



**Análisis técnico  
geoestadístico de los ríos  
Atoyac y Alseseca  
que atraviesan la ciudad de  
Puebla, México**

**Dr. Rogelio Ramos Aguilar  
M.I. Patricia Máximo Romero  
Dr. Víctor Galindo López  
M.I. Máximo Ávila Cruz  
M.S. Gabriela Yáñez Pérez  
Dr. Rubén Márquez Máximo  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**M.C. Victoriano Covarrubias Salvatori  
Consejo de Ciencia y Tecnología  
del Estado de Puebla**

## Resumen

El análisis técnico se basa en los estudios geomorfológicos, hidrológicos y geoestadísticos para los ríos Atoyac y Alseseca que atraviesan la ciudad de Puebla, México. Estos dos ríos son de riesgo para la población de las colonias que se encuentran en las márgenes de los cauces ya que principalmente durante los meses de lluvia (mayo a noviembre) se presentan inundaciones en la zona.

El objetivo es contar con datos geoestadísticos para modelar y simular el comportamiento de los ríos que sirvan para crear cartografía de riesgos hidrológicos estadísticos.

En la investigación se utilizó software especializado en topografía y programas geoespaciales aplicados a la geodesia.

Se realizaron visitas de campo con el objetivo de identificar físicamente las zonas de riesgo, además se realizaron análisis de imágenes satelitales y datos geoestadísticos para obtener los resultados. El estudio se enfocó al cálculo de la aceleración gravitatoria, la pendiente por distancia-elevación, la altura-gravedad, la fuerza de un líquido y el gasto de los ríos mencionados.

Este análisis permitió concluir que se ponen en riesgo cerca de 500 mil personas que habitan en zonas cercanas al cauce de los ríos que cruzan la ciudad de Puebla, para el río Atoyac de 85.96001 km y para el río Alseseca de 31.49824 km, no lineales en ambos casos.

## Palabras clave

Geoestadístico, gasto, gravedad, fuerza, pendiente.

## Abstract

The technical analysis is based on geomorphological, hydrological and geostatistical studies for the Atoyac and Alseseca rivers that cross the city of Puebla, Mexico. These two rivers are of risk for the population of the colonies that are in the margins of the channels since mainly during the rainy months (May to November) there are floods in the area.

The objective is to have geostatistical data to model and simulate the behavior of rivers that serve to create statistical hydrological risk cartography.

The research used specialized software in topography and geospatial programs applied to geodesy.

Field visits were carried out with the aim of physically identifying the risk areas, in addition, satellite image analysis and geostatistical data were performed to obtain the results. The study focused on the calculation of the gravitational acceleration, the slope by distance-elevation, the height-gravity, the force of a liquid and the flow of the mentioned rivers.

This analysis allowed to conclude that about 500 thousand people who live in areas near the riverbed that cross the city of Puebla are put at risk, for the Atoyac river of 85.96001 km and for the Alseseca river of 31.49824 km, non-linear in both cases.

## Key words

Geostatistical, expense, gravity, force, slope.

## Introducción

El estudio realizado permite contar con

datos sobre modelos geoestadísticos de los ríos Atoyac y Alseseca para comprender su comportamiento dinámico durante la temporada de lluvias entre los meses de mayo a noviembre de cada año en la ciudad de Puebla. Estos dos ríos ponen en riesgo a la población de las colonias que se encuentran cerca de sus cauces y que han generado escenarios de desastre por inundación.

Los ríos Atoyac y Alseca constituyen un recurso vital, vulnerable y finito con valor económico, social y ambiental cuyo deterioro en las últimas décadas está asociado a una expansión demográfica sostenida y a un proceso irreversible de urbanización e industrialización en la zona (ver figura 1).

El río Atoyac se forma en la Sierra Nevada, en el estado de Puebla; penetra en el territorio del estado de Tlaxcala, de donde regresa al territorio poblano para regar el extenso valle de Puebla-Tlaxcala. En el sur del municipio de Puebla es embalsado en la presa Manuel Ávila Camacho, conocida también como presa de Valsequillo, el río sigue su curso hacia el suroeste, atravesando los valles de Atlixco y Matamoros; estos valles constituyen la zona más poblada del estado de Puebla, y concentran buena parte de la actividad agrícola e industrial del estado.

El río Alseseca se ubica en el municipio de Puebla, pertenece a las subcuencas Río Alseseca y Presa Manuel Ávila Camacho de la cuenca Alto Atoyac ubicadas en la región hidrológica no.18 Balsas, el cauce inicia en las faldas de la Malinche.

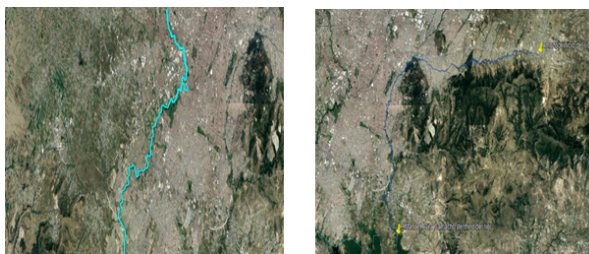


Figura 1. Cauce del río Atoyac (izquierda) y Alseseca (derecha) que cruzan diversas zonas de la ciudad de Puebla.

## Objetivo

El objetivo es poder contar con datos geoestadísticos para poder modelar y simular el comportamiento de los ríos y así contribuir a la creación de una cartografía de riesgos hidrológicos estadísticos.

## Materiales y métodos

Para corroborar la información de que las imágenes satelitales utilizadas (Landsat/Copernicus) proporcionaron al ser procesadas, se utilizaron los software de acceso libre MultiSpec y LEOWorks, además se realizaron visitas de campo a la zona de estudio. El estudio y análisis geoestadístico consistió en relacionar la altitud con respecto a la aceleración de la gravedad de los ríos a cada 500 metros, para obtener datos puntuales de la aceleración de la gravedad, la pendiente por distancia-elevación, la altura-gravedad, la fuerza de un líquido y el gasto de los ríos mencionados.

La metodología consistió en dividir la totalidad del cauce del río Atoyac y el río Alseseca en secciones similares que se analizaron de forma simultánea con herramientas satelitales y visitas campo.

Se utilizó el programa Google Earth de acceso libre para la obtención de una línea de puntos de ambos ríos, posteriormente se importaron los puntos con los

software AutoCAD, Civil3D y ArcGIS para su procesamiento, véase figura 2.

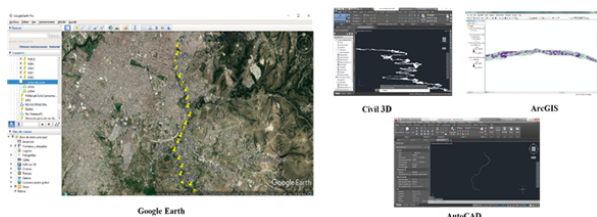


Figura 2. Obtención y procesamiento de datos con sistemas de información geográfica (SIG).

Para el análisis se utilizaron los programas Traninv del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) para la conversión de coordenadas UTM a geográficas, el Surfer para el análisis de variables estadísticas y un programa de hoja de cálculo. Se obtuvieron datos hidrológicos de la aplicación geoespacial SIATL y del modelo normal matemático del gasto para calcular el gasto.

### Cálculo de la pendiente

La pendiente es la inclinación que hay de la superficie con respecto al suelo. Para calcular la pendiente media del río Atoyac, se seccionó en cuatro partes, la primera sección inicia en el municipio de Santa Rita Tlahuapan hasta la autopista Arco Norte antes de la confluencia con el río Xochiac, la segunda sección con inicio Arco Norte atravesando Santa María Moyotzingo y Santa Ana Xalmimilulco hasta San Miguel Xoxtla, la tercera sección con inicio en San Miguel Xoxtla hasta la Colonia Santa Cruz Buenavista Sur y la última sección con inicio en la Colonia Santa Cruz Buenavista Sur hasta la Presa Manuel Ávila Camacho.

Para calcular la pendiente media del río Alseseca, se seccionó en tres partes,

la primera sección inicia en el municipio de Amozoc hasta Periférico Ecológico, la segunda sección con inicio en el Periférico Ecológico atravesando gran parte de la ciudad de Puebla hasta la colonia Guadalupe y la tercera sección con inicio en la colonia Guadalupe hasta la Presa Manuel Ávila Camacho.

En cada sección se realizaron lecturas a cada 500 metros a lo largo del cauce y con ayuda de las curvas de nivel existentes en la zona, las cuales fueron descargadas de INEGI, se obtuvieron las elevaciones para posteriormente utilizar la siguiente fórmula:

$$Pendiente = \frac{\text{Diferencia de alturas( elevación)}}{\text{Distancia horizontal}}$$

Como ejemplo del cálculo de la pendiente en las secciones estudiadas, la tabla 1 muestra los datos registrados y calculados en cada vértice de la segunda sección del Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, con pendiente promedio de -0.008.

### Cálculo aceleración de la gravedad

La aceleración de la gravedad local puede calcularse de acuerdo con la ecuación recomendada por la Organización Internacional de Metrología Legal en el boletín OIML 127 (Thulin,A.1992) con una exactitud del 0.01 %

Esta ecuación utiliza los coeficientes adoptados por la Asociación Internacional de geodesia (AIG) en el GRS80 (Geodetic Reference System of 1980), dichos coeficientes representan el tamaño, forma y campos gravitacionales de la Tierra, (MetAS, 2002).

$$gl = g_e * (1 + f' \text{sen}^2\varphi - f_4 \text{sen}^2 2\varphi) - (3.086 * 10^{-6} * h) \quad (1)$$

Tabla 1. Cálculo de la pendiente del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, con pendiente promedio de -0.008.

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación (m)	Distancia (m)	Pendiente
1	592186.151	2105037.300	2211	0	0
2	591767.754	2105209.734	2209	500	0
3	591381.130	2104937.991	2206	500	-0.01
4	590934.760	2104809.126	2198	500	-0.02
5	590450.558	2104818.625	2190	500	-0.02
6	589989.848	2104933.462	2191	500	0.00
7	589588.365	2105171.616	2189	500	0.00
8	589181.506	2105411.083	2184	500	-0.01
9	588706.407	2105529.173	2180	500	-0.01
10	588230.683	2105628.848	2178	500	0.00
11	587791.295	2105500.743	2171	500	-0.01
12	587348.985	2105309.182	2165	500	-0.01
13	587180.477	2104907.502	2159	500	-0.01
14	586793.384	2104717.461	2150	500	-0.02
15	586375.291	2104527.988	2152	500	0.00
16	586113.976	2104250.226	2147	500	-0.01
17	585882.467	2103817.599	2146	500	0.00
18	585690.120	2103388.717	2145	500	0.00
19	585537.061	2103095.734	2137	500	-0.02
20	585413.963	2102887.848	2132	500	-0.01
<b>PENDIENTE PROMEDIO</b>					<b>-0.008</b>

Donde:

$gl$  = Aceleración de la gravedad local ( $m/s^2$ ).

$g_e$  =  $9.7803185 m/s^2$ , aceleración de la gravedad en el ecuador ( $\varphi = 0$ ).

$f'$  =  $0.0053024$  (aplastamiento gravitacional).

$\varphi$  = Latitud, en grados, minutos, segundos ( $00^{\circ}00'00''$ ).

$h$  = Altitud sobre el nivel medio del mar (m).

$f_4$  =  $0.0000058$ .

La latitud geográfica de cada punto se obtiene con el programa Traninv, que convierte las coordenadas UTM a geográficas aplicando el Datum ITRF92 y zona 14, ver figura 3.

En la tabla 2 se muestran los resultados del cálculo de la gravedad local en los vértices de la segunda sección denominada

Coordenadas geográficas	Latitud	Longitud	Datum
Notación decimal	18.990119	-96.137382	ITRF92
	18.989422	-96.137141	NAD27
Notación sexagesimal	18°59'24.42677" N	96°08'14.57666" W	ITRF92
	18°59'21.82007" N	96°08'13.70739" W	NAD27
Proyecciones	X	Y	Datum
Cónica Conforme de Lambert	2905722.230791	762670.533821	ITRF92
	2905718.723483	762680.541455	NAD27
Universal Transversa de Mercator (Zona 14)	590718.486600	2099906.581920	ITRF92
	590628.630000	2099793.830000	NAD27
Diferencia en las proyecciones	X	Y	
Cónica Conforme de Lambert (ITRF92 NAD27)		33.502652	119.792116
Universal Transversa de Mercator (ITRF92 NAD27)		27.141320	202.751920

Figura 3. Ejemplo de transformación de coordenadas UTM a geográficas mediante el programa Traninv.

Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe del río Alseseca, La gravedad promedio es  $9.7791278275$ .

## Análisis geoestadístico

El análisis se realizó mediante la comparación entre la elevación de cada vértice y su gravedad, aplicando variables estadísticas para obtener los coeficientes de correlación,

Tabla 2. Cálculo de la gravedad local del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación (m)	Latitud	Decimal	Sen <sup>2</sup>	2sen <sup>2</sup>	Gravedad
1	592186.151	2105037.300	2211	19° 2'9.48"	19.03596667	0.106381407	0.044589060	9.7790091749
2	591767.754	2105209.734	2209	19° 2'15.14"	19.03753889	0.106398329	0.044603032	9.7790162236
3	591381.130	2104937.991	2206	19° 2'6.36"	19.0351	0.106372080	0.044581360	9.7790241216
4	590934.760	2104809.126	2198	19° 2'2.27"	19.03396389	0.106359853	0.044571267	9.7790481761
5	590450.558	2104818.625	2190	19° 2'2.64"	19.03406667	0.106360959	0.044572180	9.7790729214
6	589989.848	2104933.462	2191	19° 2'6.45"	19.035125	0.106372349	0.044581582	9.7790704255
7	589588.365	2105171.616	2189	19° 2'14.26"	19.03729444	0.106395698	0.044600859	9.7790778073
8	589181.506	2105411.083	2184	19° 2'22.13"	19.03948056	0.106419228	0.044620291	9.7790944565
9	588706.407	2105529.173	2180	19° 2'26.04"	19.04056667	0.106430920	0.044629947	9.7791074062
10	588230.683	2105628.848	2178	19° 2'29.34"	19.04148333	0.106440788	0.044638098	9.7791140895
11	587791.295	2105500.743	2171	19° 2'25.24"	19.04034444	0.106428528	0.044627971	9.7791350563
12	587348.985	2105309.182	2165	19° 2'19.09"	19.03863611	0.106410139	0.044612784	9.7791526195
13	587180.477	2104907.502	2159	19° 2'6.04"	19.03501111	0.106371123	0.044580570	9.7791691140
14	586793.384	2104717.461	2150	19° 1'59.92"	19.03331111	0.106352828	0.044565468	9.7791959401
15	586375.291	2104527.988	2152	19° 1'53.80"	19.03161111	0.106334534	0.044550370	9.7791888203
16	586113.976	2104250.226	2147	19° 1'44.83"	19.02911944	0.106307724	0.044528248	9.7792028612
17	585882.467	2103817.599	2146	19° 1'30.78"	19.02521667	0.106265737	0.044493612	9.7792037717
18	585690.120	2103388.717	2145	19° 1'16.85"	19.02134722	0.106224115	0.044459290	9.7792047012
19	585537.061	2103095.734	2137	19° 1'7.34"	19.01870556	0.106195704	0.044435870	9.7792279172
20	585413.963	2102887.848	2132	19° 0'51.82"	19.01439444	0.106149346	0.044397667	9.7792409452
<b>GRAVEDAD PROMEDIO</b>								9.7791278275

siendo necesario calcular la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la covarianza ( $S_{xy}$ ), cuyas ecuaciones se muestran a continuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2)$$

$$S_{xy} = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N} \quad (3)$$

El coeficiente de correlación ( $\rho$ ) se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$\rho = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (4)$$

El coeficiente de correlación se interpreta mediante desigualdades en el intervalo  $[-1, +1]$ . Donde Si  $r = 1$  la correlación positiva perfecta, si  $0 < r < 1$  la correlación es positiva, si  $r = 0$ , no existe relación lineal, si  $-1 < r < 0$ , la correlación es negativa y si  $r = -1$ , la correlación es negativa perfecta.

En la tabla 3 se muestran parte de los resultados obtenidos en cada vértice de la segunda sección denominada Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe del río Alseseca. Las elevaciones ( $m$ ) se obtuvieron de imágenes satelitales de Google Earth de libre acceso, las variables estadísticas con hojas de cálculo y el programa Surfer y la gravedad local ( $gl$ ) con la ecuación (2). El coeficiente de correlación promedio es  $-0.9442725767$ , es decir, las variables aumentan negativamente casi en la misma proporción.

En la tabla 4 se resumen los promedios de las variables analizadas en todas las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

También se calcularon los promedios generales de las variables analizadas en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca. Los resultados se muestran en la tabla 5.

La pendiente promedio en el río Atoyac es  $0.037\%$ , menor a la del río Alseseca. Lo mismo se observa con los resultados de la gravedad, en el río Alseseca  $9.779152218$  y en el Atoyac  $9.7791047927$ . El promedio de los coeficientes de correlación es  $-0.9442725767$ , valor aproximadamente igual a  $-1$ , lo que significa que la correlación es negativa, casi perfecta.

## Discusión

El análisis geoestadístico de las variables se realizó con el programa Surfer, los resultados se compararon con los obtenidos en las hojas de cálculo. En la tabla 6 se muestran parte de los resultados obtenidos con el software Surfer.

El variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida. En las figuras 4 y 5 se muestran los variogramas de la altura con respecto a la gravedad local calculada de ambos ríos.

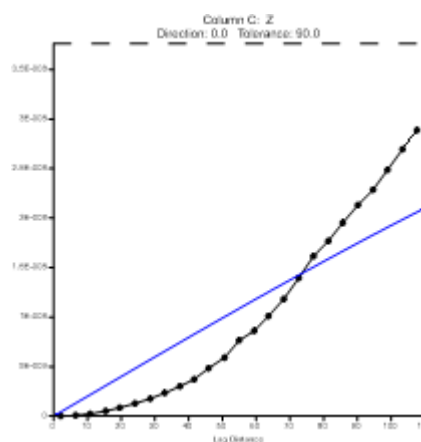


Figura 4. Variograma del Río Atoyac.

Tabla 3. Cálculo geoestadístico del Río Aleseseca, segunda sección periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.

Vértice	Elevación (m)	$X_1 - \bar{X}$	$(X_1 - \bar{X})^2$	Gravedad	$Y_1 - \bar{Y}$	$(Y_1 - \bar{Y})^2$	Covarianza
1	2211	36.5	1332.2500	9.7790091749	-0.0001186526	0.0000000140784416512	-0.0043308202
2	2209	34.5	1190.2500	9.7790162236	-0.0001116039	0.0000000124554201309	-0.0038503329
3	2206	31.5	992.2500	9.7790241216	-0.0001037059	0.0000000107549101252	-0.0032667353
4	2198	23.5	552.2500	9.7790481761	-0.0000796514	0.0000000063443418232	-0.0018718074
5	2190	15.5	240.2500	9.7790729214	-0.0000549061	0.0000000030146764516	-0.0008510441
6	2191	16.5	272.2500	9.7790704255	-0.0000574019	0.0000000032949829988	-0.0009471321
7	2189	14.5	210.2500	9.7790778073	-0.0000500202	0.0000000025020177014	-0.0007252925
8	2184	9.5	90.2500	9.7790944565	-0.0000333710	0.000000001136230634	-0.0003170244
9	2180	5.5	30.2500	9.7791074062	-0.0000204212	0.0000000004170266084	-0.0001123168
10	2178	3.5	12.2500	9.7791140895	-0.0000137379	0.0000000001887312610	-0.0000480828
11	2171	-3.5	12.2500	9.7791350563	0.000072288	0.000000000522559426	-0.0000253009
12	2165	-9.5	90.2500	9.7791526195	0.0000247921	0.0000000006146458818	-0.0002355245
13	2159	-15.5	240.2500	9.7791691140	0.0000412866	0.0000000017045793543	-0.00006399416
14	2150	-24.5	600.2500	9.7791959401	0.0000681126	0.0000000046393330496	-0.0016687599
15	2152	-22.5	506.2500	9.7791888203	0.0000609928	0.0000000037201240133	-0.0013723384
16	2147	-27.5	756.2500	9.7792028612	0.0000750337	0.0000000056300601820	-0.0020634275
17	2146	-28.5	812.2500	9.7792037717	0.0000759443	0.000000005765300704	-0.0021644113
18	2145	-29.5	870.2500	9.7792047012	0.0000768737	0.0000000059095717939	-0.0022677753
19	2137	-37.5	1406.2500	9.7792279172	0.0001000897	0.0000000100179480870	-0.0037533638
20	2132	-42.5	1806.2500	9.7792409452	0.0001131178	0.0000000127956262309	-0.0048075045
	<b>2174.5000</b>		<b>632.7895</b>	<b>9.7791278275</b>		<b>0.00000000552714981</b>	<b>-0.0017659468</b>

Desviación estándar 0.0000743448035280839

Desviación estándar	25.1553
Coefficiente de correlación	-0.9442725767
Coefficiente de variación	0.000007602396



Tabla 4. Resumen de promedios de pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente	Gravedad promedio	Coefficiente de correlación
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	-0.007	9.7788921786	-0.97705474223
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla,	-0.002	9.7791044265	-0.969848771
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	-0.007	9.7792332005	-0.976069628
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	-0.00182.	9.7793790695	-0.966960695
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	-0.009	9.7788402874	-0.9545263240
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	-0.008	9.7791278275	-0.9442725767
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	-0.0071	9.7793462631	-0.9533591215

Tabla 5. Promedio de las variables pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente %	Gravedad promedio $m/s^2$	Coefficiente de correlación			
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	0.037	9.779152218	-0.972483459			
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla						
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista						
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho						
5	22	Alsesea	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico				0.803	9.7791047927	-0.950719341
6	20	Alsesea	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe						
7	22	Alsesea	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho						

Tabla 6 Análisis de variables estadísticas entre la altura y la gravedad del Río Alseseca, primera sección Amozoc- Periférico Ecológico.

	X	Y	Z
Minimum:	2216	9.778681108624	9.778681108624
25%-tile:	2235	9.7787660317354	9.7787660317354
Median:	2254.5	9.7788569617602	9.7788569617602
75%-tile:	2280	9.778913929379	9.778913929379
Maximum:	2312	9.778974818107	9.778974818107
Midrange:	2264	9.7788279633655	9.7788279633655
Range:	96	0.00029370948300134	0.00029370948300134
Interquartile Range:	45	0.00014789764360046	0.00014789764360046
Median Abs. Deviation:	23.5	7.1899775299755E-005	7.1899775299755E-005
Mean:	2260.2272727273	9.7788402873596	9.7788402873596
Trim Mean (10%):	2257.1052631579	9.7788349539119	9.7788349539119
Standard Deviation:	31.527662559941	9.6265677387909E-005	9.6265677387909E-005
Variance:	993.99350649351	9.2670806429529E-009	9.2670806429529E-009
Coef. of Variation:			9.8442836327273E-006
Coef. of Skewness:			-0.35160985542933

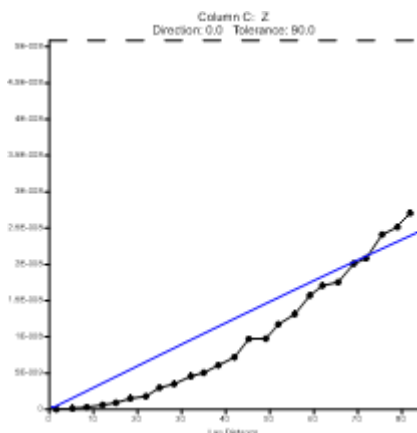


Figura 5. Variograma del Río Alseseca.

del río Alseseca denominada Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe, donde se observa que la fuerza promedio es 97.7913391148.

En la tabla 8 se resumen los promedios de la fuerza del agua calculada en todas las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

También se calcularon los promedios generales de las variables analizadas en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca. Los resultados se muestran en la tabla 9.

### Cálculo de la fuerza del agua

Se denomina fuerza del agua a la cantidad de empuje que ejerce este líquido en dirección de la pendiente (Ramos et al., 2011); para calcular la fuerza del agua se utilizó la siguiente fórmula:

$$f = (\rho * \cos m) * gl \quad (5)$$

Donde:

$\rho$  = densidad del agua  $1000kg/m^3$

$m$  = pendiente

$gl$  = gravedad local

La tabla 7 es un ejemplo del cálculo de la fuerza del agua en la segunda sección

La relación entre la pendiente y la fuerza del agua en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca, muestra que cuanto menor es la pendiente, la fuerza del agua es menor. Si la pendiente es mayor, la fuerza del agua también lo es.

Tabla 7 Cálculo fuerza del agua del Río Alseseca, segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe.  
El punto de referencia de inicio entre pendientes es el vértice 1, por lo que no existe valor alguno.

Vértice	Elevación (m)	Pendiente	Gravedad	Densidad	cos (pendiente)	Fuerzas
1	2211					
2	2209	0	9.7790162236	1000	1	97.790162
3	2206	-0.01	9.7790241216	1000	0.999999995	97.790241
4	2198	-0.02	9.7790481761	1000	0.999999961	97.790478
5	2190	-0.02	9.7790729214	1000	0.999999961	97.790725
6	2191	0.00	9.7790704255	1000	0.999999999	97.790704
7	2189	0.00	9.7790778073	1000	0.999999998	97.790778
8	2184	-0.01	9.7790944565	1000	0.999999985	97.790943
9	2180	-0.01	9.7791074062	1000	0.999999990	97.791073
10	2178	0.00	9.7791140895	1000	1	97.791141
11	2171	-0.01	9.7791350563	1000	0.999999970	97.791348
12	2165	-0.01	9.7791526195	1000	0.999999978	97.791524
13	2159	-0.01	9.7791691140	1000	0.999999978	97.791689
14	2150	-0.02	9.7791959401	1000	0.999999951	97.791955
15	2152	0.00	9.7791888203	1000	0.999999998	97.791888
16	2147	-0.01	9.7792028612	1000	0.999999985	97.792027
17	2146	0.00	9.7792037717	1000	1	97.792038
18	2145	0.00	9.7792047012	1000	1	97.792047
19	2137	-0.02	9.7792279172	1000	0.999999961	97.792275
20	2132	-0.01	9.7792409452	1000	0.999999985	97.792408
					<b>FUERZA PROMEDIO</b>	<b>97.7913391148</b>

Tabla 8 Resumen de promedios de la fuerza del agua.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Fuerza promedio del agua
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	97.7839040320
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	97.7910557789
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	97.7923510084
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	97.7935296800
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	97.7884766361
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	97.7913391148
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	97.7935278295

Tabla 9. Promedio de las variables pendiente, gravedad y coeficiente de correlación.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Pendiente %	Fuerza promedio del agua
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	0.003705	97.7902101248
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla		
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista		
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho		
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	0.008030	97.7911145268
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe		
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho		

## Cálculo del gasto o caudal

El gasto de los ríos se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (7)$$

$Q$  = gasto en metros cúbicos por segundo

$I$  = intensidad de la lluvia en milímetros por hora

$A$  = es la superficie de la cuenca en metros cuadrados

$C$  = es el coeficiente de escorrentía sin dimensiones

Los datos de la intensidad de la lluvia, la superficie de la cuenca y el coeficiente de escorrentía se obtuvieron con ayuda del simulador de flujos de agua SIATL para ambos ríos, en la tabla 10 se muestran los cálculos del gasto de cada sección de los ríos Atoyac y Alseseca.

En la tabla 11 se muestra el gasto general en el río Atoyac que es de  $1116.2323 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el río Alseseca de  $8839.9653 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabla 10. Variables para calcular el gasto en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Intensidad de lluvia mm/h	Área de subcuenca m <sup>2</sup>	Coefficiente	Longitud Cause m	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	215	20281	0.2	21240	2422.4528
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	180	20281	0.2	21240	2028.1
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	222	3148.054	0.003	21400	5.8239
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	4.05	1900.55	0.4	22080.0068	8.5525
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	48.40	202810	0.3	10568.33	8180.0033
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	57.50	202228	0.3	10376.45	9690.0917
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	46.98	220940	0.3	10553.46	8649.801

Tabla 11. Gasto general en las secciones de los ríos Atoyac y Alseseca.

Número	Número de vértices	Nombre del río	Nombre de la sección	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	45	Atoyac	Primera sección Santa Rita Tlahuapan-Arco Norte	1116.2323
2	44	Atoyac	Segunda sección Arco Norte-San Miguel Xoxtla	
3	44	Atoyac	Tercera sección San miguel Xoxtla-Colonia Santa Cruz Buenavista	
4	46	Atoyac	Cuarta sección Colonia Santa Cruz Buenavista Sur-Presa Manuel Ávila Camacho	
5	22	Alseseca	Primera sección Amozoc-Periférico Ecológico	8839.9653
6	20	Alseseca	Segunda sección Periférico Ecológico-Colonia Guadalupe	
7	22	Alseseca	Tercera sección Colonia Guadalupe-Presa Manuel Ávila Camacho	



## Conclusiones

Este trabajo presenta los resultados obtenidos del procesamiento de datos para el cálculo de pendiente, gravedad local y análisis geoestadístico.

Los estudios del cálculo permitieron obtener los siguientes resultados, para el río Atoyac 0.003705% de pendiente promedio y teniendo una gravedad de 9.7791522188, mientras que el río Alseseca tiene un valor de 0.008030% y una gravedad de 9.7791047930  $m/s^2$ , lo que determina que el río Atoyac tiene una menor fuerza del flujo de agua con 97.79011145268 N, por lo tanto, se convierte en un factor característico del tiempo de respuesta de la cuenca ante determinada precipitación.

Este estudio de Topografía Geodésica pretende contribuir con información técnica de datos geoestadísticos para el área de prevención de desastres. Cabe mencionar que los resultados deberán actualizarse al menos cada tres años; estos resultados podrían verse modificados rápidamente por el cambio climático y calentamiento global.

La aplicación del programa Surfer sirvió para obtener el análisis de las variables estadísticas entre la altura y la gravedad de cada río. Se observa que el proceso de gravedad tiende a acercarse al valor calculado a medida que su altitud disminuye.

## Bibliografía

1. Alcántara García, Dante, (2014), Topografía y sus aplicaciones, Ed. Patria, primera edición, México, pp. 129-184.
2. Gravity Information System. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, (2017), Germany. Disponible

en línea:

[www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php](http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php)

3. Hirt, C., Bucha, B., Yang, M. and Kuhn, M. (2019). A numerical study of residual terrain modelling (RTM) techniques and the harmonic correction using ultra-high-degree spectral gravity modelling. *Journal of Geodesy*, Springer, Switzerland, vol. (44), pp. 1-18.

4. M. Spiegel, "Probabilidad y Estadística", McGraw Hill, México City, 2000.

5. Ramos, R., Rivera, A. y Mayorga, R. (2005), 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 City, vol. (10), pp. 283-284.

6. Ramos, A., Máximo, P., Narciso, J., Mirón, M. y Beltrán, M., (2012), Estudio geoestadístico para obtener la gravedad local, pendiente y cálculo hidrológico de las barrancas Xaltelulco, Tepeloncocone, Tenpanco, Colorada y Quimichule del volcán Popocatepetl, *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Colombia, vol. (31), pp. 65-84, 2012.

7. Ramos, R., Máximo, P., Soto, S., Alcántara, S. y Pérez, J., (2013), Analysis of the Meteorological Variables for Puebla City 2011-2012 Applying the Modeling Ion-Wavelets in a Hypothetical Manner, *Journal Atmospheric and Climate Sciences*, China, vol. (3) pp. 450-458.

8. MetAS. (mayo de 2002). MetAs & Metrologós. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiametass/La-Guia-MetAs-02-05-gl.pdf>.

9. SIATL. (agosto de 2010). Institutito

Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de

[http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl).

10. INEGI. (s. f.). Cálculo de gasto o caudal. Recuperado 28 de mayo de 2020, de [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/PDF/CalculoGasto.pdf](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/CalculoGasto.pdf).

11. Comisión Nacional del Agua. Terminología, 2016. Disponible en línea: <https://app.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>.

Se agradece la participación de Dania Aguilar Hernández, Alma Denise Gómez Romero, Paulina Hernández González, María Areadna Jiménez Gutiérrez, Mayte López Montes, Mariana Martínez Reyes, Jordán Romero Merino Miguel, Alejandro Montes de León, Ana Grisel Nicolás Alfonso, Ricardo Palacios González, Liliana Jazmín Solís Vega y Dulce Tamayo de León; estudiantes y becarios de la Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, que fueron un apoyo importante en este trabajo.