

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el Estado de Tabasco

Eduardo Juan Diego

**Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional
Autónoma de México, Ciudad de México, 04510,
Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, México**

Ramón Domínguez Mora

**Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional
Autónoma de México, Ciudad de México, 04510,
Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, México**

Eliseo Carrizosa Elizondo

**Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional
Autónoma de México, Ciudad de México, 04510,
Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, México**

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis regional de las lluvias diarias máximas anuales registradas en 32 estaciones del Estado de Tabasco. Los resultados permiten estimar lluvias de diseño para cualquier punto de la zona de estudio. Para el estudio se optó por agrupar en una región homogénea de acuerdo con el relieve del terreno y el comportamiento de las lluvias registradas por cada estación climatológica, adicionalmente se estimó el cociente de las precipitaciones diarias máximas anuales de cada estación entre su promedio respectivo. La técnica de regionalización que se empleó fue Estaciones-año, ya que no requiere de muestras de igual longitud y obteniendo como resultado final la precipitación máxima anual en mm que resulta del producto de los factores extrapolados para un día por la media correspondiente de cada estación.

Palabras Claves: Regionalización, región homogénea, factores de diseño, lluvia de diseño, periodo de retorno “Tr”.

ABSTRACT

This article presents a regional analysis of annual maximum daily rainfall recorded at 32 stations in the State of Tabasco. The results allow to estimate design rainfall for any point in the study area. For the study I group in a homogeneous region in accordance with the relief of the terrain and the behaviour of registered rainfall for each weather station, also estimated the ratio of annual maximum daily rainfall every station between their respective average. The technique of regionalization that is employment was Estaciones-año, since it does not require samples of equal length and with final result of annual maximum rainfall in mm resulting product factors extrapolated for a day by the corresponding average for each season.

1. INTRODUCCIÓN

En un país en desarrollo como México el cual está expuesto a diferentes eventos hidrometeorológicos, es necesario pensar en obras que sirvan para poder mitigar los efectos adversos causados por estos. Es a partir de esto que surge el concepto de regionalización el cual tiene como objetivo proporcionar todos los registros hidrológicos necesarios para poder construir una muestra apropiada.

La existencia de eventos hidrometeorológicos ocasiona inundaciones, pérdidas humanas, perdidas económicas fuertes, estas consecuencias se originan por diseños de obras civiles deficientes y mal planificadas. El principal problema que se tiene cuando se requiere hacer una obra hidráulica o la revisión de esta es por la escasa información climatológica, al tener esta principal necesidad se opta por regionalizar ya que agrupa información de varias estaciones climatológicas o hidrométricas en una sola muestra, obteniendo como principal resultado ecuaciones y mapas de lluvias más confiables.

Con este enfoque de regionalización se busca incorporar los datos de varias estaciones ya sean hidrométricas o climatológicas para así poder contar con mayor información en un área donde esta sea escasa permitiendo estimar avenidas y gastos.

En este trabajo se realizó un proceso de regionalización para el estado de Tabasco con el objetivo de obtener eventos de diseño. La superficie del estado de Tabasco es de 25 000 km², el estado se localiza al sureste de México, se caracteriza por la gran complejidad hidrológica que presenta el Estado. Su territorio comprende desde la llanura costera del Golfo de México hasta las sierras del norte de Chiapas, figura 1. En esta región del país se encuentran dos de los ríos más importantes a nivel nacional, el Mezcalapa-Grijalva y el Usumacinta, así como parte de las regiones hidrológicas Coatzacoalcos (RH-29) y Grijalva-Usumacinta (RH-30).

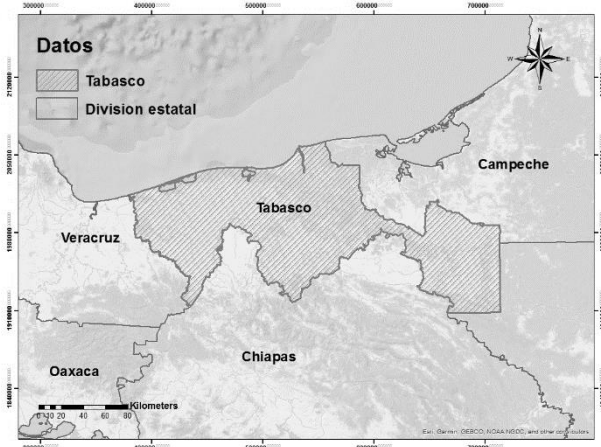
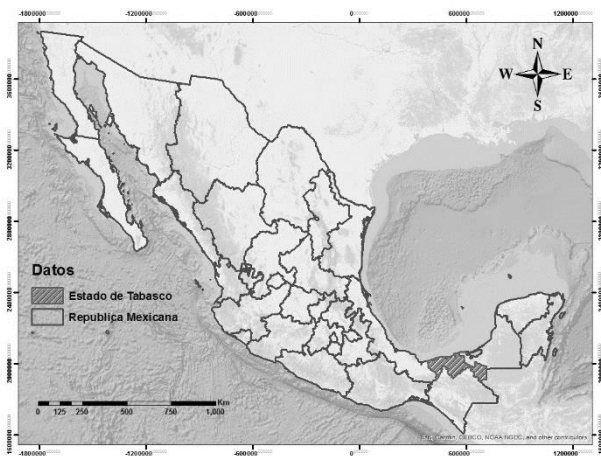


Figura 1 Ubicación del Estado de Tabasco, México.

2. METODOLOGÍA

El Estado de Tabasco cuenta con 84 estaciones que recaban los datos climatológicos distribuidos a lo largo del estado figura 2, de los cuales solo el 67% se encuentran operando, ver figura 3. Por tal razón se hace uso de técnicas de agrupamiento que permiten hacer agrupaciones de sitios que tienen un comportamiento hidrológico estadísticamente similar, con lo que se puede construir registros amplios para poder obtener una función de distribución de probabilidades de toda la zona de estudio.

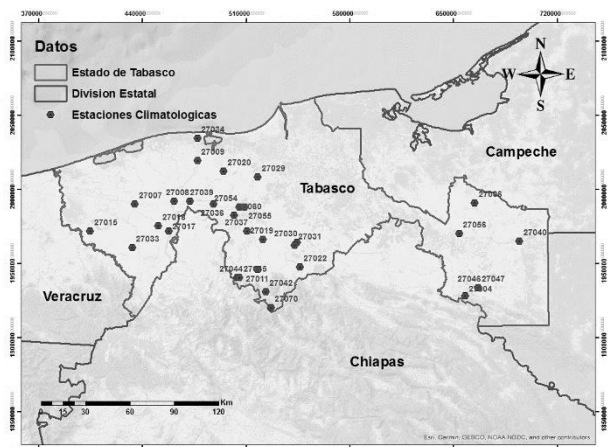


Figura 2 Ubicación de las estaciones climatológicas.

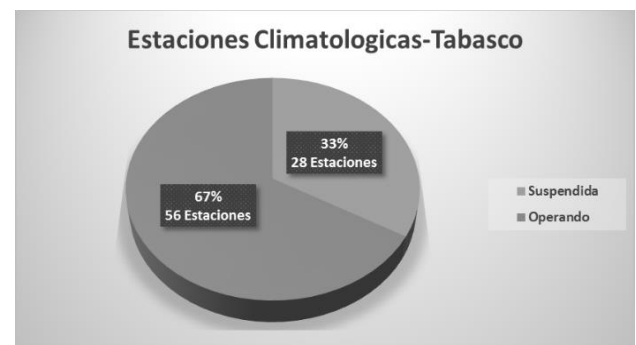


Figura 3 Porcentaje de Estaciones climatológicas en el Estado de Tabasco

La regionalización consistió en analizar 32 estaciones climatológicas con más de 20 años de registro, con el objetivo de tener estimaciones más confiables y lograr que la región sea considerada como homogénea, a cada estación climatológica se obtienen sus parámetros estadísticos como el coeficiente de variación, desviación estándar, media, máximos y mínimos, ver figura 4, además de que se analizó la topografía para poder agrupar dichas estaciones y determinar la homogeneidad de la región.

Año/Est.	27004	27006	27007	27008	27009	27011
2010	125.8	280	135	90	156.5	205
2011	114.8	120	227	290	182.5	90
2012	129	110	190	180	90	126
2013	283	130	203	175	161.4	202
2014	115		190	155	141.3	
Media	129.43	103.88	163.78	149.78	144.32	163.69
Desv.Est	40.90	41.90	60.95	61.73	45.57	55.19
Coef.Var.	0.32	0.40	0.37	0.41	0.32	0.34
Máx	283.00	280.00	360.00	327.60	274.00	318.00
Mín	74.50	66.00	86.70	72.50	74.00	51.70
Conteo	62	35	39	49	39	55

Figura 4 Estadísticos de estaciones climatológicas

Al cumplir con la homogeneidad de la región se puede hacer uso de la técnica de regionalización Estaciones-año. El método de las Estaciones-Año, considera el análisis de una muestra formada por todos los registros estandarizados de las Series Máximas Anuales (SMA) que conforman la región homogénea. En este método los datos máximos anuales como las crecidas o lluvias máximas, medidos en distintos sitios son conjugados y tratados como un solo registro.

Para lograr la homogeneidad es recomendable realizar una modificación en las variables originales, la cual consiste es estandarizar los datos, es decir, dividirlos entre su media aritmética, figura 5. Los valores estandarizados generalmente presentan homogeneidad regional, mostrando un coeficiente de variación aproximadamente constante (José Antonio Luna Vera, 2013).

Año	9016	9030	9038	9039	9046	9049
1977	50.5	57.4	40.8	44.3	46.2	77.9
1978	48.4	64.5	49	59.5	93.4	53.2
1979	60	59.2	37	30.9	101.5	36.5
1980	30	36.2	70.8	43	80.1	75
1981	72	71.2	51	42.5	40	12
1982	65.5	68.8	34.2	27.2	51.2	37
1983	45.7	42.4	29.8	38.8	44.2	31.3
1984	66.7	54.8	80.5	73.4	73.5	68.1
1985	113.5	142	49	46.5	52.1	36
1986	61.5	46.8	42.6	49	45.5	
1987	77	60	34	87.7	48.5	
2001						
Media	54.07	59.21	44.48	44.32	60.11	50.82
1968	0.8692	0.8461	1.1804	1.2298		
1977	0.9339	0.9694	0.9173	0.9996	0.7686	1.5328
1978	0.8951	1.0893	1.1017	1.3426	1.5538	1.0468
1979	1.1096	0.9998	0.8319	0.6973	1.6886	0.7182
1980		$\frac{=AT\$8}{\$AT\$72}$		0.9703	1.3326	1.4758
1981	1.3315	1.2024	1.1467	0.9590	0.6654	0.2361
1982	1.2113	1.1619	0.7689	0.6138	0.8518	0.7280

Figura 5 Valores estandarizados

El registro estandarizado se ordena de mayor a menor, con la finalidad de ajustar el registro a funciones de distribución y se escojan aquellas con menor error estándar de ajuste, los métodos para calcular los parámetros de las funciones de probabilidad son: por momentos y por máxima verosimilitud. En este estudio se determinó que las funciones Gumbel y Doble Gumbel son las de menor error estándar al ajustar el registro. La función de distribución de probabilidad Gumbel se representa por la siguiente ecuación:

$$F(X) = e^{-e^{\alpha(x-\beta)}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$F(x)$ es la probabilidad de no excedencia, α es un parámetro de escala, es parámetro de forma, y x es la variable aleatoria.

En la República Mexicana, existen diversos lugares donde los gastos máximos anuales pertenecen a dos poblaciones diferentes, debido a los ciclones que se presentan en ciertas zonas y por las precipitaciones relacionadas con los fenómenos meteorológicos

dominantes de la región. Esta variación también se ven reflejadas en zonas, donde se tiene datos de gastos producidos por las precipitaciones y otros por gastos provenientes de deshielos. En estas situaciones se dice que llegamos a tener dos poblaciones para una misma zona en estudio.

La función de distribución doble Gumbel para dos poblaciones considera la existencia de dos grupos con características diferentes, los originados por eventos dominantes de la región y otro por eventos extraordinarios. La función de distribución de probabilidad doble Gumbel se representa por la siguiente ecuación:

$$F(X) = p \left(e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right) + (1-p) \left(e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right) \quad \text{Ec.(2)}$$

Donde:

$F(x)$ es la probabilidad de no excedencia, p es la probabilidad de tener eventos no ciclónicos, población 1, x es la variable aleatoria a la cual se le estima la probabilidad de no excedencia, α_1 y α_2 son parámetros de escala de las poblaciones 1 y 2, β_1 y β_2 son parámetros de ubicación de las poblaciones 1 y 2.

La figura 6, muestra la región del Estado de Tabasco y la topografía de la zona de estudio.

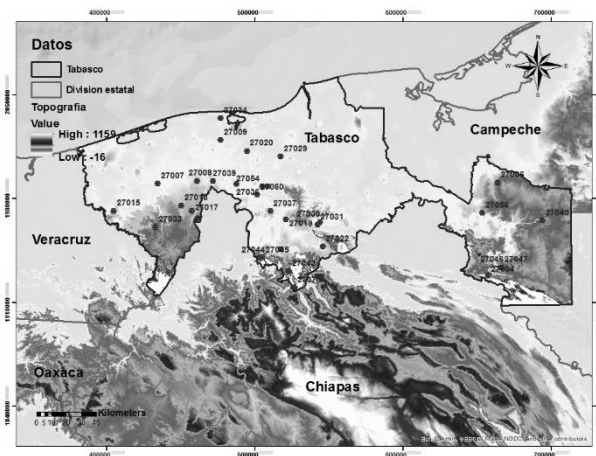


Figura 6 Región homogénea y topografía del Estado de Tabasco.

3. APLICACIÓN Y RESULTADOS

Para un estudio de regionalización se necesita el análisis de las estaciones climatológicas considerando 15 años de registros como mínimo en caso de no existir los suficientes datos de máximos anuales para un día. Para el estudio de Tabasco se realizó el análisis para 20 años de registro.

A las 32 estaciones climatológicas que se consideran como factibles para el estudio, se estima sus estadísticos antes mencionados. La figura 7 muestra una agrupación de una región homogénea, considerando el coeficiente de variación y los máximos históricos respecto a las estaciones climatológicas antes mencionadas, en la cual se observa que el comportamiento es similar.



Figura 7 Variación del coeficiente de variación y máximos

Para hacer uso de la técnica Estaciones-año, la muestra de precipitación máxima anual en 24 horas de cada estación se normaliza, dividiendo los registros entre su media, con esto se obtienen muestras muy amplias y confiables debido a que son parte de una región homogénea. El comportamiento de estos valores de acuerdo con el ajuste de la pendiente se analiza si hay eventos ordinarios o extraordinarios y así determinar que función de distribución se ajusta al análisis estimado, para el estado de Tabasco la función que mejor se ajustó es Gumbel, como se muestra en la figura 8.

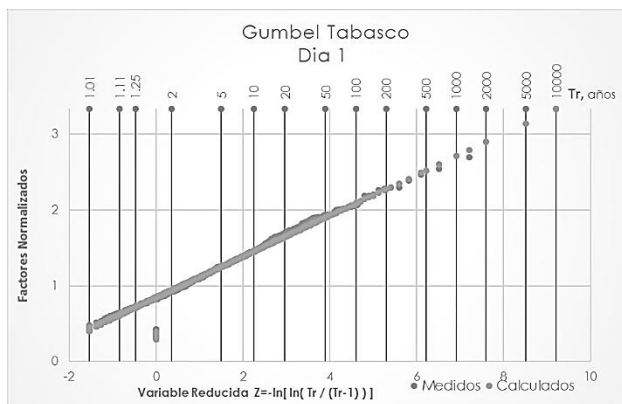


Figura 8 Gráfica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para un día.

En la figura 9 se muestran los factores de diseño normalizados extrapolados para diferentes periodos de retorno para diferentes duraciones (en días “1, 3, 5, 10 y 15”), y en la figura 10 se

muestran un resumen, de los eventos de diseño para las estaciones analizadas en el estado de Tabasco, los valores obtenidos son el resultado del producto de los factores extrapolados para un día por la media correspondiente de cada estación y como resultado del producto es igual al valor de precipitación máxima anual en mm.

Con esta metodología se puede obtener de manera fácil los factores o eventos de diseño obtenidos a partir de la extrapolación, ya que permite estimar el gasto máximo instantáneo, avenidas que se puede presentar para distintos periodos de retorno.

Extrapolados					
Tr/Años	Día 1	Día 3	Día 5	Día 10	Día 15
2	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95
5	1.25	1.26	1.25	1.23	1.22
10	1.45	1.47	1.45	1.42	1.4
20	1.65	1.67	1.65	1.6	1.58
50	1.9	1.94	1.9	1.84	1.8
100	2.09	2.13	2.09	2.01	1.97
200	2.27	2.33	2.27	2.19	2.14
500	2.52	2.59	2.52	2.42	2.36
1000	2.71	2.78	2.71	2.59	2.53
2000	2.9	2.98	2.89	2.77	2.69
5000	3.14	3.24	3.14	3	2.91
10000	3.33	3.43	3.33	3.17	3.08

Figura 9 Factores de diseño normalizados para diferentes días

Gumbel						
Tr años/Estaciones	27020	27022	27029	27030	27031	27033
2	0.94	129.83549	163.22160	117.43193	129.04077	129.24786
5	1.25	172.65357	217.05000	156.15948	171.59677	171.87216
10	1.45	200.27814	251.77800	181.14500	199.05226	199.37170
20	1.65	227.90271	286.50600	206.13052	226.50774	226.87125
50	1.9	262.43343	329.91600	237.36241	260.82710	261.24568
100	2.09	288.67677	362.90760	261.09866	286.90981	287.37025
200	2.27	313.53889	394.16280	283.58562	311.61974	312.11984
500	2.52	348.06960	437.57280	314.81752	345.93910	346.49427
1000	2.71	374.31294	470.56440	338.55376	372.02181	372.61884
2000	2.9	400.55629	503.55600	362.29000	398.10452	398.74341
5000	3.14	433.70577	545.22960	392.27262	431.05110	431.74286
10000	3.33	459.94911	578.22120	416.00886	457.13381	457.86743

Figura 10 Eventos de diseño normalizados para diferentes periodos de retorno “Tr”

En este trabajo el procedimiento propuesto permitió estimar valores de precipitación máxima anual en mm, en sitios con escasa información hidrométrica, relacionando características fisiográficas, hidrológicas del Estado de Tabasco, es importante resaltar que mientras más datos o información sean conocidos del lugar a analizar, más confiable serán los resultados.

La media toma un papel importante por ser un parámetro empleado para este estudio realizado, de tal manera que al relacionarlo con características físicas y geográficas medibles en cualquier cuenca (área, promedio media de las precipitaciones, máximas anuales) se hace posible estimar de forma simple, así mismo destacando que la agrupación se logró por el análisis empleado por los coeficientes de variación, máximos y por otro lado, al aplicar el producto por los factores o eventos de diseño previamente calculados y desarrollados.

Otro importante resultado al obtener estos parámetros y considerando el comportamiento de la media de las precipitaciones diarias máximas anuales de cada estación climatológica se puede realizar la estimación de lluvias de diseño en lugares específicos del estado de Tabasco donde no se encuentran estaciones para la estimación de lluvias a través de Mapas de Isoyetas mostrado en la Figura 11.

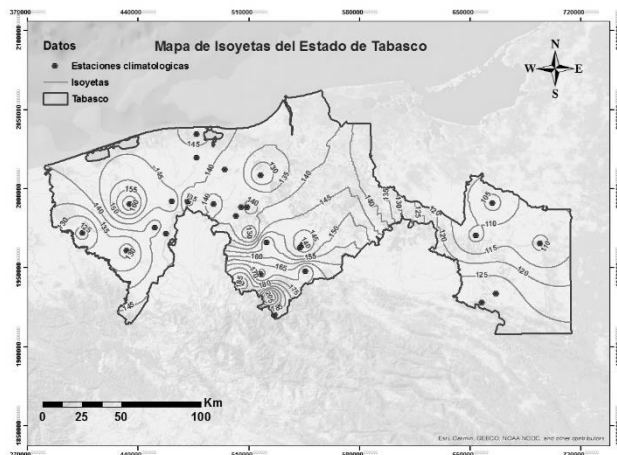


Figura 11 Mapa de Isoyetas (Precipitación media)

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se resaltó la importancia de un estudio de regionalización ya que la utilidad que brinda ayuda a resolver problemas de diseños y estimaciones para obras hidráulicas y así evitar problemas como inundaciones o mitigar eventos hidrometeorológicos.

La regionalización busca obtener un grupo de estaciones con parámetros similares que permitan estar en una misma región, considerando características fisiográficas de las cuencas, el método empleado para este trabajo es simple en su estructura, utilizando herramientas, para la obtención de valores estandarizados que aplican ciertas técnicas estadísticas hidrológicas.

El desarrollo de la metodología fue aplicado a 32 estaciones climatológicas, que cuentan con más de 20 años de registro, sin embargo, los resultados pueden usarse para estaciones con menos años de registro y aplicando el método de estación-año, brindó herramientas y datos para diseños confiables que requiere una obra hidráulica en su planeación y diseño.

Por supuesto, para los resultados obtenidos se recomienda actualizar el estudio periódicamente, con la finalidad de tener mayor precisión para el cálculo de los eventos de diseño, y así contar con valores de lluvia máximos anuales para duraciones de 1 a 60 días depurados para cada estación climatológica y las extrapolaciones correspondientes a diversos periodos de retorno y duración.

5. REFERENCIAS

[1] Domínguez, M.R., Arganis. J. M. L., Capella, V. A., Luna, V.J.A., Fuentes, M.O.A., Carrizosa, E. E., Peña, D. F., Carabela, H. J.C. & Reyes M.H. (2012). Análisis Estadístico. Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad. Hidrotecnia. Hidrología, (A.1.6.).

[2] Aguilar, Erick Gómez (2014). Nuevos modelos para el cálculo de los escurrimientos de la República Mexicana, (100 pág.).

[3] CICESE, CLICOM-mex [fecha de consulta: 4 Octubre 2016]. Disponible en: clicom-mex.cicese.mx.

[4] Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación (2016) “Hidrología Aplicada A Las Pequeñas Obras hidráulicas. (20 pág.)

[5] Eliseo Carrizosa Elizondo, “Regionalización De Gastos Máximos En La Cuenca De La Vertiente Del Pacífico Centro De La República Mexicana”. Tesis (Magister En Ingeniería). México, Df. Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad De Ingeniería, 1997.160 P.

[6] José Antonio Luna Vera, Ramón Domínguez Mora. (2012). Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias: aplicación en los Andes bolivianos. 2013, de Ingeniare. Revista chilena de ingeniería Sitio web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100010

[7] Judith Guadalupe Ramos Hernández. (2013). Plan Hídrico Integral de Tabasco. 2014, de CMIC Sitio web: <http://www.cmic.org.mx/com>

[8] Pedro Francisco Fuentes Barrientos. (2016). Moda. 2016, de ITESM campus Monterrey Sitio web: <http://dieumsnh.qfb.umich.mx/estadistica/moda.htm>.

[9] Galván Torres, Andrés Eduardo. (2012). Construcción de mapas de precipitaciones máximas diarias. Aplicación a algunos estados de la República Mexicana. México, D.F: Unam.

[10] Jiménez, E. M. (1996). Programa Ax. Área De Riesgos Hidrometeorológicos. Centro Nacional De Prevención De Desastres. México.

[11] Martín Jiménez Espinosa, Ramón Domínguez Mora, Martín Cruz Miguel. (1997). Manual de operación de los programas ax.exe y carachid.exe (Para hidrología). México: Cenapred.

[12] Agustín Cahuana Andia, Weimar Yugar Morales. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología civ-233. Bolivia: UMSS.

[13] Juan Carlos Vergara Schmalbach, Víctor Manuel Quesada Ibarguen. (2005). Estadística Básica con aplicaciones en Ms Excel. España: GMCG.

[14] Óscar Fuentes Mariles, Víctor Franco. (2013). Manual de Ingeniería de Ríos. México: II-UNAM.

[15] Escalante Sandoval, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez. Técnicas estadísticas en hidrología. 2ª. Ed., primera reimpresión, México, Unam, Facultad de Ingeniería, 2008, 208 p.

[16] Unam. (2016). Antecedentes Teóricos. 2016, de Facultad de Ingeniería Sitio web: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.5.2.100/551/4/A4.pdf>

[17] CONAGUA. (2015). Atlas del agua en México 2015. México, Df: Gobierno de la República.