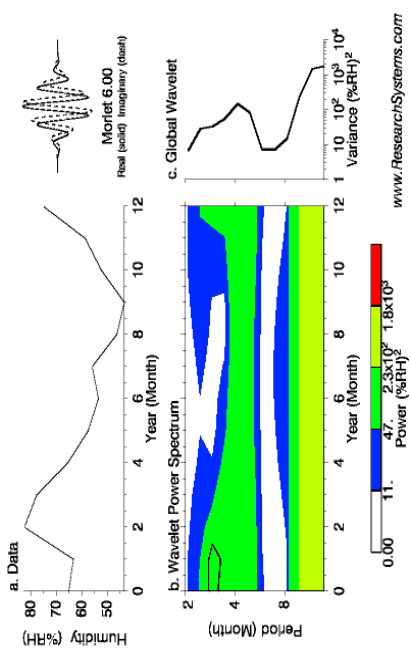


Gráfica procesada con CO₂

Gráfica 1b. Temperatura.

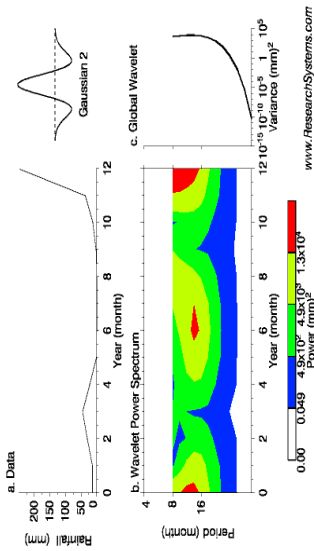
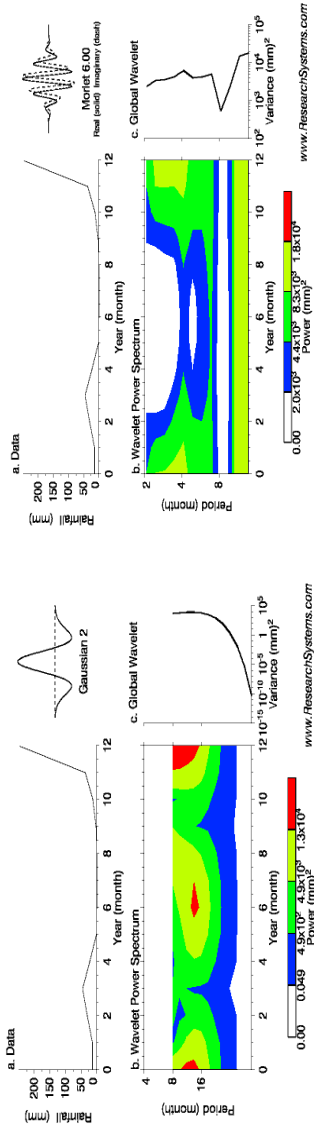


Gráficas procesadas con el modelo del Fenómeno del

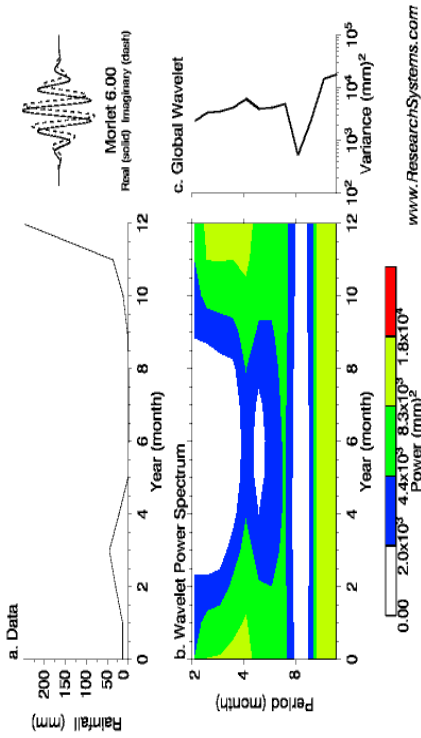


Gráfica procesada con el modelo de CO₂

Gráfica 1c. Humedad.



Gráficas procesadas con el modelo del Fenómeno del Niño



Gráfica procesada con el modelo de CO₂

Gráfica Id. Precipitación.

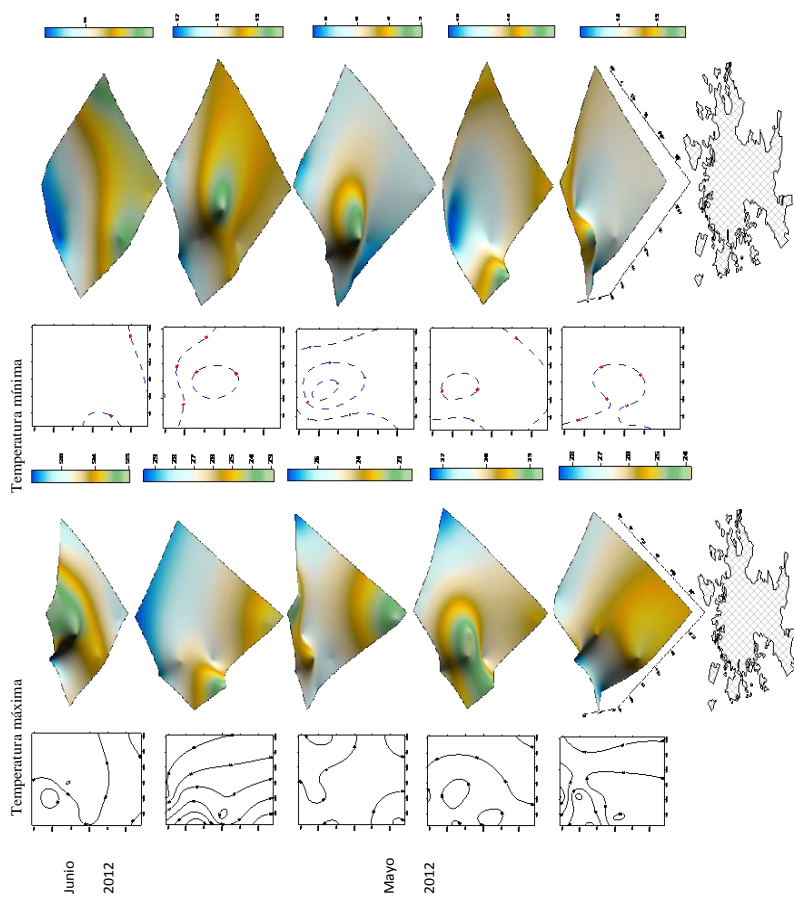


Figura 1. Modelación de los meses de junio-julio-diciembre de 2011 y mayo-junio de 2012 de temperaturas máximas y mínimas; no hay variación significativa con otros años. La temperatura máxima promedio en el mes de mayo de 2012 fue de 30°C, la temperatura mínima en diciembre de 2011 fue de -2°C.

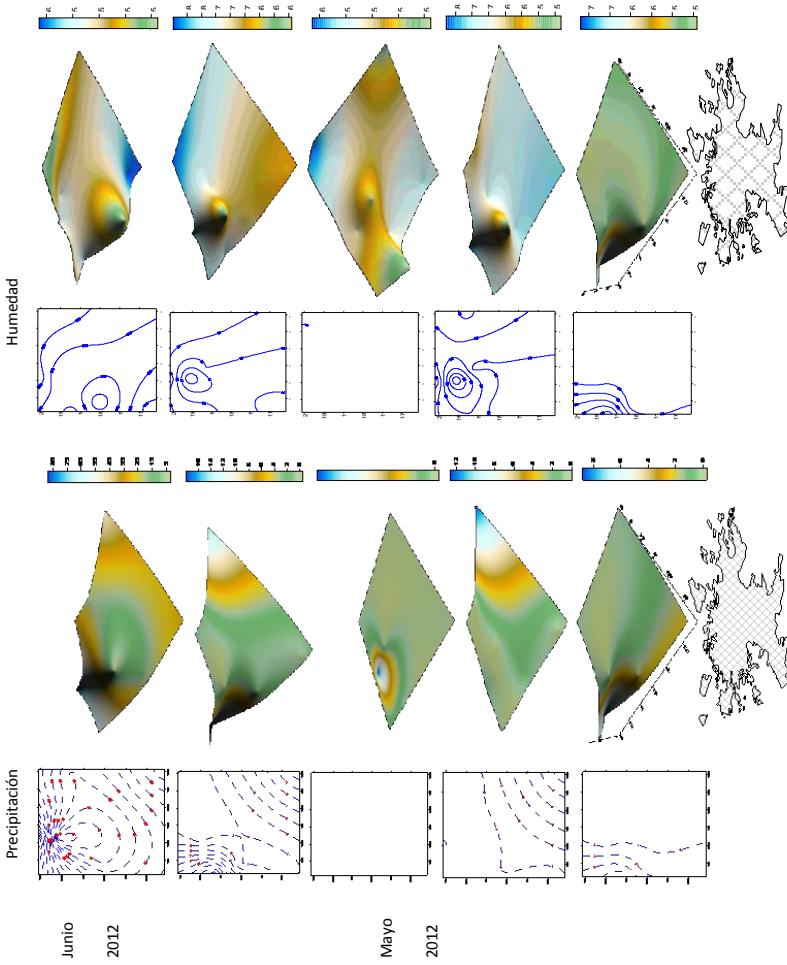


Figura 2. La precipitación promedio mayor se registró en junio de 2012 con 87mm y nula en diciembre de 2011. La humedad promedio mayor se registró en mayo de 2012 con 85% y la promedio menor se presentó en diciembre de 2011 con 48%.

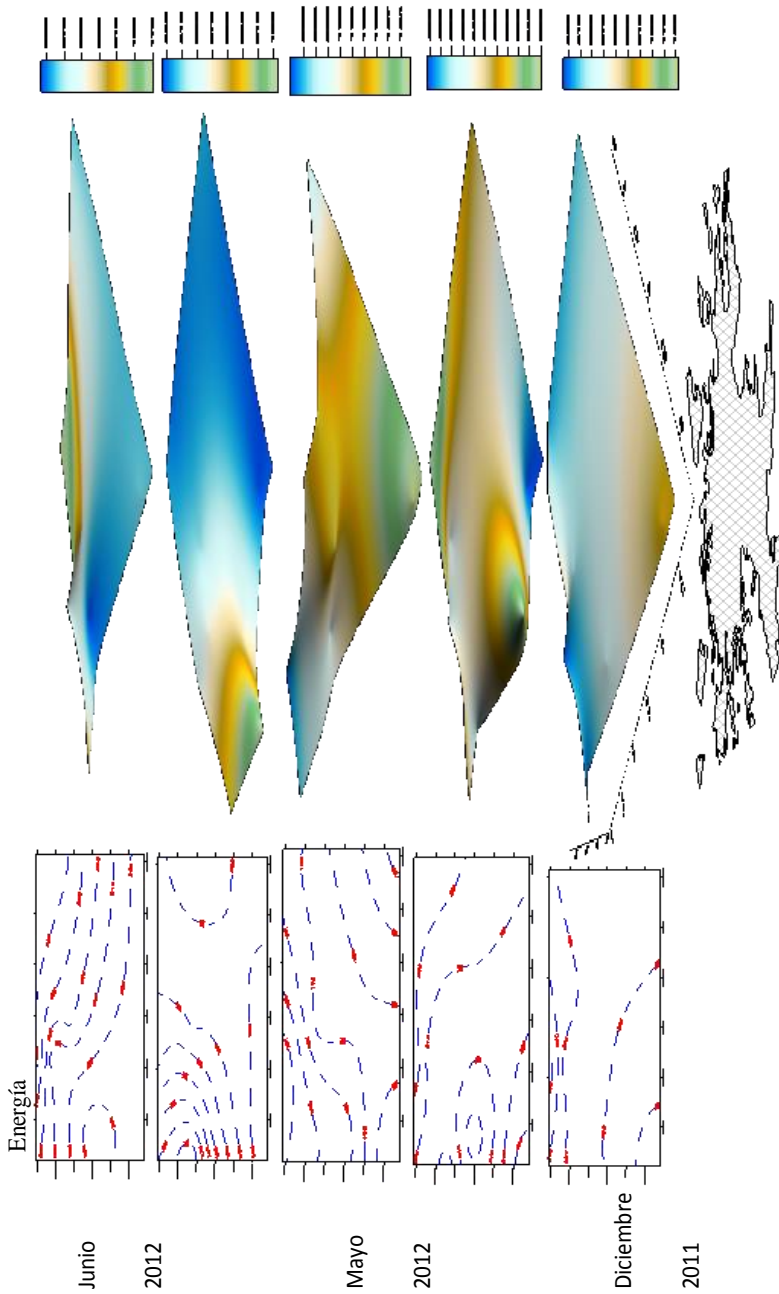


Figura 3. Modelado de la radiación o energía de los meses analizados, la mayor cantidad de energía fue en julio de 2011 con un promedio de 423W/m² y la menor en junio del mismo año con un promedio de 148W/m².

Conclusiones

Este trabajo presenta un análisis para determinar el comportamiento de condiciones climáticas; determinando que la temperatura ha aumentado gradualmente, el calentamiento no ha sido uniforme ni estacionario a lo largo de todo el año; lo que indica probablemente un ejemplo del cambio climático que se presenta actualmente.

Surge la necesidad de contar con evidencias de tendencias de temperatura y precipitación a una escala más fina para mejorar la comprensión de la variabilidad y cambio a largo plazo y sus mecanismos asociados.

La relación entre temperatura y humedad suele ser dispersa en todo el año, la temperatura se incrementa o disminuye según la cantidad de humedad que se encuentre en el aire.

La relación entre humedad y precipitación muestra que la humedad aumenta en época de lluvia.

La relación entre precipitación y energía está dada por la oscilación térmica existente, es decir a mayor energía menor precipitación.

El estudio permitió identificar las zonas de acumulación térmica, humedad y precipitación, tanto máxima como mínima. Igualmente, se identificaron las zonas de acumulación de isolíneas térmicas (curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante de temperatura) y de isoyetas (curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante de precipitación o acumulación de agua) durante el periodo de estudio para el Valle de Puebla.

En la Tabla 1 se describe en forma breve el pronóstico hidrometeorológico por regiones para el periodo mayo-noviembre de 2012 en el Estado de Puebla, aplicando la hipótesis de las Ion-Wavelets (véase Tabla 1).

Pronóstico de acumulación total de precipitación de lluvia para el periodo mayo-noviembre de 2012 para municipios representativos del estado de Puebla (véase Tabla 2).

Tabla 1

<i>1.- Pronóstico de lluvias de moderadas a intensas (de 15 a 60 o más mm/hr):</i>
<i>Región Huauchinango: se esperan entre 25 y 30 tormentas</i>
<i>Región Zacatlán: se esperan entre 22 y 33 tormentas</i>
<i>Región Cuetzalan: se esperan entre 20 y 30 tormentas</i>

Continuación Tabla 1

Región Teziutlán: se esperan entre 20 y 29 tormentas
Región Tlachichuca: se esperan entre 22 y 33 tormentas
Región Huejotzingo (Ciudad de Puebla): se esperan entre 20 y 35 tormentas
Región Tepeaca/Tepexi: se esperan entre 9 y 21 tormentas
Región Tehuacán: se esperan entre 28 y 32 tormentas
Región Izúcar: se esperan entre 15 y 29 tormentas
Región Acatlán: se esperan entre 20 y 29 tormentas

2.- *Pronóstico de granizada:*
Región Huauchinango: se esperan entre 1 y 5 granizadas
Región Zacatlán: se esperan entre 1 y 5 granizadas
Región Cuetzalan: se esperan entre 1 y 5 granizadas
Región Teziutlán: se esperan entre 1 y 5 granizadas
Región Tlachichuca: se esperan entre 1 y 8 granizadas
Región Huejotzingo (Ciudad de Puebla): se esperan entre 5 y 15 granizadas
Región Tepeaca/Tepexi: se esperan entre 5 y 15 granizadas
Región Tehuacán: se esperan entre 5 y 8 granizadas
Región Izúcar: se esperan entre 1 y 5 granizadas
Región Acatlán: se esperan entre 1 y 5 granizadas

3.- *Pronóstico de precipitación de lluvias de moderadas a intensas (acumulación total aproximada):*
Región Huauchinango: aproximadamente 1,325mm
Región Zacatlán: aproximadamente 1,650mm
Región Cuetzalan: aproximadamente 1,350mm
Región Teziutlán: aproximadamente 1,725mm
Región Tlachichuca: aproximadamente 1,700mm
Región Huejotzingo (Ciudad de Puebla): aproximadamente 1,560mm
Región Tepeaca/Tepexi: aproximadamente 1,075mm
Región Tehuacán: aproximadamente 1,700mm
Región Izúcar: aproximadamente 1,050mm
Región Acatlán: aproximadamente 1,005mm

Tabla 2

Acajete: 956mm	Huaquechula: 861mm	Teotlalco: 835mm
Acateno: 745mm	Huauchinango: 975mm	Tepanco de López: 934mm
Acatlán: 646mm	Ixtamaxtitlán: 595mm	Tepango de Rodríguez: 1229mm
Acatzingo: 799mm	Izúcar de Matamoros: 971mm	Tepexco: 895mm
Ahuazotepec: 525mm	Jalpan: 835mm	Tepexi de Rodríguez: 966mm

Continuación Tabla 2

Ahuehuetlta: 845mm	Jolalpan: 876mm	Tepeyahualco: 892mm
Ajalpan: 1,152mm	Molcaxac: 785mm	Tepeyahualco de Cuauhtémoc: 834mm
Amozoc: 935mm	Ocoyucan: 811mm	Tetela de Ocampo: 695mm
Atlixco: 1,093mm	Oriental: 1,002mm	Teziutlán: 1,182mm
Ayotoxco de Guerrero: 915mm	Pantepec: 841mm	Tlacotepec de Benito Juárez: 1,523mm
Calpan: 888mm	Piaxtla: 765mm	Tlahuapan: 775mm
Caltepec: 797mm	Puebla: 1,400mm	Tlatlauquitepec: 935mm
Coatzingo: 872mm	Quimixtlán: 777mm	Tlaxco: 867mm
Coyotepec: 794mm	San Andrés Cholula: 855mm	Tochimilco: 713mm
Cuetzalan: 1,975mm	San Jerónimo Xayacatlán: 435mm	Tulcingo: 505mm
Cuyoaco: 865mm	San Juan Atenco: 759mm	Venustiano Carranza: 923mm
Ciudad Serdán: 1,065mm	San Martín Texmelucan: 1,086mm	Vicente Guerrero: 2,100mm
Chapulco: 815mm	San Nicolás de los Ranchos: 868mm	Xicotepec: 1,446mm
Chietla: 661mm	San Salvador El Seco: 725mm	Xochitlán Todos Santos: 768mm
Chignahuapan: 1,075mm	Santa Inés Ahuatempan: 629mm	Zacapoaxtla: 1,078mm
Chila de la Sal: 879mm	Tecali de Herrera: 875mm	Zacatlán: 1,043mm
Esperanza: 1,389mm	Tecamachalco: 1,155mm	Zapotitlán: 993mm
Francisco Z. Mena: 719mm	Tehuacán: 1,225mm	Zaragoza: 1,179mm
Guadalupe: 873mm	Tehuizingo: 799mm	Zoquitlán: 950mm
Guadalupe Victoria: 834mm	Teopantlán: 845mm	

1. *Municipios que comprende la región de Huauchinango:* Chiconcuautla, Francisco Z. Mena, Honey, Huauchinango, Jalpan, Jopala, Juan Galindo, Naupan, Pahuatlán, Pantepec, Tlacuilotepec, Tlaola, Tlapacoya, Venustiano Carranza, Xicotepec, Zihuateutla.
2. *Municipios que comprende la región de Zacatlán:* Ahuacatlán, Amixtlán, Camocuautla, Cuautempan, Hermenegildo Galeana, San Felipe Tepatlán, Tepango de Rodríguez, Tepetzintla, Tetela de Ocampo, Zacatlán.
3. *Municipios que comprende la región de Cuetzalan:* Atlequizayan, Caxhuacan, Coatepec, Cuetzalan del Progreso, Huehuetla, Hueytlalpan, Huitzilán de Serdán, Ixtepec, Jontla, Nauzontla, Olintla, Tuzamapan de Galeana, Xochiapulco.
4. *Municipios que comprende la región de Teziutlán:* Acateno, Atempan, Ayotoxco de Guerrero, Chignautla, Hueyapan, Hueytamalco, Tenampulco, Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac.

5. *Municipios que comprende la región de Tlachichuca*: Acatzingo, Chichiquila, Chilchotla, General Felipe Ángeles, Nopalucan, Oriental, Palmar de Bravo, Quecholac, Quimixtlán, Rafael Lara Grajales, San José Chiapa, San Salvador el Seco, Soltepec.
6. *Municipios que comprende la región de Huejotzingo*: Chiautzingo, Huejotzingo, Puebla, San Felipe Teotlalcingo, San Matías Tlalancalca, San Nicolás de los Ranchos, San Salvador el Verde, Tlahuapan, Tochimilco.
7. *Municipios que comprende la región de Tepeaca/Tepexi*: Acajete, Amozoc, Atoyatempan, Coatzingo, Coyotepec, Cuapiaxtla, Cuautinchán, Huatlatlauca, Huehuetlán el Grande, Huitziltepec, Ixcaquixtla, Los Reyes de Juárez, Mixtla, Molcaxac, Santa Catarina Tlaltempan, Santo Tomás Hueyotlipan, Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tepatlaxco, Tepeaca, Tepexi de Rodríguez, Tzicatlacoyan, Zacapala.
8. *Municipios que comprende la región de Tehuacán*: Ajalpan, Atexcal, Coxcatlán, Coyomeapan, Eloxochitlán, San Sebastián Tlacotepec, Vicente Guerrero, Yehualtepec, Zoquitlán.
9. *Municipios que comprende la región de Izúcar*: Ahuatlán, Chiautla, Epatlán, Izúcar de Matamoros, Teopantlán, Xochiltepec.
10. *Municipios que comprende la región de Acatlán*: Acatlán, Chila, Cuayuca de Andrade, Petlalcingo, San Miguel Ixitlán, Santa Inés Ahuatempan, Tehuizingo, Totoltepec de Guerrero, Xayacatlán de Bravo.

La aplicación de la hipótesis de Ion-Wavelets, nos arroja datos atípicos para el periodo analizado, por ejemplo, en un rango de tiempo corto gran cantidad de lluvia igual que granizadas fuertes.

Además con estos datos se pretende contribuir al proceso de desarrollo agrícola, es decir la relación que pudiera existir entre los datos obtenidos y algún tipo de semilla que pudiera ser la ideal para el desarrollo edafológico en la zona de estudio; la aplicación de este modelo llevará más tiempo en cuanto al proceso de observación para determinar si es viable la hipótesis aplicada.

El modelo utilizado aplicado a las características de ENSO (fenómeno de El Niño, cálido), de la Niña (frío) y de análisis antropogénicos (bióxido de carbono principalmente), y los resultados estadísticos y matemáticos tienen un rango de certeza de 75 a 85%.

Bibliografía

- Ayllon, T., *Elementos de meteorología y climatología*, Trillas, México, pp. 75-105, 2003.
- Campbell, R., *Introduction to remote sensing*, Academic Press, pp. 20-59, USA, 2002.
- Gasquet, C., *Analyse de fourier et applications*, France, 2000.
- Godman, P., *Principles of geographical information systems For Land Resources*, Springer, USA, 2001.

- Goody, D., *et al.*, *Atmospheric radiation theoretical basis*, 2nd ed., Oxford University Press, USA, 1999.
- Juárez, A.; Gay, C. y Flores, Y., “Impact of the Popocatepetl’s volcanic activity on the air quality of Puebla City, México”, *Atmósfera*, pp. 57-69, México, 2005.
- Mallat, S., *Wavelet tour of signal processing*, Academic Press, USA, 1999.
- Máximo, P., “Deterioro atmosférico en México”, *Memorias del Congreso de Greenpeace-México*, 1993.
- Spiegel, M., *Probabilidad y Estadística*, Ed. Mc Graw Hill, México, 2000.
- Ramos, R., *Ciencias Atmosféricas, un enfoque general*, UTP. México, 2003.
- *et al.*, “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.
- Torrence, C., “A practical guide to wavelet analysis. Bull”, *Amer. Meteor. Soc.*, no. 79, pp. 61-78, USA, 1998.
- Zender, K., *et al.*, “Atmospheric absorption during the Atmospheric Radiation Measurement”, *J. Geophys. Res.*, no. 102, pp. 29901-29915, USA, 2002.