

Análisis probabilístico de la precipitación y su relación con fenómenos meteorológicos durante el año 2013 en Xalapa, Veracruz

Cervantes Pérez Juan, López Badillo Carlos

Universidad Veracruzana, Veracruz, México, jcervantes@uv.mx, ic.carloslb@gmail.com

Introducción

Los fenómenos meteorológicos se han ido intensificando en un los últimos años debido a los estragos del cambio climático, teniendo como consecuencia importantes variaciones en el clima a lo largo del estado. La presencia de diferentes fenómenos como huracanes, tormentas tropicales y depresiones tropicales que se han ido intensificando, han producido grandes problemas para las poblaciones vulnerables a los remanes de estos fenómenos. Problemas como inundaciones, deslaves, pérdidas de cosechas y animales, han preocupado de manera alarmante a los habitantes.

En la ciudad de Xalapa, problemas como las inundaciones en colonias, en su mayoría mal diseñadas para soportar una importante acumulación de lluvia, han sido de gran impacto por la poca prevención que se tiene al enfrentar una temporada de fuertes lluvias. En otras zonas de la ciudad, el crecimiento de ríos cercanos provoca que se intensifique en un determinado tiempo las inundaciones y los daños materiales sean mayúsculos. Otro factor que influye directamente con el problema de las inundaciones por lluvia es la topografía de la región, ya que Xalapa presenta una topografía accidentada a lo largo de su extensión territorial.

Para tener un control acerca de los porcentajes de precipitación existentes en una región es necesario instalar estaciones hidrométricas, las cuales miden la cantidad de agua de lluvia presentada en un radio y así obtener un ponderado del comportamiento de la lluvia en un tiempo determinado.

La zona urbana de Xalapa ha ido en crecimiento debido al incremento demográfico presentado en los últimos años, proyectando nuevas zonas para uso habitacional en los extremos de la ciudad afectando directamente a los ecosistemas ubicados en dicha zona. La deforestación ha ido en incremento, lo cual afecta directamente a los porcentajes de precipitación en la zona debido a que se produce una baja emisión de carbono a la atmósfera.

Objetivo

El objetivo general es conocer el comportamiento de la precipitación en el municipio de Xalapa y alrededores, así de cómo la relación de los fenómenos meteorológicos. Mediante el uso de estaciones hidrométricas conocer el cantidad de lluvia que se presenta en diferentes zonas del municipio y a partir de métodos probabilísticos podremos identificar cual será el comportamiento de la precipitación en un periodo de retorno de cinco años.

Antecedentes

La ciudad de Xalapa cuenta con una superficie de 124.4 km² y con aproximadamente 3, 681.7 hab/km², cuenta con un clima semicálido húmedo con una considerable cantidad de lluvias en verano (54%), semicálido húmedo con lluvias en todo el año (44%), cálido subhúmedo con lluvias en verano (1%) y templado húmedo con lluvias todo el año (1%), pero con variaciones importantes en los últimos años debido al cambio climático, que ha cambiado considerablemente el porcentaje de lluvias en la región.

La variabilidad meteorológica dentro del estado de Veracruz ha sido de gran impacto en los últimos años, sobre todo para la zona montañosa como lo es la ciudad de Xalapa. El clima en la ciudad de Xalapa ha ido variando al pasar de los años, esto se debe al crecimiento demográfico en la ciudad lo cual involucra la deforestación para el crecimiento de la mancha urbana en la región, sin embargo, estas variaciones de clima han ido de constantes a extremas.

Durante el mes de Mayo cuatro frentes fríos (F.F. No.42, No. 43 y No.44) se presentaron en la región, presentando masas de aire frío y nortes acompañados por la presencia de leves precipitaciones en el mes. Ondas tropicales y Canales de presión se presentaron cerca del país sin afectar al estado.

En el mes de Junio se presentó la onda tropical No. 2 sobre Coatzacoalcos y Veracruz, provocando nubosidades y precipitaciones que afectaron a la ciudad de Xalapa. La presencia del huracán Barry provocó rachas de vientos fuertes así como importantes lluvias a lo largo de la región. La entrada de canales de baja presión y una onda tropical a finales de mes, provocaron lluvias importantes en la región, además de cielos nublados a medio nublados.

La onda tropical No. 7 se presentó durante el mes de Julio, acompañado de canales de baja presión que influyeron principalmente mediante lluvias y rachas de viento afectando principalmente a la zona montañosa de la región, dejando cielos nublados y temperaturas frescas. A finales del mes de Agosto se presentó el huracán "Fernand" al noroeste del estado, provocando lluvias, nublado y tormentas en gran parte de la región. Además se presentaron canales de baja presión y la presencia de la onda tropical No. 11 a lo largo del mes, sin provocar grandes problemas, ya que, sólo tuvieron como consecuencia presencia de precipitaciones mínimas así como nubosidad medianamente significativas.

Durante el mes de Septiembre un canal de baja presión se presentó sobre el Golfo de México, provocando cielos nublados y lluvias intensas acompañado de la onda tropical No. 19 que se localizó sobre el sur del estado teniendo las mismas consecuencias que el canal de baja presión. En el mes de Octubre la tormenta tropical "Karen" se ubicó en el Golfo de México, provocando fuertes rachas de viento y una precipitación media en la región. Se presentaron cuatro frentes fríos (F.F. No.4, No. 6, No. 7 y No.8) sobre la región, provocando pequeñas cantidades de lluvia pero nubosidad significativa así como rachas de viento medias. Al final del mes se presentaron dos canales de baja presión sobre el golfo de México teniendo como consecuencia cielos nublados y lluvias en la región.

El mes de Noviembre vino acompañado del frente frío No.10 localizado al norte de Veracruz provocando cielos nublados y presencia de lluvias. Dos frentes fríos más hicieron aparición

durante el mes, el frente frío No. 12 y No. 14, provocando nublados importantes y lluvias en la zona norte del estado.

Metodología

La precipitación en la zona de Xalapa es constante, ya que este tipo de clima es típico en la ciudad. Con los datos obtenidos a partir de las diferentes estaciones hidrométricas, se ha podido analizar mediante los métodos probabilísticos de Gumbel, Nash y Lebediev, la influencia de la precipitación en Xalapa, junto con un factor importante que es la altitud variada de la ciudad. Mediante este método probabilístico es posible conocer el Caudal máximo (Q_{max}) en un tiempo determinado.

Para la obtención de los datos se colocaron estaciones en la ciudad de Xalapa y alrededores, como lo fueron los municipios de Coatepec, Banderillas, Teocelo, entre otros, los cuales presentan un clima similar a lo largo del año con mínimas variantes. Los datos fueron analizados desde el mes de Mayo hasta el mes de Junio.

Los Métodos para el análisis probabilístico fueron empleados para obtener un promedio de lluvia por mes a partir de los datos de precipitación, de los cuales se tomó un periodo de retorno de 5 años, los métodos son aplicados para obtener valores aproximados del comportamiento de un fenómeno hidrométrico en un tiempo determinado.

Método de Gumbel

Este método es en su totalidad estadístico, ya que depende meramente de los datos obtenidos en las estaciones hidrométricas, utilizado principalmente para a obtener valores aleatorios con respecto a situaciones hidrológicas habituales o extremas en un tiempo determinado con un tiempo de retorno.

Método de Nash

Una vez obtenido la Q_{max} es posible calcular el caudal máximo el cual está ligado a un tiempo de retorno específico, la Q_{max} sumado con el intervalo de confianza, el cual es calculado con la fórmula:

$$Q_d = Q_{max} + \Delta Q$$

Método de Lebediev

Está basado en las variables anuales aleatorias Pearson tipo III, donde simplemente el caudal de diseño se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$Q_d = Q_{max} + \Delta Q$$

Datos de precipitación obtenidos del mes Mayo

Los datos de precipitación obtenidos a partir de las estaciones del mes de mayo al mes de noviembre son los siguientes:

Mayo		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	201.00
Xalapa ©	1423	68.60
Briones	1398	130.00
Xalapa CFE	1369	54.50
FAC	1360	71.40
INBIOTECA	1358	23.80
Xalapa (OB)	1350	61.80
Las Ánimas	1272	31.70
Teocelo	1269	177.50
Coatepec	1198	129.10
Promedio		94.94

Tabla 1. Comparación de la precipitación en el mes de mayo, en orden con respecto a su altitud.

Descuerdo con los datos obtenidos podemos observar que la zona de Banderilla fue la que obtuvo un mayor índice de precipitación presente en este mes, que al mismo tiempo presenta la mayor altura de las zona, sin embargo, es la penúltima en cuanto altura se refiere.

A partir de los datos aplicados a los métodos probabilísticos antes mencionados, comenzando con el método de Gumbel para posteriormente obtener los métodos de Nash y Lebediev.

Datos		
Estación	X	m
Xalapa (OB)	61.80	1
Xalapa ©	68.60	2
Xalapa CFE	54.50	3
Las Ánimas	31.70	4
FAC	71.40	5
Coatepec	129.10	6
Teoelo	177.50	7
Briones	130.00	8
Banderilla	201.00	9
Fundación	51.47	10
Banderilla Pa	137.40	11
INBIOTECA	23.80	12

Gumbel			Nash					Lebediev			
201.00	40,401.00	11,266.58	13.000	1.083	(1.459)	(293.24)	2.128	40,401.00	2.119	1.119	1.252
177.50	31,506.25	6,830.06	6.500	1.182	(1.139)	(202.24)	1.298	31,506.25	1.871	0.871	0.759
137.40	18,878.76	1,810.01	4.333	1.300	(0.943)	(129.61)	0.890	18,878.76	1.449	0.449	0.201
130.00	16,900.00	1,235.11	3.250	1.444	(0.797)	(103.57)	0.635	16,900.00	1.371	0.371	0.137
129.10	16,666.81	1,172.66	2.600	1.625	(0.676)	(87.27)	0.457	16,666.81	1.361	0.361	0.130
71.40	5,097.96	550.18	2.167	1.857	(0.570)	(40.73)	0.325	5,097.96	0.753	(0.247)	0.061
68.60	4,705.96	689.37	1.857	2.167	(0.474)	(32.51)	0.225	4,705.96	0.723	(0.277)	0.077
61.80	3,819.24	1,092.69	1.625	2.600	(0.382)	(23.61)	0.146	3,819.24	0.652	(0.348)	0.121
54.50	2,970.25	1,628.59	1.444	3.250	(0.291)	(15.85)	0.085	2,970.25	0.575	(0.425)	0.181
51.47	2,649.16	1,882.33	1.300	4.333	(0.196)	(10.09)	0.038	2,649.16	0.543	(0.457)	0.209
31.70	1,004.89	3,988.66	1.182	6.500	(0.090)	(2.85)	0.008	1,004.89	0.334	(0.666)	0.443
23.80	566.44	5,048.93	1.083	13.000	0.047	1.12	0.002	566.44	0.251	(0.749)	0.561
suma											
1138.27	145166.72	37195.17	40.34	40.34	-6.97	-940.45	6.24	145166.72	12.00	0.00	4.13

Tabla 2 y 3. A partir de los resultados obtenidos del método de Gumbel, se aplican los métodos de Nash y Lebediev.

VALORES DE GUMBEL				
No.	Yn	on	prueba Y	prueba o
12	0.5035	0.9833	0	0.9833

Tabla 4. Valores de Gamma y Delta a partir de los coeficientes de Gumbel.

x	(0.581)	Cv	0.587
y	94.856	Cs	-
b	(127.615)	Se toma el valor de:	
a	20.726	Cs=	3Cv
Yp	150.081	Cs	1.761
X	(1.014)	p%	20.000
Rxy	(0.979)	k	0.807
Sxx	26.259	Er	0.782
Sxy	(3,351.039)	Q	139.763
Syy	446,342.058	Dq	31.530
	281.782	Xd	171.293
	44.450	Xmin	108.232
Yinf-sup	36.124		
	326.231	TR	5
Xd	Xd	Xd	171.293
153.78	186.21	Promedio	170.43

Tabla 5. Análisis de los coeficientes para obtener la Hp promedio en un tiempo de retorno de cinco años.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Junio

Junio		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Xalapa ©	1423	481.10
Xalapa CFE	1369	196.80
FAC	1360	273.21
INBIOTECA	1358	220.40
Xalapa (OB)	1350	544.30
Las Ánimas	1272	95.00
El Castillo	1139	250.80
Estropajo	1580	320.80
	Promedio	297.80

Tabla 6. Comparación de la precipitación en el mes de mayo, en orden con respecto a su altitud.

La estación ubicada en Xalapa Centro tuvo un aumento en su precipitación con respecto al mes de mayo, de 68.60 mm a 481.10 mm colocándose como la segunda mayor cantidad de precipitación en este mes.

Después de aplicar los métodos probabilísticos con un tiempo de retorno de 5 años, se obtuvo el siguiente resultado:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	552.87

Tabla 7. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de junio.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Julio

Durante el mes de julio se presentó una baja en la precipitación en la zona, siendo la estación ubicada en Teocelo la que presenta una mayor índice de precipitación y un incremento considerable en comparación con el mes de mayo.

Julio		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	117.00
Xalapa ©	1423	133.25
Briones	1398	164.40
Xalapa CFE	1369	149.10
FAC	1360	142.00
Xalapa (OB)	1350	157.20
Teocelo	1269	425.00
Coatepec	1198	235.50
El Castillo	1139	122.20
Estropajo	1580	115.20
	Promedio	176.09

Tabla 8. Comparación de la precipitación en el mes de julio, en orden con respecto a su altitud.

Se presentaron bajas considerables en la precipitación en las estaciones a comparación con el mes de junio pero se han mantenido constates con valores no muy variados con respecto al mes de mayo.

Aplicando los métodos probabilísticos obtenemos el siguiente promedio:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	297.64

Tabla 9. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de julio.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Agosto

Agosto		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	404.00
Xalapa ©	1423	133.25
Briones	1398	326.50
Xalapa CFE	1369	245.50
FAC	1360	201.20
Xalapa (OB)	1350	289.30
Teocelo	1269	442.00
Coatepec	1198	405.40
El Castillo	1139	205.80
Estropajo	1580	235.60
D. Abue	1403	1085.00
Promedio		361.23

Tabla 10. Comparación de la precipitación en el mes de agosto, en orden con respecto a su altitud.

En el mes de agosto el incremento de la precipitación se mantuvo contante con algunos incrementos mínimos en lagunas de las estaciones, aunque hubo aumentos considerables, como en la estación de Banderilla que en el este mes presentó una precipitación de 404 mm.

Después de analizar los resultados por los métodos probabilísticos obtenemos un promedio de:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	708.08

Tabla 11. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de agosto.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Septiembre

En el mes de septiembre fue donde mayor número de estaciones se presentaron, al igual que es donde mayor número de variantes se presentaron, con resultados des de 597.20 mm hasta sólo un milímetro.

Septiembre		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	587.50
Xalapa ©	1423	385.80
Briones	1398	562.60
Xalapa CFE	1369	409.90
FAC	1360	349.40
Xalapa (OB)	1350	478.10
Las Ánimas	1272	17.00
Teocelo	1269	597.20
Coatepec	1198	586.50
El Castillo	1139	213.20
Estropajo	1580	385.00
D. Abue	1403	1.00
UNCADER	1229	367.00
C. Paulo	1442	1.00
Promedio		352.94

Tabla 12. Comparación de la precipitación en el mes de septiembre, con respecto a su altitud.

La estación ubicada en el municipio de Teocelo vuelve a presentar el mayor índice de precipitación como sucedió en el mes de julio, esta vez alcanzando una valor de 597.20 mm.

Una vez aplicado los métodos probabilísticos obtenemos un valor promedio de:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	630.91

Tabla 13. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de septiembre.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Octubre

Octubre		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	134.00
Xalapa ©	1423	139.90
Briones	1398	142.50
Xalapa CFE	1369	162.10
Xalapa (OB)	1350	109.50
Teocelo	1269	71.50
Coatepec	1198	136.40
El Castillo	1139	53.60
Estropajo	1580	79.40
UNCADER	1229	162.84
Promedio		119.17

Tabla 14. Comparación de la precipitación en el mes de octubre, en orden con respecto a su altitud.

En el mes de octubre se muestra una importante baja en cuanto a las unidades de precipitación, manteniendo la mayor cantidad en cuanto a precipitación 162.84 mm en la estación situada en el UNCADER.

Después de aplicar los tres métodos probabilísticos obtenemos el siguiente resultado:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	173.32

Tabla 15. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de octubre.

Datos de precipitación obtenidos del mes de Noviembre

Los datos obtenidos en este mes son constantes en cuanto al mes de Octubre, con mínimos incremento y disminuciones en sus cantidades en cuanto a precipitación se refiere, alcanzando un máximo de 152.50 mm en la estación de Banderilla y una mínima de 9 en el Castillo.

Noviembre		
Estación	Altitudes (msnm)	Precipitación
Banderilla	1527	152.50
Xalapa ©	1423	112.90
Briones	1398	146.40
Xalapa CFE	1369	117.40
Xalapa (OB)	1350	99.40
Teocelo	1269	64.00
Coatepec	1198	130.50
El Castillo	1139	9.00
Estropajo	1580	105.00
UNCADER	1229	150.77
Promedio		108.79

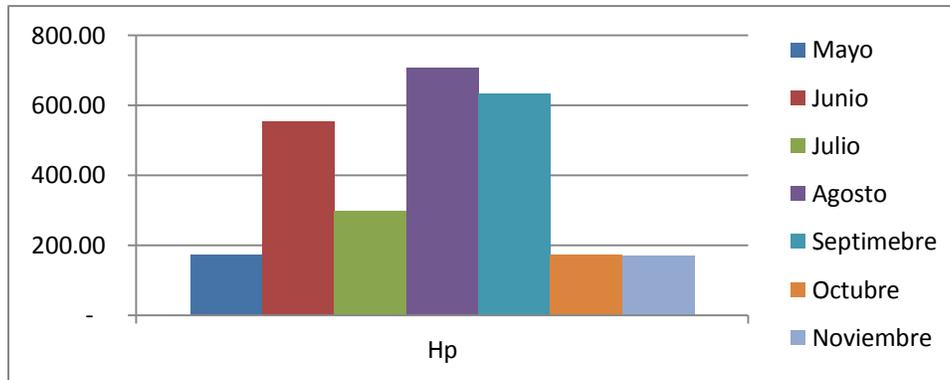
Tabla 16. Comparación de la precipitación en el mes de noviembre, en orden con respecto a su altitud.

Analizando los datos con los métodos probabilísticos obtenemos una promedio de:

Tiempo de Retorno (años)	Hp
5	169.52

Tabla 17. Resultado a partir de los resultados de precipitación aplicados a los métodos probabilísticos para el mes de octubre.

Después de aplicar los métodos probabilísticos obtenemos la Hp en un tiempo de retorno de cinco años donde podremos saber el comportamiento de la lluvia, por lo cual al momento de ser comparado obtenemos:



Gráfica 18. Hp obtenida por mes a partir de los métodos probabilísticos (Gumbel, Nash y Lebediev) en un tiempo de retorno de cinco años.

Resultados

Durante los meses de agosto y septiembre se muestra la temporada donde la precipitación es máxima, ya que se muestra un aumento considerable en comparación con los meses de mayo, junio y julio. Los meses donde desciende drásticamente la temporada pico, es a partir del mes de octubre y noviembre donde los valores bajan considerablemente y se mantiene constantes durante esos dos meses.

Los resultados de la aplicación de los métodos probabilísticos, muestran que de igual manera, en un periodo de retorno de cinco años, el mes de Agosto presentará una alza en cuanto a cantidad de lluvia se refiere, mostrándose por encima del resto de los meses analizados, mientras que en los meses de Mayo, Octubre y Noviembre se mantiene por debajo de los 200 mm. La latitud es un factor que determina la presencia de lluvias en una región, sin embargo, en zonas donde la topografía es accidentada, se muestran diferentes comportamientos meteorológicos en pequeñas zonas variando la presencia de vientos o de lluvia.

Conclusiones

Los fenómenos meteorológicos presentados en el país tuvieron un fuerte impacto en la capital del estado, provocando grandes cambios en la precipitación a lo largo de los meses de estudio. Estas alteraciones en la cantidad de la precipitación presentada se deben a las intensificaciones de los fenómenos, ya que en tiempos remotos, el cambio climático ha modificado el comportamiento con consecuencias graves a las poblaciones que sufren estos estragos. El monitoreo y la comparación con temporadas anteriores es importante para conocer cómo se han ido intensificando los fenómenos meteorológicos y las consecuencias que traen hacia la comunidad de Xalapa y así tomar medidas preventivas y de acción contra las fuertes lluvias y su acumulación generada en la zona.

Bibliografía

Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. Colombia: McGraw-Hill.

Ponce, V. M. (1989). Modelos hidrológicos. E.U.A.: Prentice Hall.