PROPUESTA DE ELABORACIÓN DE UN MAPA DE TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

KAREN LIZETH MONDRAGÓN SÁNCHEZ 20151031068

DANNA CAROLINA VELÁSQUEZ CORTÉS 20151031375

WILMAR DARÍO FERNÁNDEZ GÓMEZ PhD.

Docente director

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA

BOGOTÁ 2019

Tabla de Contenido

Resumen 3

Abstract 4

Introducción 5

Objetivos 7

Objetivo General 7

Objetivos Específicos 7

Generalidades 8

Antecedentes 8

Marco Teórico Método de Interpolación: Inverse Distance Weighted (IDW). 10

Fenómeno del Niño y de Fenómeno de la Niña 12

Localización y alcance 14

Metodología 15

Resultados y Análisis 30

Comparación de años con variabilidad climática 40

Deterioro del Pavimento con los Factores Climáticos como Temperatura y Precipitación 41

Conclusiones 43

Bibliografía 44

Resumen

Tras décadas el hombre ha buscado la manera de perfeccionar su entorno, una de las ramas fundamentales de las que se ha encargado por ampliar, mejorar y diseñar es la infraestructura, un elemento predominante en el desarrollo de nuevas actividades, es por ello, que uno de los factores resaltantes es el estado de la red vial donde habita o se relaciona con fines diversos. Al pasar los años se han mejorado las técnicas rudimentarias que dieron inicio con los griegos y que poco a poco se fueron modificando para llegar al aprovechamiento máximo de los materiales empleados, aun así, el deterioro de ellos afecta la red vial desencadenando un sinfín de problemáticas, sin embargo se puede hacer el control de los materiales empleados de acuerdo a las condiciones climáticas donde van a ser sometidos; el objetivo es elaborar un mapa de Bogotá que muestre el comportamiento climático desde el intervalo de tiempo establecido y a partir de ello predecir la climatología futura para poder clasificar el agregado más conveniente para determinada zona, los datos recolectados fueron para el intervalo de tiempo desde el año 2010 al año 2017 de las bases meteorológicas activas a cargo del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y de la CAR (Corporación Autónoma Regional), la estimación de datos faltantes para dichas estaciones fue un proceso llevado a cabo en dos software diseñados para esta tarea, dados los resultados se llega a la elaboración de un mapa útil en la ingeniería de pavimentos.

Palabras Calve: *Condiciones climáticas, pavimentos, adaptación, bases meteorológicas.*

Abstract

After decades the man has looked for the way of perfecting its environment, one of the fundamental branches of which he has taken charge for extending, improving and designing it is the infrastructure, a predominant element in the development of new activities, it is for it, that one of the beetling factors is the state of the road network where he lives or is related to diverse ends. Over the years have improved the rudimentary techniques that began with the Greeks and gradually were modified to reach the maximum utilization of the materials used, however, deterioration of them affects the road network triggering a Endless problems, however it is possible to control the materials used according to the climatic conditions where they are going to be subjected; The objective is to develop a map of Bogotá that shows us the climatic behavior from the interval of established time and from it to predict the future climatology to be able to classify the most suitable aggregation for certain area, the gathered information were for the time interval from the year 2010 until the year 2017 of the active meteorological bases in charge of the IDEAM (Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies) And of the CAR (autonomous Regional Corporation), the estimation of missing data for these stations was a process carried out in two software designed for this task, given the results we arrive to the elaboration of a useful map in the engineering of pavements.

Keywords: Climatic conditions, pavements, adaptation, meteorological bases.

Introducción

La infraestructura vial tiene altos índices de participación en la actualidad ofreciendo servicios importantes para el desarrollo y la sostenibilidad de cada país, al verse afectada implica consecuencias negativas en muchos aspectos sociales y económicos, por esta razón es necesario asignar inversiones de alto valor para conservar su buen estado y prolongar su vida útil. En Colombia el índice de participación está estimado en un 80%, ya que el transporte por carretera es el más utilizado hoy día para el desplazamiento de personas y cargas (Pérez G, 2005).

Distintos factores como exceder los pesos permitidos por las carreteras, la baja calidad en los materiales, la estructura, la geografía, la topografía y el clima genera daños importantes en los pavimentos, la variación de las condiciones climáticas afecta el medio físico causando inundaciones, deslizamientos, avalanchas, entre otros desastres que finalmente representan riesgos para la infraestructura, su operación y su vida útil. A causa de la alta temperatura se reduce la resistencia del asfalto haciéndolo vulnerable a las deformaciones, así mismo, las precipitaciones con un nivel de intensidad alto, producen susceptibilidad en el asfalto permitiendo que el agua se filtre por las diferentes capas del pavimento teniendo como resultado desprendimientos de materiales (Mendoza J. Marcos O, 2017).

De acuerdo a las estadísticas recientes del INVIAS para el segundo semestre del año 2017 el total de la red vial pavimentada en kilómetros era de 6.966.890, de los cuales el estado en que se encontraban era en un 14.47% muy bueno, 37.65% bueno, 31.91% regular, 15.03% malo y 0.94% muy malo (INVIAS, 2017); hacia el año 2013 según estudios del IDU la malla vial arterial de Bogotá se encuentra en un 70,30% en buen estado, 17,33% regular y 12,37% en mal estado.

El clima ha sido el principal causante de daños y deterioros en el pavimento afectando directamente la serviciabilidad de este, ya que acelera estos problemas generando impactos no solo estructurales sino también, económicos, sociales y de movilidad. En Colombia "El comportamiento del clima durante el período 2011- 2015 se caracterizó por la presentación de anomalías de precipitación y temperatura. Los eventos climáticos extremos han aumentado en intensidad en los últimos años…" (IDEAM, 2013), respecto a la información citada anteriormente es necesario que los expertos en el tema implementen técnicas de mejoramiento para adaptar el pavimento a las condiciones climáticas futuras y así evitar el incremento en los costos de mantenimiento y mitigar el impacto que generan los daños.

En este proyecto se plantea la elaboración de un mapa que relacione la variabilidad climática para el periodo que abarca los años 2010 al 2017 haciendo énfasis en el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones de la ciudad de Bogotá para servir de apoyo en las estrategias de adaptación en pavimentos, puesto que estos se comportan de manera diferente dependiendo el clima al que estén expuestos.

Objetivos

Objetivo General

- Elaborar un mapa zonificado de Bogotá respecto a la temperatura y precipitación con fines de aplicación en ingeniería de pavimentos.

Objetivos Específicos

- Analizar la serie de tiempo de la temperatura y precipitación.
- Realizar la estimación de datos faltantes de las estaciones meteorológicas.
- Comparar la proyección de las series de tiempo con el modelo de cambio climático para el periodo de tiempo estimado.
- Relacionar el deterioro del pavimento con los factores climáticos como temperatura y precipitación.

Generalidades

Antecedentes

Las vías nacen tras la necesidad de conectar lugares para de este modo facilitar el comercio e intercambio de bienes, los primeros caminos conocidos en la historia tuvieron origen por parte de los griegos, seguido de los romanos en la implementación de mejoras en las técnicas de pavimentación. Siglos después la cal fue perfeccionada por Vicat con fines hidráulicos y estas modificaciones sirvieron de base para la fabricación del cemento Portland. En 1824 se le otorga la patente de cemento Portland a Joseph Aspdin, pero en el proceso de fabricación se obtuvo un producto de baja calidad por lo cual Charles Johnson mejoro las proporciones de caliza y arcilla, aumento la temperatura de cocción para el mejoramiento de fraguado. Con el paso del tiempo, los avances y descubrimientos conseguidos por el hombre dieron paso para que a mediados del siglo XX los primeros caminos de piedra fueran cubiertos por mezcla asfáltica con el objetivo de aumentar la capacidad de carga de la vía y así suplir las necesidades humanas (Rama Labrador F, 2006).

En Colombia la primera calle pavimentada se situó en el centro de la capital, siendo este un logro notable que se llevó a cabo entre 1890 y 1893, sin embargo, la carencia de buenas técnicas en pavimentación dio como resultado el descontento de los usuarios, después de esto la demanda de carros y el establecimiento de impuestos para estos, genero la exigencia del mejoramiento de las vías existentes y creación de nuevas. Entre las décadas de los 50 y 60 se mejoraron las técnicas de pavimentación siendo este el inicio del progreso en construcción de vías que hoy día son parte importante de la red vial del país, así mismo en la década de los 80 se rehabilitaron pavimentos que habían sido elaborados con técnicas desfavorables para el desarrollo, (Redondo N, 2015).

En países como Colombia las vías nacen como sinónimos de poder y dominación, sobre estas, se han visto una gran cantidad de conflictos que de algún modo han ido marcando la historia del País (Castaño C, 2002), pero de igual manera se ha evidenciado un notorio crecimiento de la población y número de vehículos que transitan sobre dichas vías, lo cual ha creado la necesidad de mejorar las condiciones de estos tramos. Según Osorio I (2013), en 1997 Colombia tenía alrededor de 5700 Km de carreteras troncales y 4100 Km de carreteras transversales, además de 11.287 Km de vías pavimentadas y 5.075 Km de vías sin pavimentar.

Marco Teórico

Método de Interpolación: Inverse Distance Weighted (IDW).

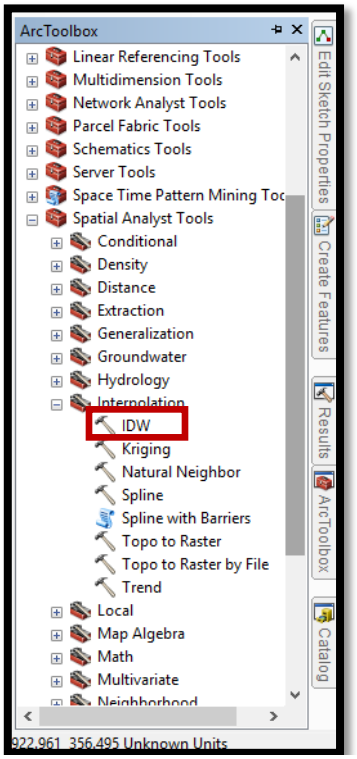


Imagen 1. *Herramienta ArcToolbox ArcGIS*

El modelo de interpolación con la Distancia Inversa Ponderada estima valores desconocidos mediante la suposición de que las cosas que se encuentran más cerca las unas a las otras son más parecidas que aquellas que están alejadas, **auto correlación espacial**. Para la predicción de un valor no medido que se encuentre en cualquier ubicación, el IDW hace uso de los valores ya medidos que rodeen el lugar de predicción puesto que estos tendrán mayor influencia en el valor predicho que aquellos que están lejos, especificando el radio de búsqueda la interpolación solo utilizara el número de puntos que se encuentran dentro del radio de búsqueda.

El IDW asume que cada punto tiene una influencia sobre el área de predicción que varía respecto a la distancia, este método da mayor peso a los puntos que se encuentran más cerca, asimismo disminuye para los que están más lejos, de ahí el nombre de distancia inversa ponderada. Los resultados son aún mejores cuando los datos son densos y se encuentran localizados uniformemente.

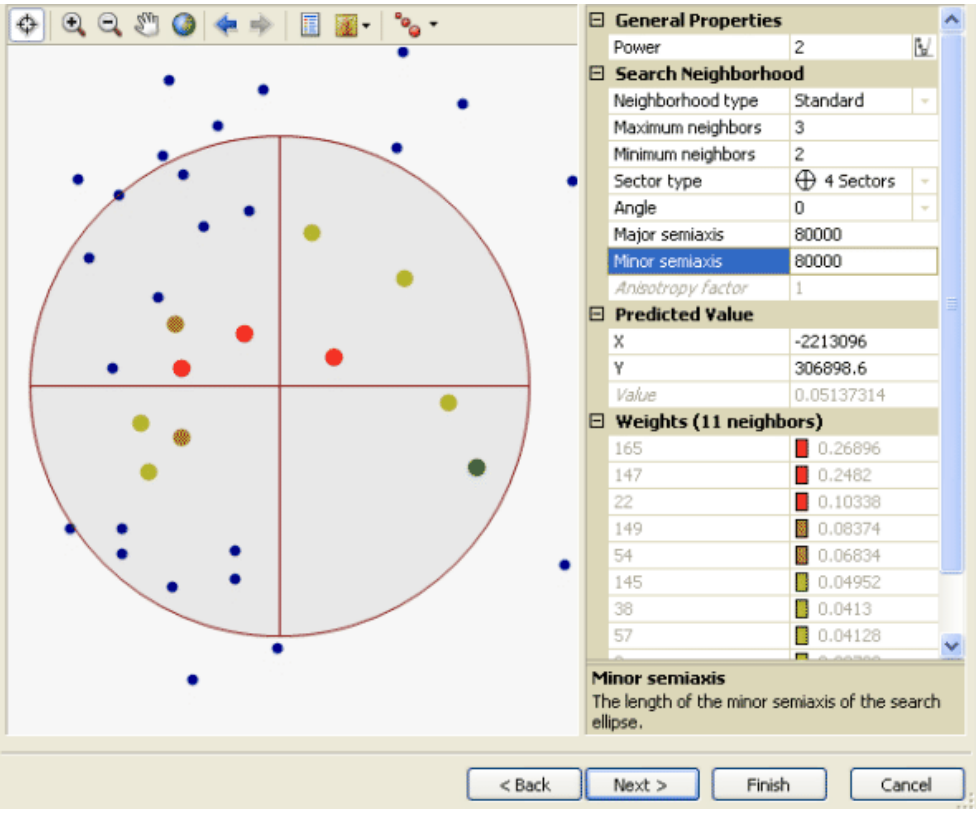


Imagen 2. *Ejemplo valor del peso de los puntos según la distancia en el área de predicción.*

El valor de salida de la predicción para una celda que utiliza este método está establecido entre el rango de valores máximos y mínimos que ya se encuentran muestreados, ya que este método es un promedio de distancia ponderada, el promedio no puede ser mayor que el valor más alto o menor a la medida más baja. (Watson y Philip 1985).

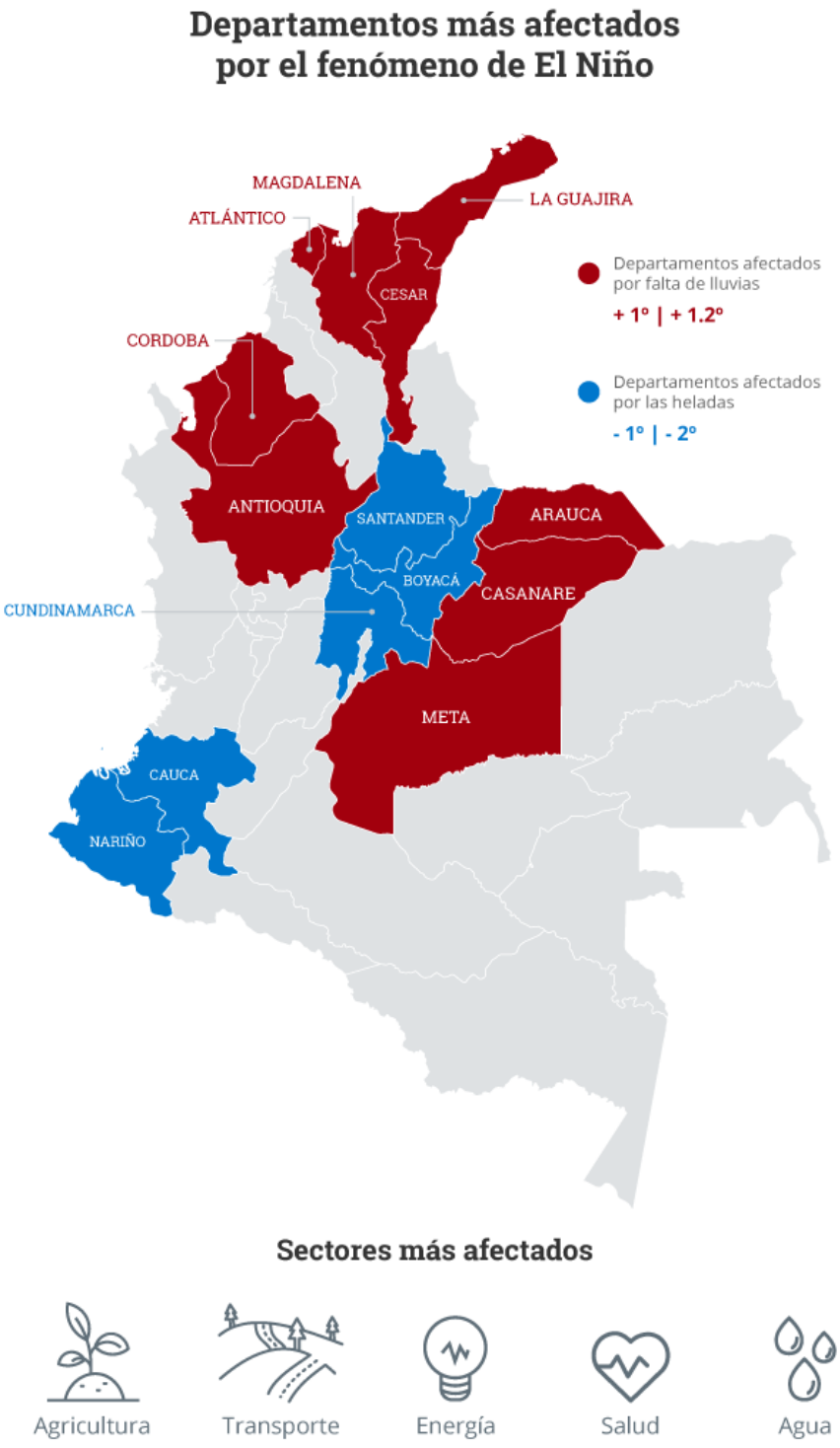
Fenómeno del Niño y de Fenómeno de la Niña

En la franja tropical se puede encontrar un ciclo conocido como el niño en su fase cálida y la fase opuesta de este la niña, se caracteriza por ser la causa de mayor variabilidad climática, asociado con el debilitamiento o fortalecimiento de los vientos del Este, también conocido como la Oscilación del Sur. El fenómeno del niño es un evento climático que se presenta cada cierto número de años, corresponde al aumento de la temperatura del aire en las horas del día, y el enfriamiento del mismo en las horas de la madrugada teniendo como consecuencia heladas en los altiplanos y las zonas montañosas que tienen elevaciones superiores a los 2500 m, esto debido al calentamiento del océano pacifico, sus efectos se han visto más fuertes en el norte de la región pacifica, la región andina y la región Caribe. Por otro lado el fenómeno de la niña se compone de un aumento en las precipitaciones, lo cual resulta ser positivo en algunos casos, y la disminución considerable de las temperaturas que puede llegar a ser negativo para las regiones que más se ven afectadas. "…este episodio ("La Niña"), se ha caracterizado por un importante componente atmosférico y, según revelan los indicadores correspondientes, se trata de uno de los episodios más intensos del último siglo, con un fuerte acoplamiento océano-atmósfera" *Organización Meteorológica Mundial, 2011.*

Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), el fenómeno del niño no será tan severo como el año 2015, Los pronósticos que entrega el IDEAM señalan que para el primer trimestre del año 2019, la presencia del fenómeno del Niño tiene una estimación entre el 80 y 90 por ciento, "Se presentaría como consecuencia de la falta de lluvias, incendios de cobertura vegetal (altos niveles de radiación solar junto con las quemas podrían generarlos), heladas (afectando pastos y cultivos en zonas del altiplano Cundiboyacense, Santander, Nariño, Cauca y Antioquia); procesos erosivos (ante la pérdida de humedad incrementa la ocurrencia de deslizamientos de tierra); altas temperaturas del aire (incremento de sensación térmica corporal afectando a la población y animales); disminución en nivel y cauce de los ríos y control de vectores" IDEAM.

Los efectos producidos por el fenómeno del niño, la deficiencia de lluvia mostro un impacto de más del 50% sobre el territorio, en las regiones Caribe y andina. De igual manera el fenómeno de la niña presenta impactos importantes por exceso de lluvia en un 50% del

territorio Colombiano, sin embargo gracias a este fenómeno se puede predecir un predominio moderado de las sequias.



Departamentos Afectados por la lluvia, 2018, El Tiempo.

Localización y alcance

Las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio fueron las que se encuentran en la tabla1, puesto que se localizan en el área de interés (zona urbana de Bogotá) y tuvieron permanencia activa en el periodo de tiempo que se determinó, cada estación cuenta con sus respectivas coordenadas geográficas.

Tabla1. *Coordenadas Estaciones Meteorológicas.*

CODIGO ESTACION	NOMBRE ESTACIÓN	LONG	LAT	ELEV
21205580	VENADO ORO VIVERO	-74.0615	4.5983	2725
21205710	JARDIN BOTANICO	-74.1026	4.6693	2552
21205790	APTO EL DORADO	-74.1506	4.7055	2547
21206220	UNIC NACIONAL	-74.0890	4.638	2556
21206260	C. UNIV. AGROP-UDCA	-74.0497	4.7986	2570
21206560	INEM KENNEDY	-74.1347	4.6611	2580
21206570	APTO CATAM	-74.1506	4.7055	2546
21206600	NVA GENERACION AUT	-74.0943	4.7822	2590
2120516	RAMADA LA	-74.1772	4.7032	2571
2120559	APTO GUAIMARAL-USTA	-74.0535	4.7910	2630
2120630	DONA JUANA	-74.1374	4.5009	2800
21205013	UNI SALLE NORTE	-74.0305	4.7944	2595
21206620	COL H DURAN DUSAN	-74.1737	4.6346	2562
21206650	COL SAN CAYETANO	-74.0882	4.5167	3100
21206660	COL SANTIAGO PEREZ	-74.1309	4.5762	2565
21206690	COL MIGUEL A CARO	-74.0311	4.8131	2700

Metodología

Como primer paso se determina las estaciones meteorológicas activas que se encuentran en la ciudad de Bogotá, específicamente en el área urbana por medio de los **DATOS ABIERTOS-GOBIERNO DIGITAL** y se decide utilizar los datos de estaciones como: **VENADO ORO VIVERO, JARDÍN BOTÁNICO, APTO EL DORADO, UNIV NACIONAL, C. UNIV AGROP-UDCA, INEM KENNEDY, APTO CATAM, NVA GENERACIÓN AUT, RAMADA LA, APTO GUAIMARAL-USTA, DONA JUANA, UNI SALLE NORTE, COL H DUSAN, COL SAN CAYETANO, COL SANTIAGO PEREZ, COL MIGUEL A CARO, ESC LA UNION** por el periodo de actividad continuo desde el año 2010 hasta el año 2017. Posterior a eso se acudió a las entidades correspondientes para realizar la solicitud de la información la primera de ellas la CAR-Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM donde se diligenciaron los formularios virtuales como se muestra en la Figura 1; los datos fueron entregados en un plazo de 10 a 15 días hábiles a partir de la fecha de solicitud el 1 de Junio del año 2018.

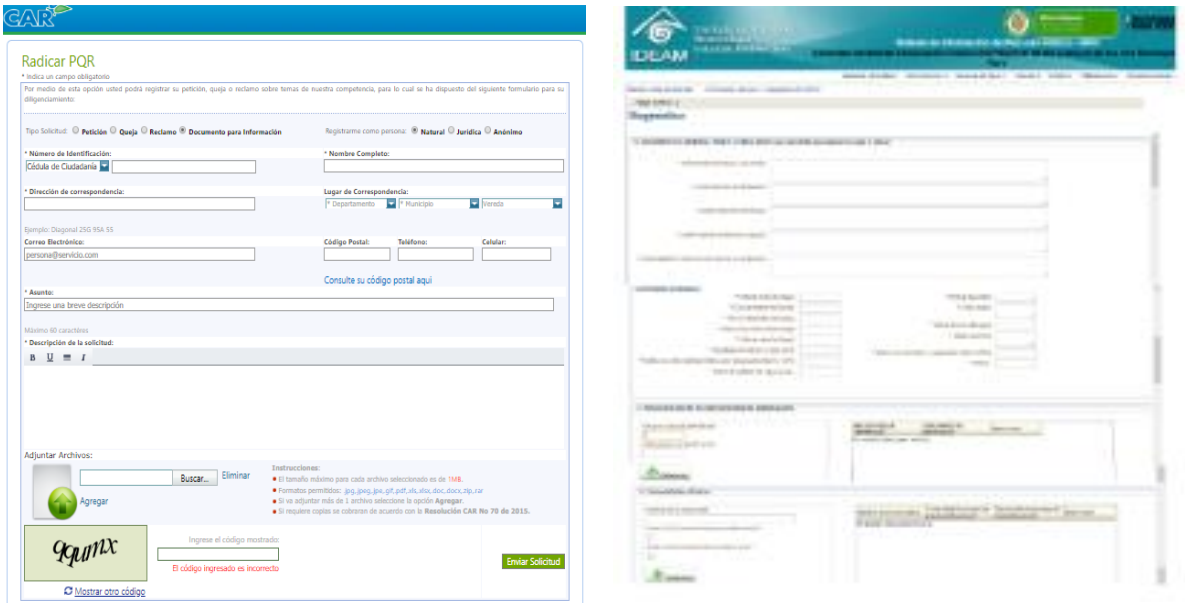


Figura 1. *Formularios de solicitud de información.*

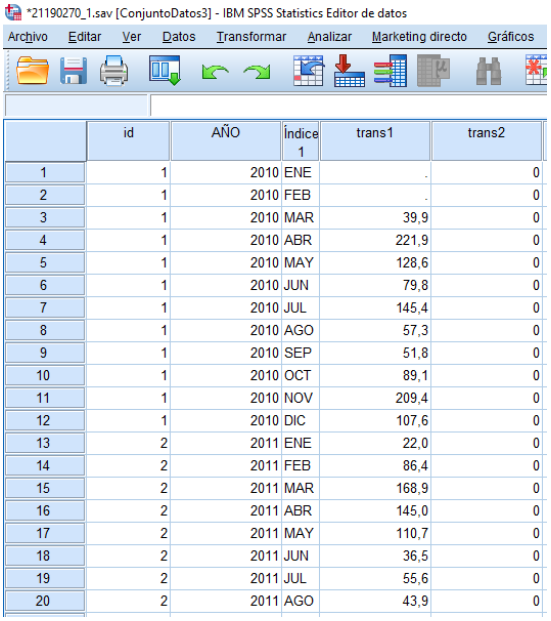
Una vez recibido el material disponible para consulta del banco de datos se procede a organizar la información de datos anuales del periodo 2010 - 2017; puesto que los datos presentan inconsistencias debido a que las estaciones meteorológicas en ocasiones pueden no tomar los datos diarios completos, es necesario realizar un proceso de reestructuración de datos como lo indica la **"Guía para el procesamiento de series de tiempo de precipitación y temperatura: estimación de datos faltantes, detección de cambios y homogenización",** el programa inicial utilizado es el IBM SPSS Statistics 23, software que recibe datos en archivo Excel versión 97-2003 de forma matricial como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. *Datos de la serie de tiempo en forma matricial.*

Se debe revisar qué tipo de dato se tiene, existen casos especiales en los cuales el tipo de dato es un asterisco (*) por lo tanto es necesario eliminarlo para que no presente errores en procesos posteriores.

En el programa IBM SPSS Statistics 23 se abre el archivo de Excel creado anteriormente, una vez abierto debe guardarse con la extensión **.sav** que ofrece el programa, en este mismo se realiza la reestructuración de datos, es decir, la forma matricial del archivo Excel pasa a verse de forma longitudinal (Ver Figura 3).


*21190270_1.sav [ConjuntoDatos3] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos

	id	AÑO	Índice 1	trans1	trans2
1	1	2010	ENE	.	0
2	1	2010	FEB	.	0
3	1	2010	MAR	39,9	0
4	1	2010	ABR	221,9	0
5	1	2010	MAY	128,6	0
6	1	2010	JUN	79,8	0
7	1	2010	JUL	145,4	0
8	1	2010	AGO	57,3	0
9	1	2010	SEP	51,8	0
10	1	2010	OCT	89,1	0
11	1	2010	NOV	209,4	0
12	1	2010	DIC	107,6	0
13	2	2011	ENE	22,0	0
14	2	2011	FEB	86,4	0
15	2	2011	MAR	168,9	0
16	2	2011	ABR	145,0	0
17	2	2011	MAY	110,7	0
18	2	2011	JUN	36,5	0
19	2	2011	JUL	55,6	0
20	2	2011	AGO	43,9	0

Figura 3. *Datos de la serie de tiempo en forma longitudinal*

El programa IBM SPSS Statistics 23 realiza un análisis de la secuencia de datos que se está trabajando, en este paso se pueden presentar dos graficas diferentes, la primera corresponde a una serie de datos donde su secuencia es continua como se ve en la *Figura 4* y en el segundo caso la gráfica se puede analizar como una serie de datos incompleta como se observa en la *Figura 5*.

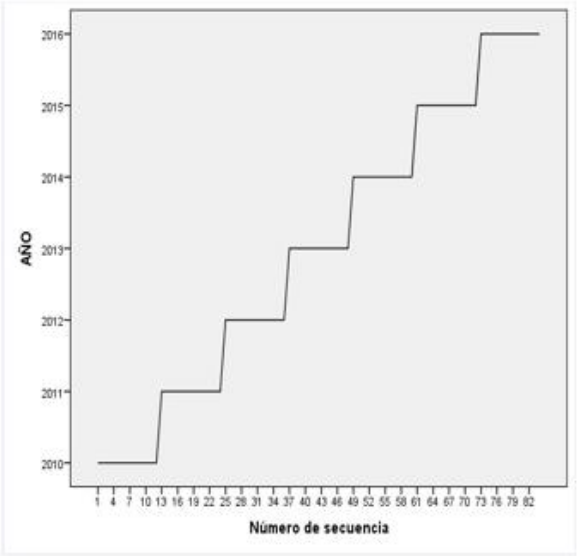


Figura 4. *Gráfico de secuencia por años para una serie completa*

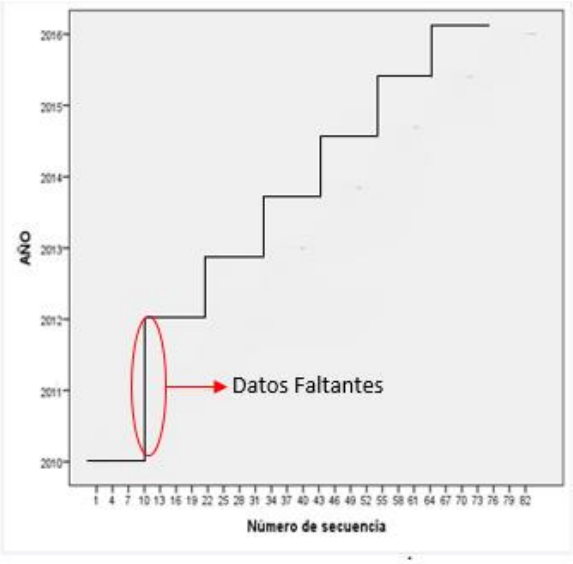


Figura 5. *Gráfico de secuencia por años para una serie incompleta*

Algunos datos de las estaciones tienen como tipo de dato un código (2) el cual significa que el dato de la estación meteorológica presenta inconsistencias, es por eso, que en este programa es necesario hacer una ***recodificación de datos***, es decir que los datos que estén en casilla vacía o tipo de dato (2) es necesario sustituir por un valor algorítmico predeterminado por el software que es de -99999 como se ve en la Figura 6. Paso seguido se guardan los resultados obtenidos como un archive de Excel y se procede trabajar con el software TSW64+.

YEAR_	MONTH_	DATE_	PRECI
2010	1	JAN 2010	-99999,00
2010	2	FEB 2010	-99999,00
2010	3	MAR 2010	39,90
2010	4	APR 2010	221,90
2010	5	MAY 2010	128,60
2010	6	JUN 2010	79,80
2010	7	JUL 2010	145,40
2010	8	AUG 2010	57,30
2010	9	SEP 2010	51,80
2010	10	OCT 2010	89,10
2010	11	NOV 2010	209,40
2010	12	DEC 2010	107,60
2011	1	JAN 2011	22,00
2011	2	FEB 2011	86,40
2011	3	MAR 2011	168,90
2011	4	APR 2011	145,00

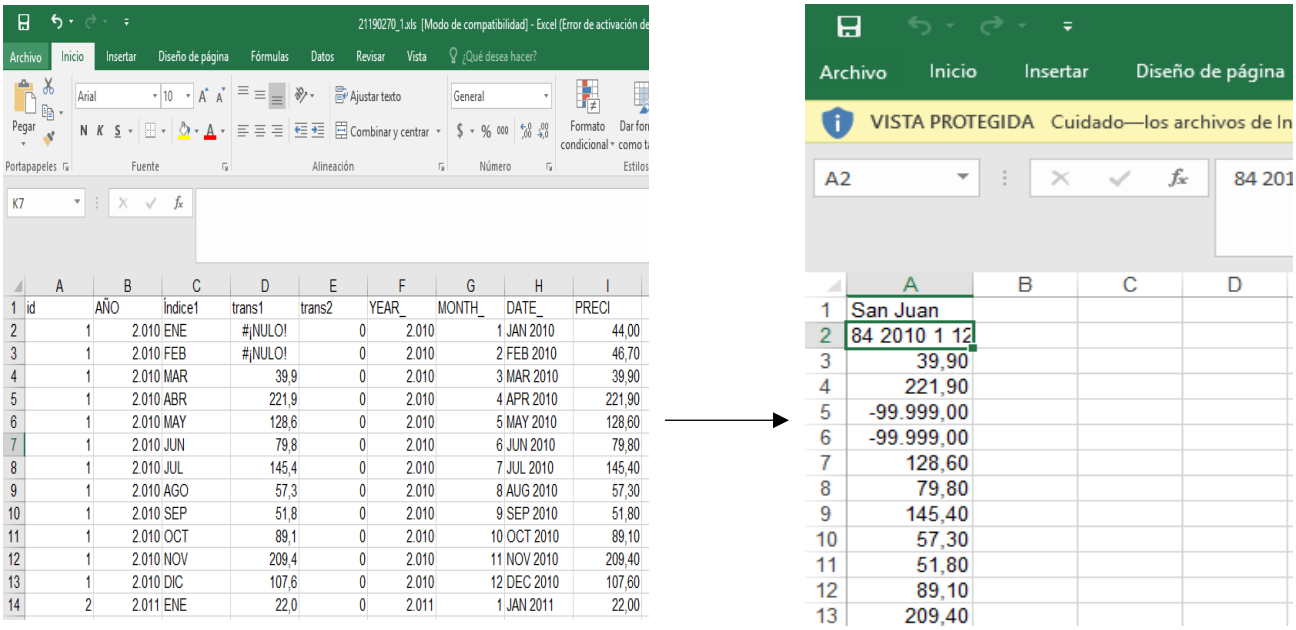
Figura 6. *Datos Recodificados en el programa IBM SPSS Statistics 23*

Al analizar los datos faltantes (se toma como dato faltante cuando la casilla tiene el valor de -99999), obtenidos por programa SPSS se debe tener en cuenta estos 4 casos establecidos por el software TSW64+ para el correcto procesamiento de los datos en el mismo:

1. La serie no posee más de veintinueve datos faltantes y no inicia ni finaliza con datos faltantes.
2. La serie no posee más de veintinueve datos faltantes, pero inicia y finaliza con datos faltantes.
3. La serie posee más de veintinueve datos faltantes, no inicia o no finaliza con datos faltantes.
4. La serie posee más de veintinueve datos faltante e inicia o finaliza con datos faltantes.

Según con lo anterior, para cada caso la serie debe tratarse de distintas maneras para que el programa TSW64+ no presente inconvenientes, tales como error en la predicción o que de entrada no procese los datos. Para los 4 casos es necesario eliminar las columnas correspondientes a id-AÑO-Indice1-Trans1-Trans2 y YEAR_-MONTH_-DATE_ del archivo resultante del software *IBM SPSS Statistics 23* (Ver Figura 7). La primera columna del archivo de Excel debe acomodarse como se observa en la Figura 8, en la primera fila debe ir el nombre de la estación y en la siguiente el número de datos, año de inicio de la serie de tiempo y los números 1 12 que corresponden a los meses de inicio y fin de la serie.

Creación de nueva forma de presentación de datos.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	id	AÑO	Índice1	trans1	trans2	YEAR_	MONTH_	DATE_	PRECI
2	1	2.010	ENE	#¡NULO!	0	2.010	1	JAN 2010	44,00
3	1	2.010	FEB	#¡NULO!	0	2.010	2	FEB 2010	46,70
4	1	2.010	MAR	39,9	0	2.010	3	MAR 2010	39,90
5	1	2.010	ABR	221,9	0	2.010	4	APR 2010	221,90
6	1	2.010	MAY	128,6	0	2.010	5	MAY 2010	128,60
7	1	2.010	JUN	79,8	0	2.010	6	JUN 2010	79,80
8	1	2.010	JUL	145,4	0	2.010	7	JUL 2010	145,40
9	1	2.010	AGO	57,3	0	2.010	8	AUG 2010	57,30
10	1	2.010	SEP	51,8	0	2.010	9	SEP 2010	51,80
11	1	2.010	OCT	89,1	0	2.010	10	OCT 2010	89,10
12	1	2.010	NOV	209,4	0	2.010	11	NOV 2010	209,40
13	1	2.010	DIC	107,6	0	2.010	12	DEC 2010	107,60
14	2	2.011	ENE	22,0	0	2.011	1	JAN 2011	22,00

	A	B	C	D
1	San Juan			
2	84 2010 1 12			
3	39,90			
4	221,90			
5	-99.999,00			
6	-99.999,00			
7	128,60			
8	79,80			
9	145,40			
10	57,30			
11	51,80			
12	89,10			
13	209,40			

Figura 7. *Excel generado en el programa SPSS.*

Figura 8. *Creación de nueva forma de presentación de datos.*

Una vez preparado el archivo de Excel, se abre y se procesa en TSW64+ con el fin de realizar un ajuste y estimar los datos faltantes. Al realizar la comparación entre la gráfica inicial que muestra el programa (Figura 9) y la gráfica resultante del respectivo proceso (Figura 10) se evidencia la estimación esperada, donde los asteriscos (*) presentados en la gráfica hacen referencia a los datos faltantes de la serie. El archivo final se debe guardar como archivo Excel y este será el documento que seguirá en proceso.

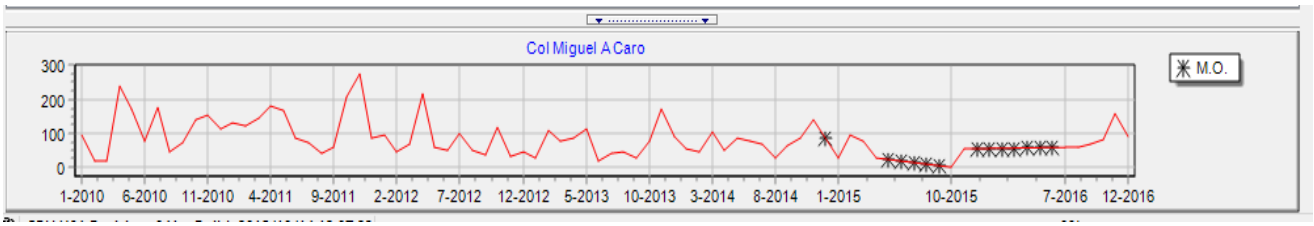


Figura 9. *Proceso de Graficas en el programa TSW (Antes de la estimacion de datos)*

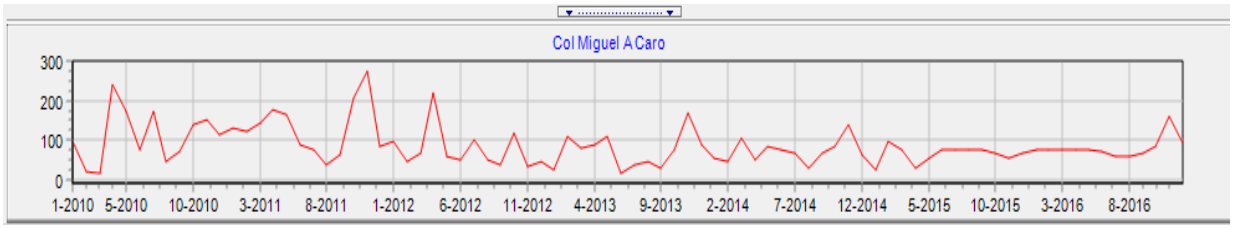
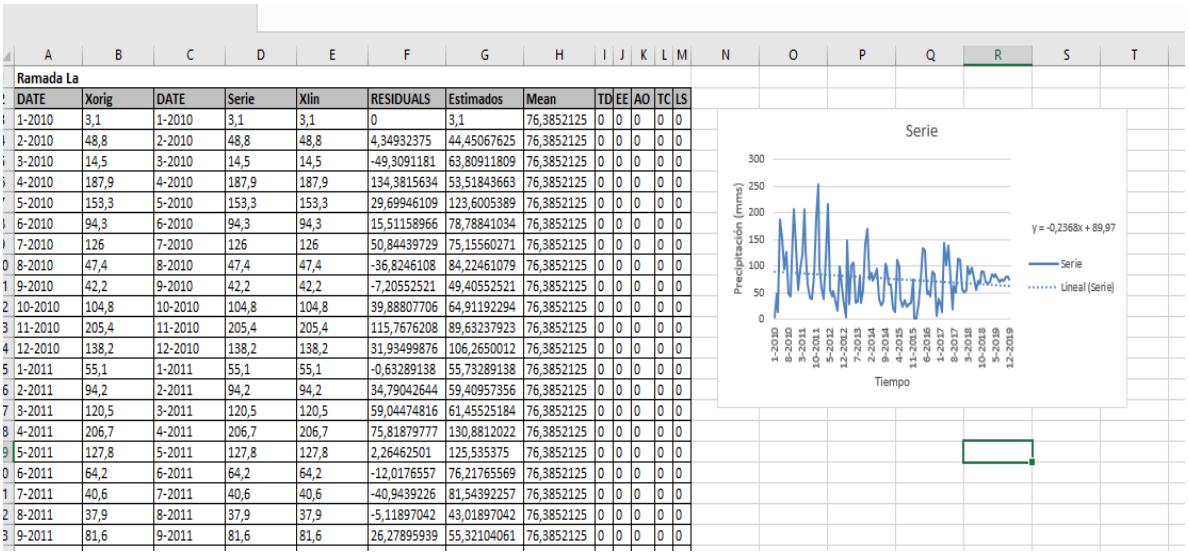


Figura 10. *Proceso de Graficas en el programa TSW (Despues de la estimacion de datos)*

Del archivo Excel obtenido se realizaron las gráficas de series de tiempo correspondientes para cada estación meteorológica y con ella se obtuvo la línea de tendencia como se muestra en la Figura 11, este proceso fue necesario para comparaciones respecto a los años donde se presentó variabilidad climática, por ejemplo, en el año 2011 donde se presentó el fenómeno de la niña y en el año 2015 el fenómeno del niño.



Ramada La

DATE	Xorig	DATE	Serie	Xlin	RESIDUALS	Estimados	Mean	TD	EE	AO	TC	LS
1-2010	3,1	1-2010	3,1	3,1	0	3,1	76,3852125	0	0	0	0	0
2-2010	48,8	2-2010	48,8	48,8	4,34932375	44,45067625	76,3852125	0	0	0	0	0
3-2010	14,5	3-2010	14,5	14,5	-49,3091181	63,80911809	76,3852125	0	0	0	0	0
4-2010	187,9	4-2010	187,9	187,9	134,3815634	53,51843663	76,3852125	0	0	0	0	0
5-2010	153,3	5-2010	153,3	153,3	29,69946109	123,6005389	76,3852125	0	0	0	0	0
6-2010	94,3	6-2010	94,3	94,3	15,51158966	78,78841034	76,3852125	0	0	0	0	0
7-2010	126	7-2010	126	126	50,84439729	75,15560271	76,3852125	0	0	0	0	0
8-2010	47,4	8-2010	47,4	47,4	-36,8246108	84,22461079	76,3852125	0	0	0	0	0
9-2010	42,2	9-2010	42,2	42,2	-7,20552521	49,40552521	76,3852125	0	0	0	0	0
10-2010	104,8	10-2010	104,8	104,8	39,88807706	64,91192294	76,3852125	0	0	0	0	0
11-2010	205,4	11-2010	205,4	205,4	115,7676208	89,63237923	76,3852125	0	0	0	0	0
12-2010	138,2	12-2010	138,2	138,2	31,93499876	106,2650012	76,3852125	0	0	0	0	0
1-2011	55,1	1-2011	55,1	55,1	-0,63289138	55,73289138	76,3852125	0	0	0	0	0
2-2011	94,2	2-2011	94,2	94,2	34,79042644	59,40957356	76,3852125	0	0	0	0	0
3-2011	120,5	3-2011	120,5	120,5	59,04474816	61,45525184	76,3852125	0	0	0	0	0
4-2011	206,7	4-2011	206,7	206,7	75,81879777	130,8812022	76,3852125	0	0	0	0	0
5-2011	127,8	5-2011	127,8	127,8	2,26462501	125,535375	76,3852125	0	0	0	0	0
6-2011	64,2	6-2011	64,2	64,2	-12,0176557	76,21765569	76,3852125	0	0	0	0	0
7-2011	40,6	7-2011	40,6	40,6	-40,9439226	81,54392257	76,3852125	0	0	0	0	0
8-2011	37,9	8-2011	37,9	37,9	-5,11897042	43,01897042	76,3852125	0	0	0	0	0
9-2011	81,6	9-2011	81,6	81,6	26,27895939	55,32104061	76,3852125	0	0	0	0	0

Figura 11. *Tabla de Excel con la gráfica de Serie Tiempo.*

Para la elaboración del mapa es necesario adquirir un Shapefile de la ciudad de Bogotá, el cual se encuentra en la página web del IDECA- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. Este Shape cuenta con el área urbana y rural, como el área de estudio es la zona urbana de la ciudad de Bogotá se recorta el área de interés en el programa ArcMap 10.5 de ArcGIS como se evidencia en la Figura 12.

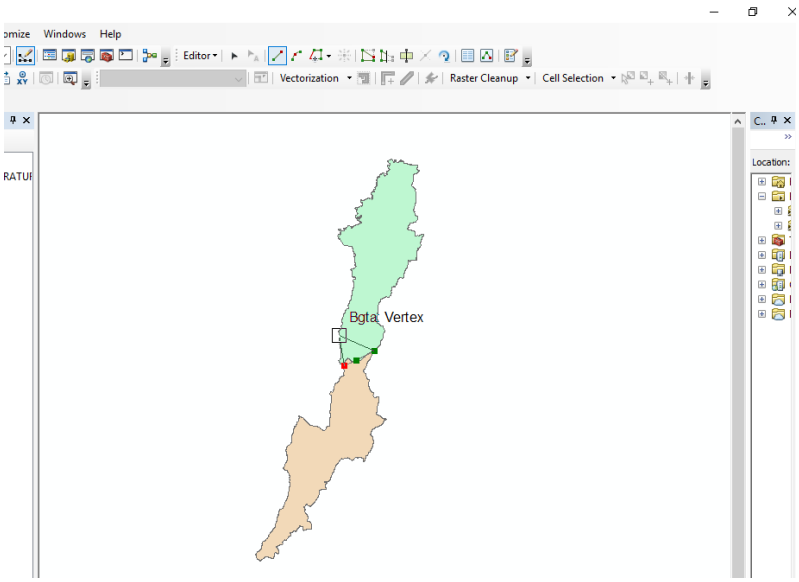


Figura 12. *Corte del Shapefile de la ciudad.*

En la figura 12 muestra los dos mapas de referencia interpuestos, el área de color azul corresponde al resultado obtenido del proceso de corte utilizado para posteriores procesos.

Siguiente a tener el Shapefile modificado, se cargan los datos de las estaciones con los máximos y mínimos anuales para el periodo establecido y se sube el punto de referencia correspondiente a la Plaza de Bolívar ubicado en el centro de la ciudad, con coordenadas 4°35′53″N 74°04′33″O, estos puntos fueron añadidos al programa como se muestra en la Figura 13.

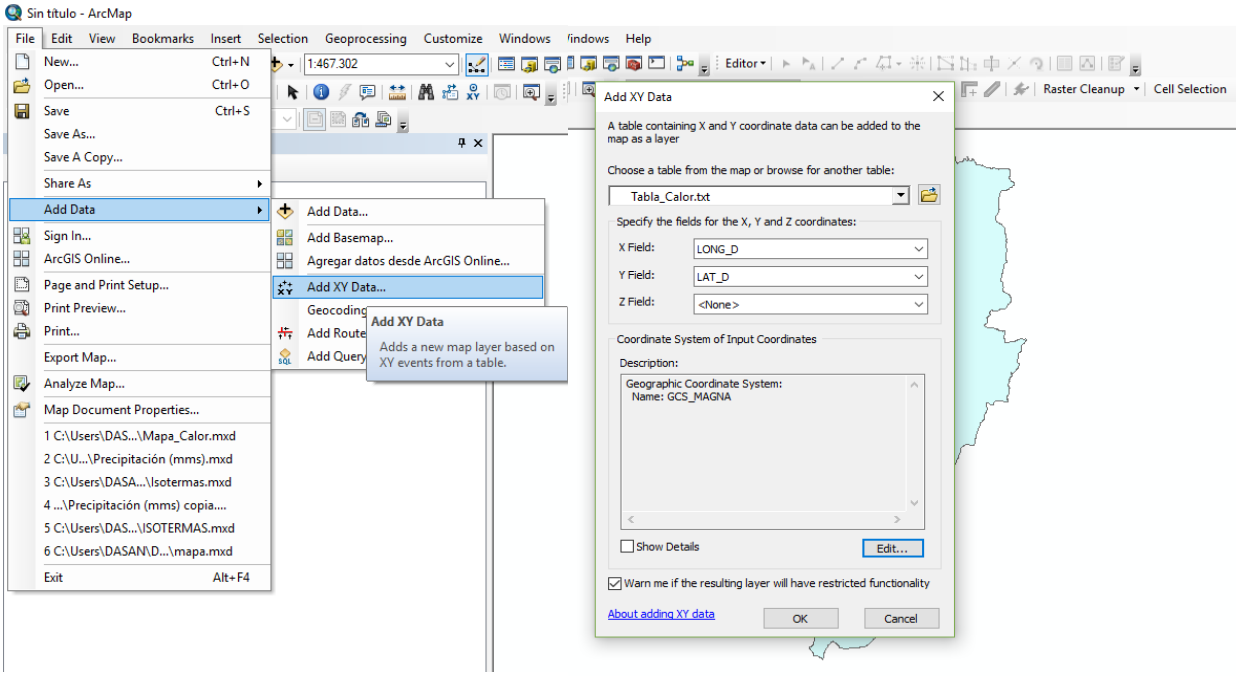


Figura 13. *Proceso de agregar las Estaciones y Punto de referencia al Mapa.*

Una vez el punto de referencia y las estaciones meteorológicas se encuentran en el programa ArcMap, se realiza la interpolación a partir de la herramienta IDW encontrada en el panel ArcToolbox, en la opción **Spatial Analyst Tools**, en la pestaña **Interpolation,** finalmente se selecciona la opción **IDW** diligenciando la ventana como se muestra en la Figura 14.

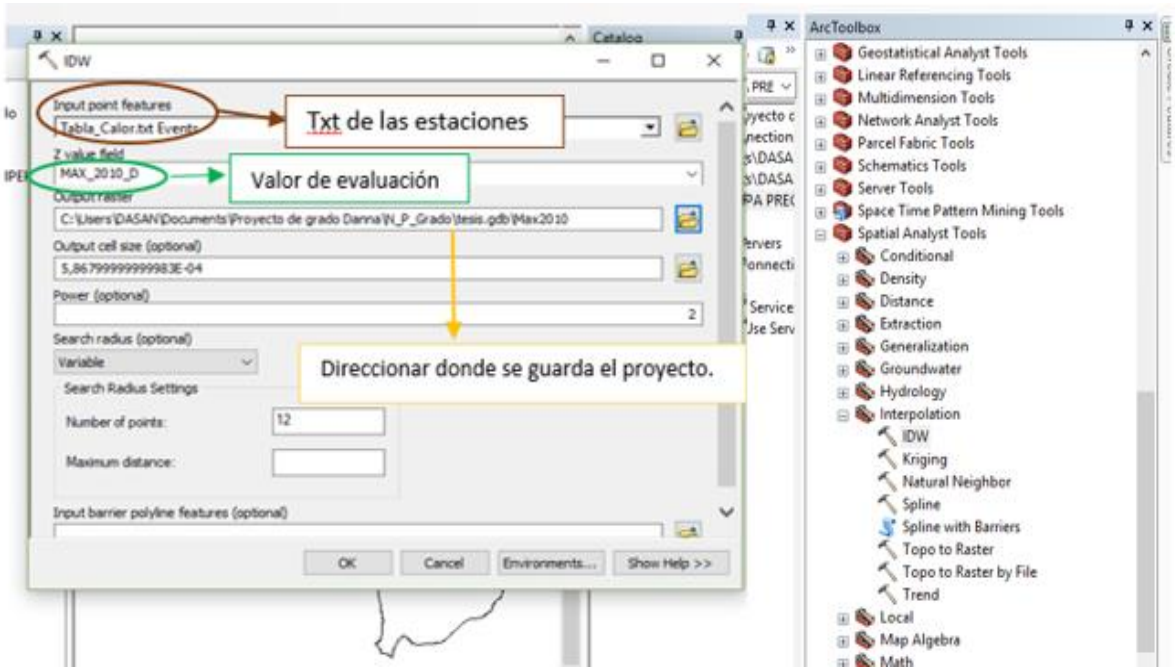


Figura 14. *Proceso de Interpolación.*

Para que la interpolación se realizara dentro del Shapefile de Bogotá, se configuro de la siguiente manera, en la ventana desplegada anteriormente se accede a la opción **Environments** y se diligencia la ventana que se despliega seleccionando el Shapefile para que se ejecute la interpolación dentro de los límites de este como se muestra la Figura 15.

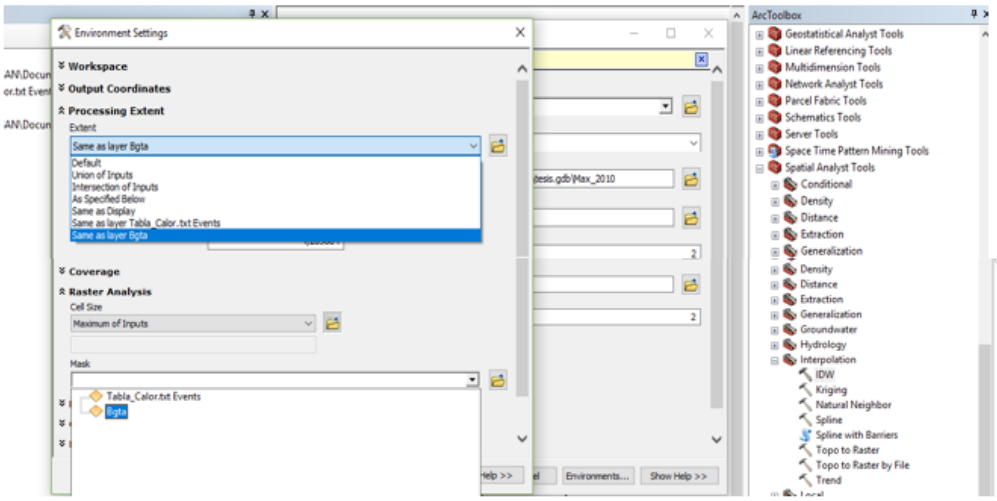


Figura 15. *Configuración de Interpolación.*

Este proceso es igual para todos los mapas elaborados, en total se obtuvieron nueve mapas máximos y de igual manera nueve mapas de mínimos, uno de cada año.

Para el realizar las curvas de nivel llamadas Isoyetas para el caso de la Precipitación e Isotermas para el caso de la temperatura, en el panel ArcToolbox se despliega la opción **Spatial Analyst Tools** donde se encuentra la herramienta llamada **Surface** y en esta encontramos la opción **Contour**, la ventana desplegada se debe diligenciar como se muestra en la Figura 16.

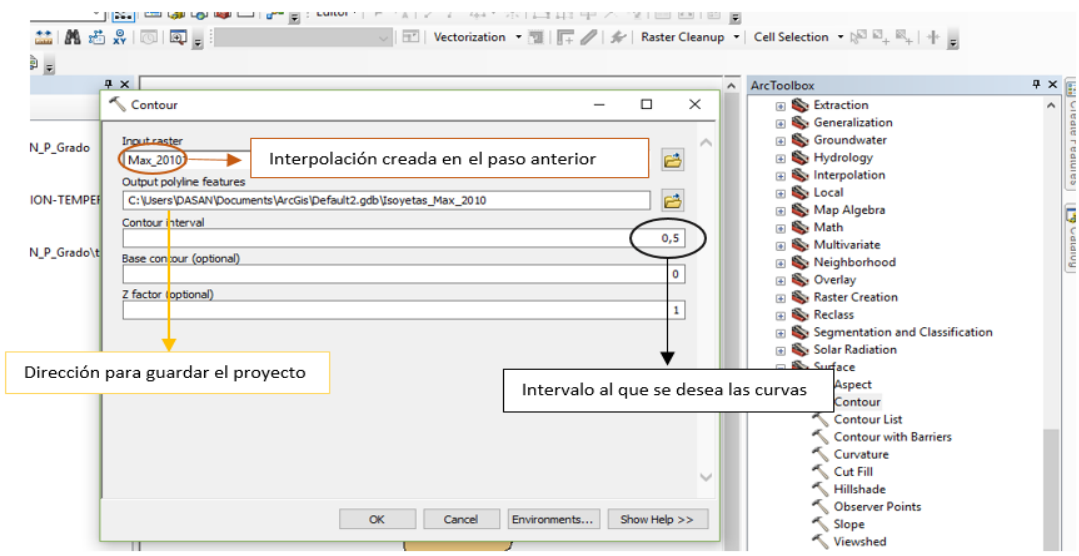


Figura 16. *Configuración de Contorno.*

Una vez hecho este proceso para todos los máximos y mínimos de todos los años del periodo establecido se modifica el Layout View para la presentación de los mapas, donde deben ir el título, las convenciones, intervalos de interpolación, localización, escalas, sistema de coordenadas y autores, de este proceso se obtuvieron los documentos en PDF para máximos y mínimos de precipitación, igualmente para temperatura y se ven como muestra la Figura 17.

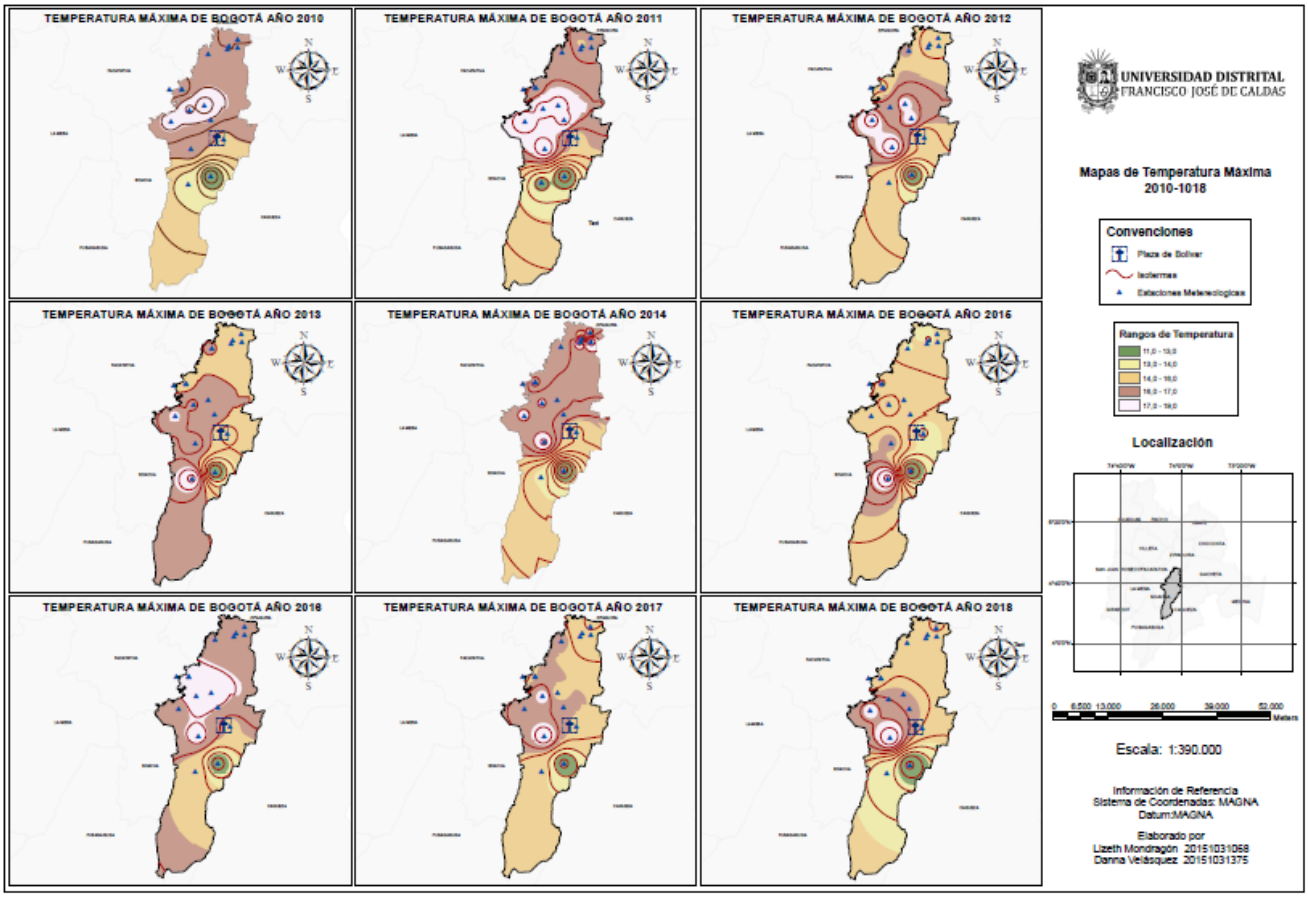


Figura 17. *Mapa de temperaturas máximas de Bogotá año 2010*

Resultados y Análisis

Las gráficas del comportamiento mensual de las estaciones en la variable precipitación a través de los años son las siguientes:

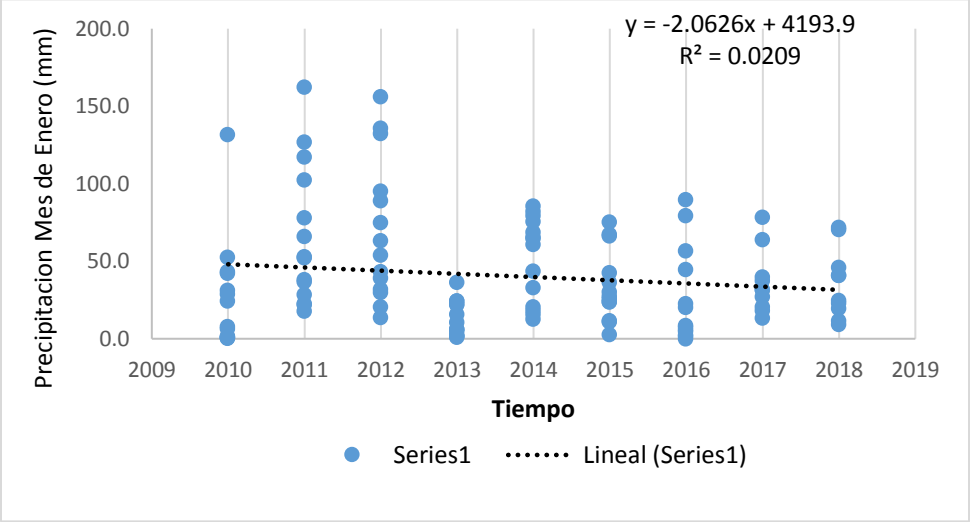


Figura 18. *Comportamiento en el mes de Enero en diferentes años.*

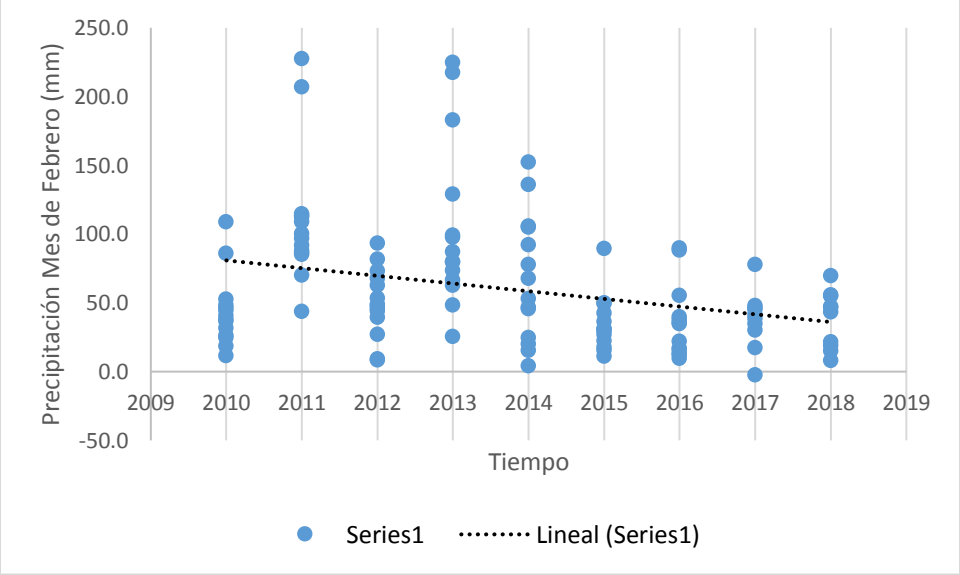


Figura 19. *Comportamiento en el mes de Febrero en diferentes años.*

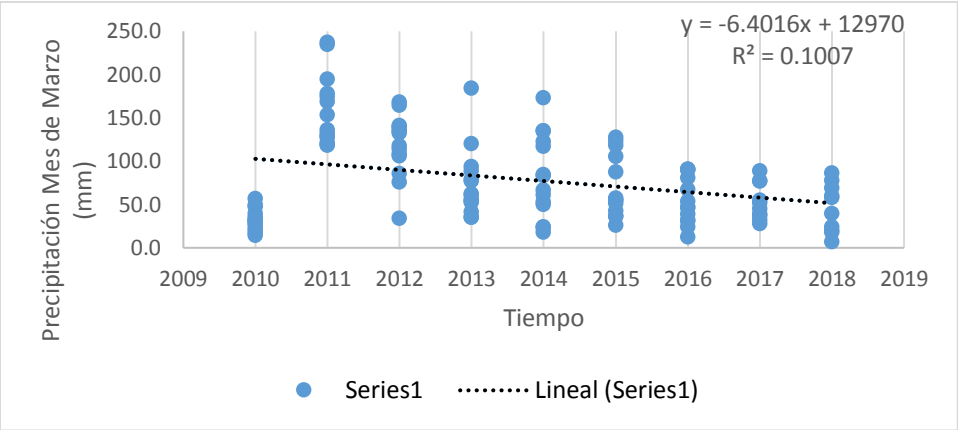


Figura 20. *Comportamiento en el mes de Marzo en diferentes años.*

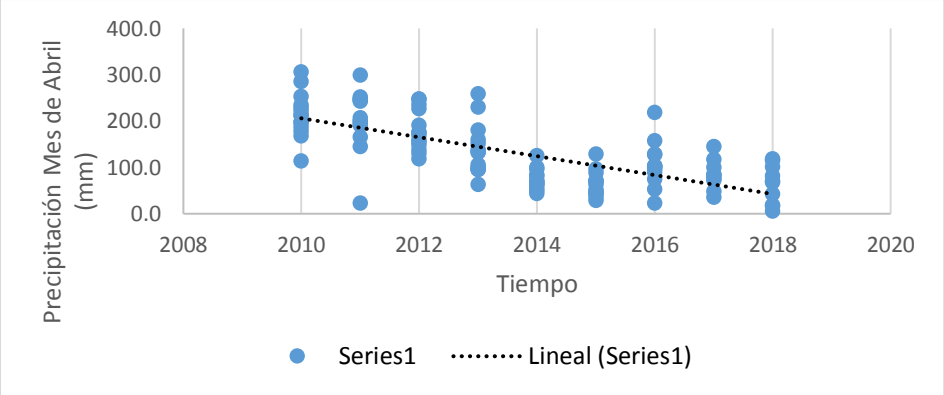


Figura 21. *Comportamiento en el mes de Abril en diferentes años.*

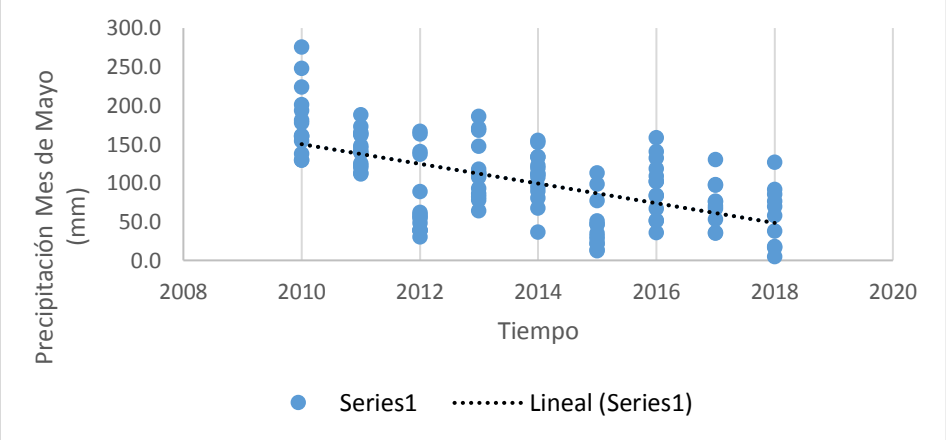


Figura 22. *Comportamiento en el mes de Mayo en diferentes años.*

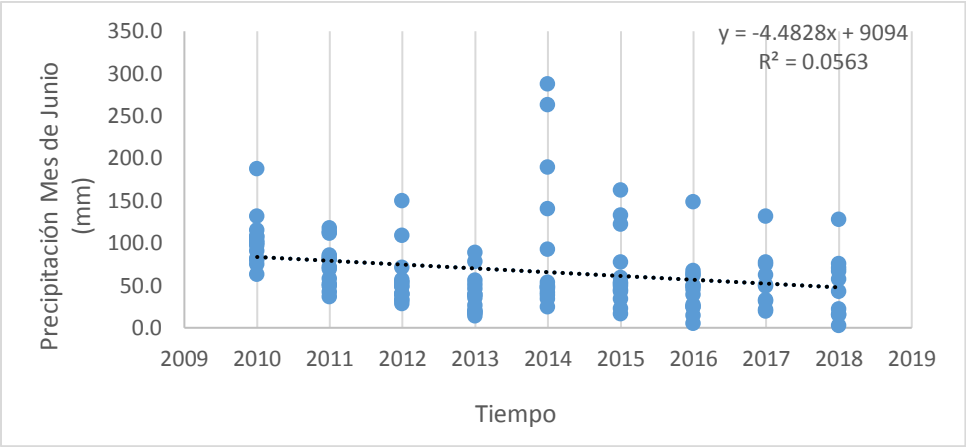


Figura 23. *Comportamiento en el mes de Junio en diferentes años.*

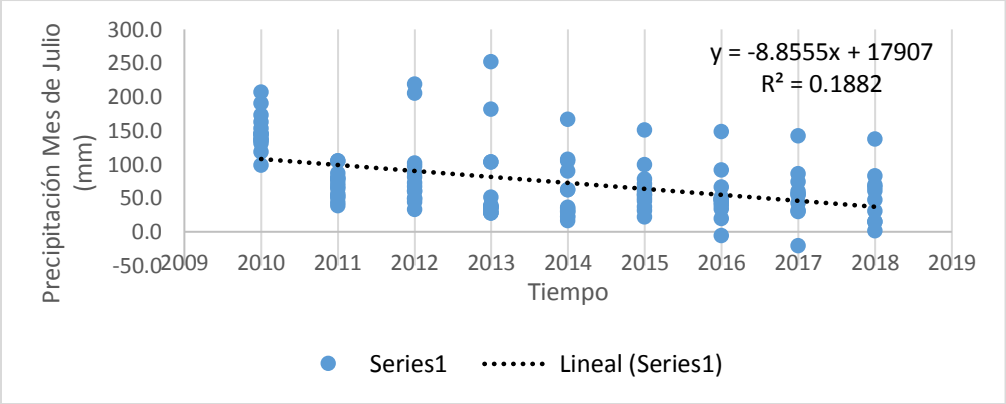


Figura 24. *Comportamiento en el mes de Julio en diferentes años.*

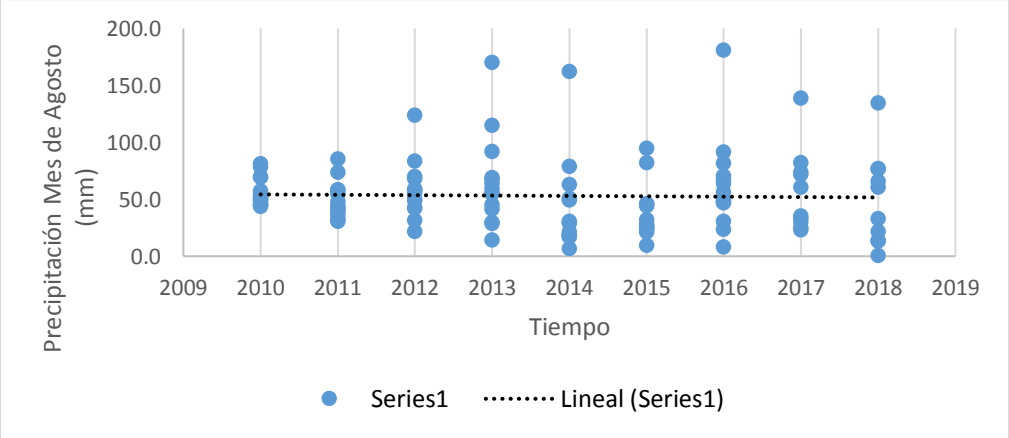


Figura 25. *Comportamiento en el mes de Agosto en diferentes años.*

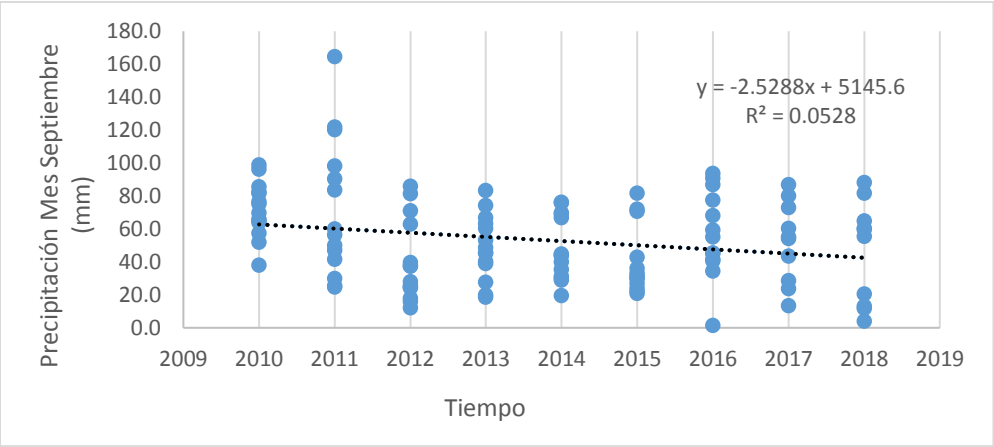


Figura 26. *Comportamiento en el mes de Septiembre en diferentes años.*

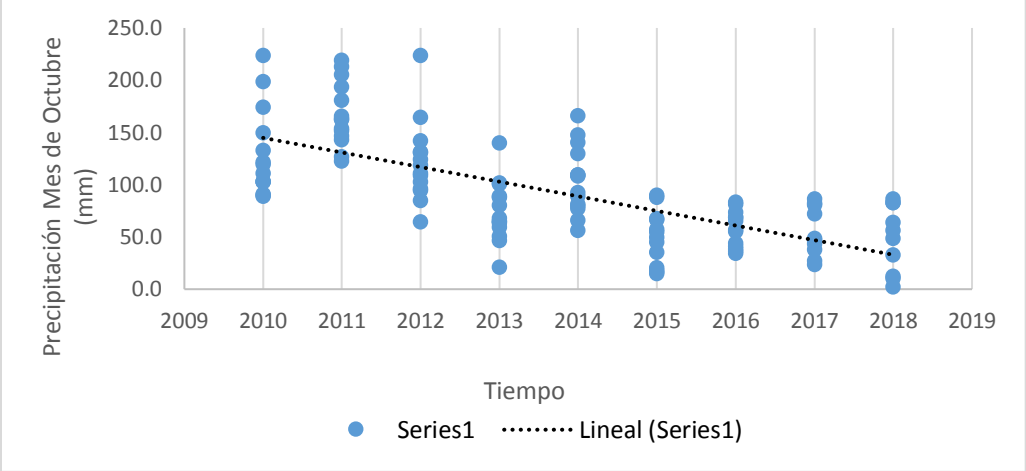


Figura 27. *Comportamiento en el mes de Octubre en diferentes años.*

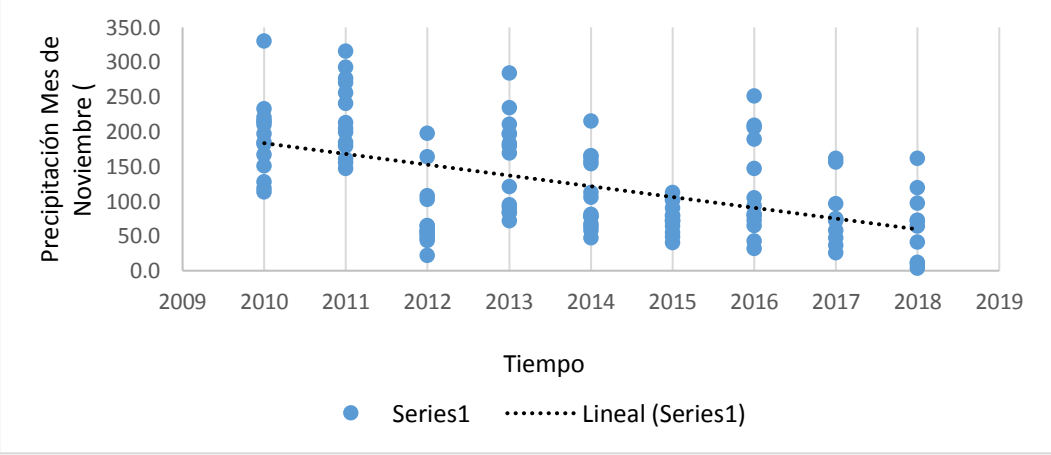


Figura 28. *Comportamiento en el mes de Noviembre en diferentes años.*

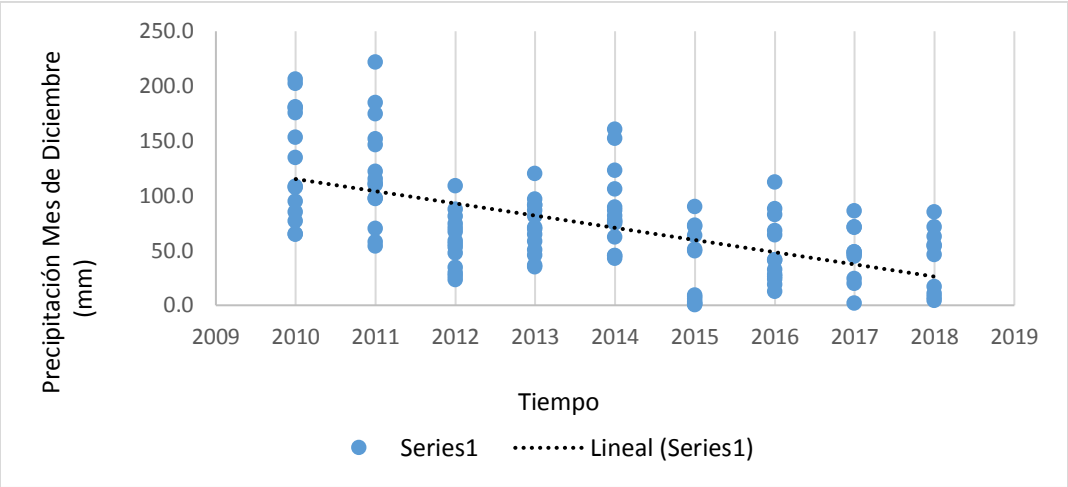


Figura 29. *Comportamiento en el mes de Noviembre en diferentes años.*

Las gráficas del comportamiento mensual de las estaciones en la variable temperatura a través de los años son las siguientes:

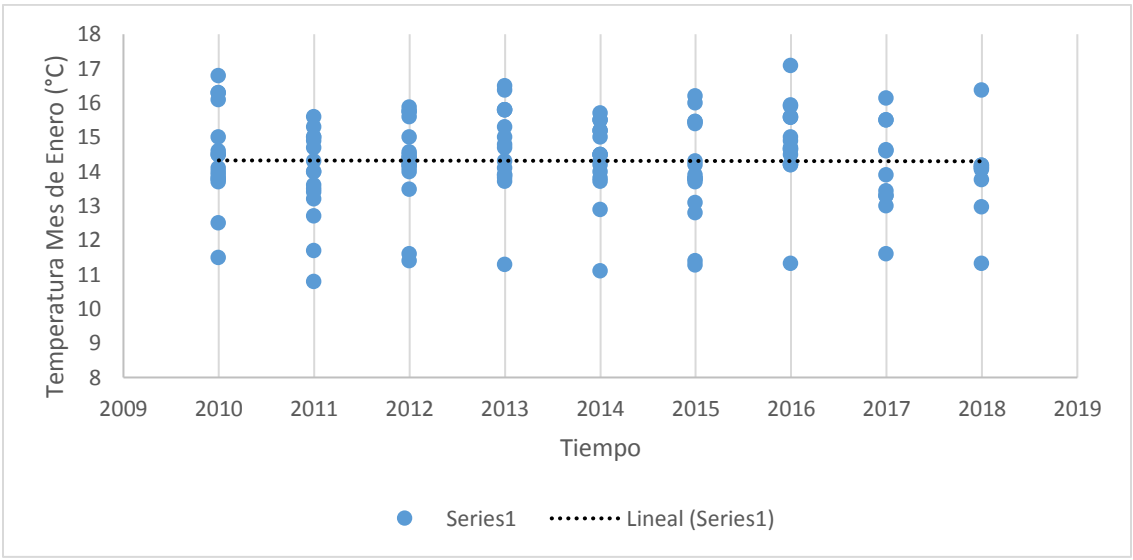


Figura 30. *Comportamiento en el mes de Enero en diferentes años.*

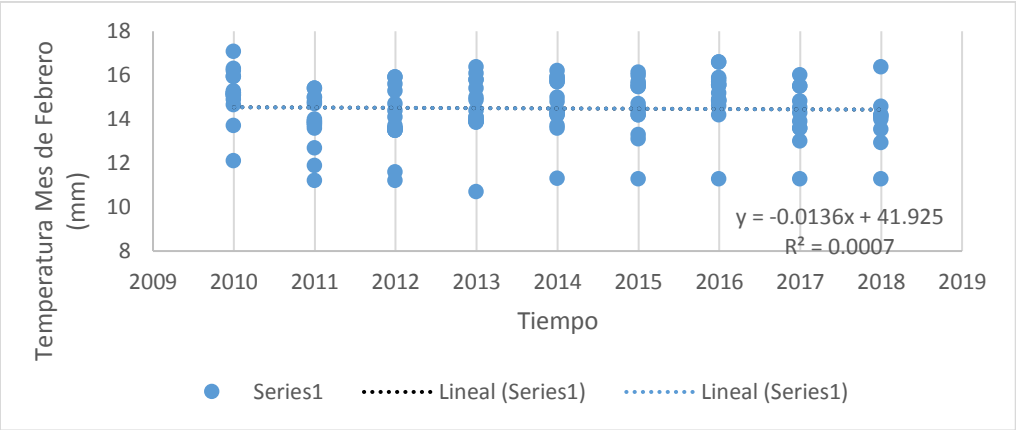


Figura 31. *Comportamiento en el mes de Febrero en diferentes años.*

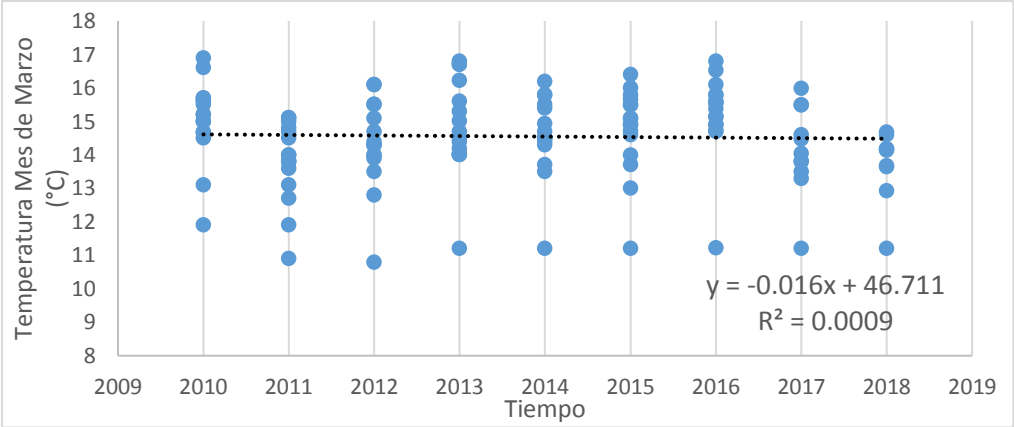


Figura 32. *Comportamiento en el mes de Marzo en diferentes años.*

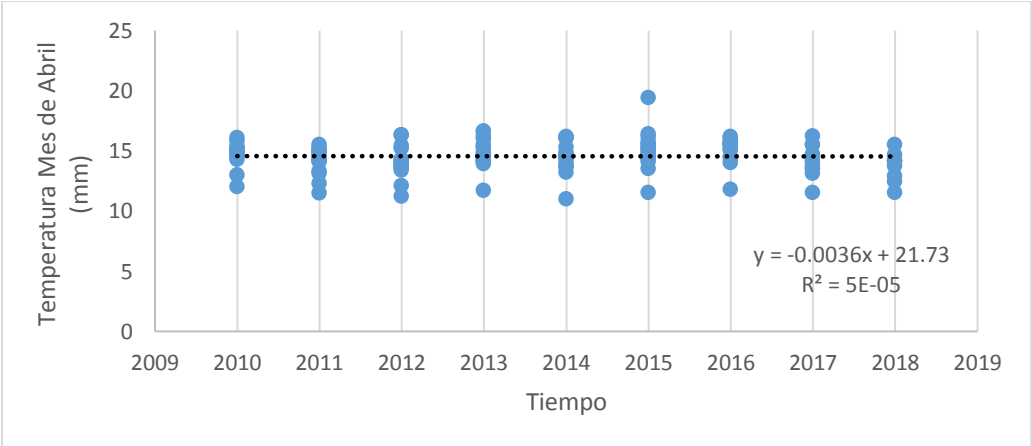


Figura 33. *Comportamiento en el mes de Abril en diferentes años.*

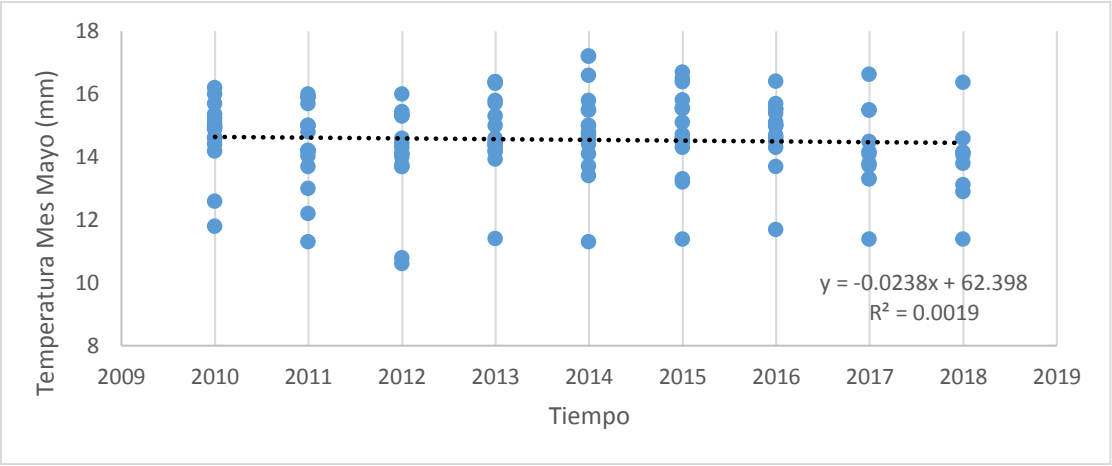


Figura 34. *Comportamiento en el mes de Mayo en diferentes años.*

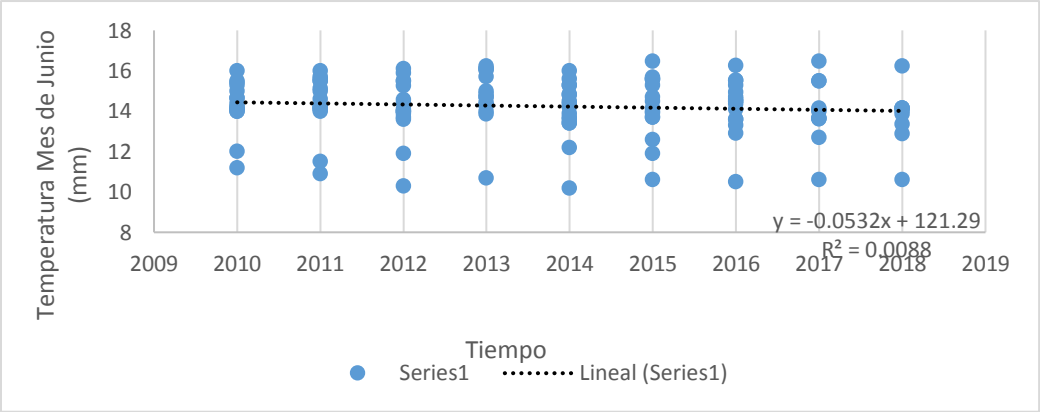


Figura 35. *Comportamiento en el mes de Junio en diferentes años.*

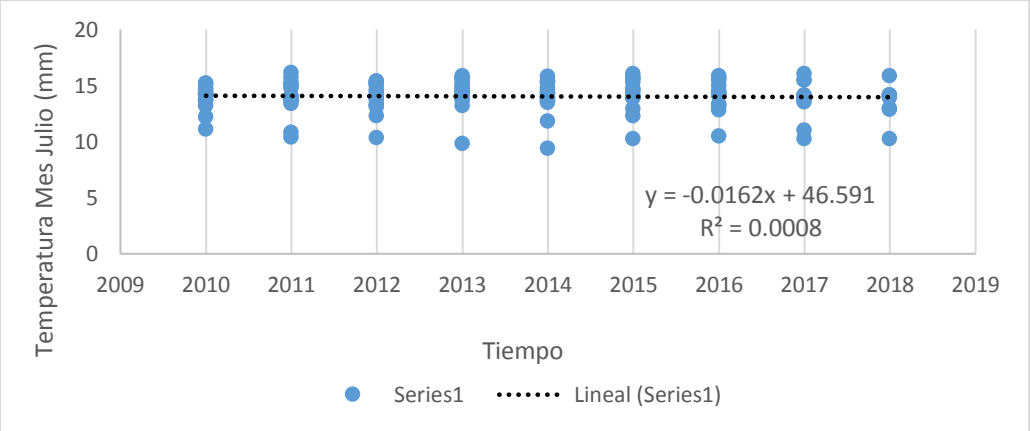


Figura 36. *Comportamiento en el mes de Julio en diferentes años.*

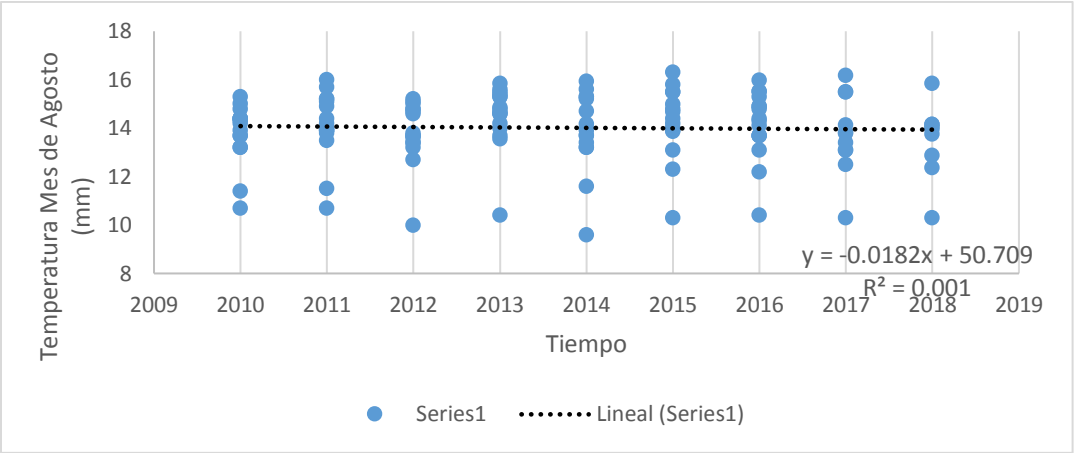


Figura 37. *Comportamiento en el mes de Agosto en diferentes años.*

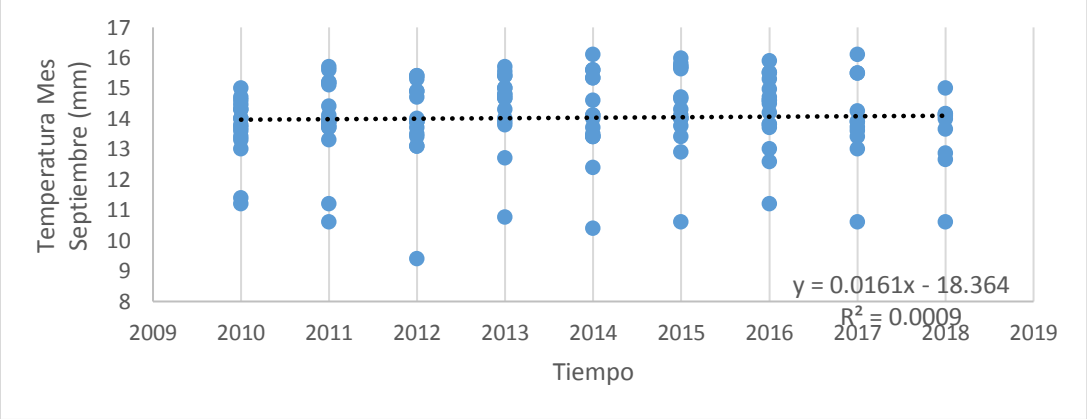


Figura 38. *Comportamiento en el mes de Septiembre en diferentes años.*

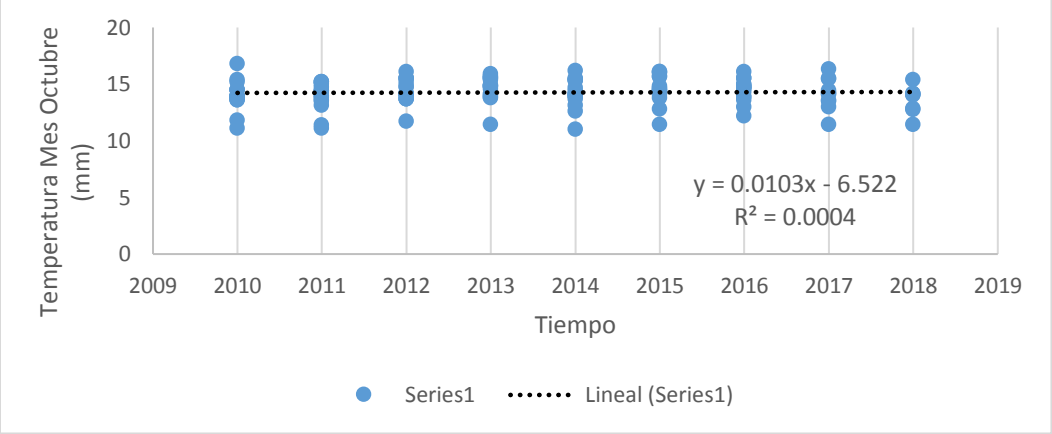


Figura 39. *Comportamiento en el mes de Octubre en diferentes años.*

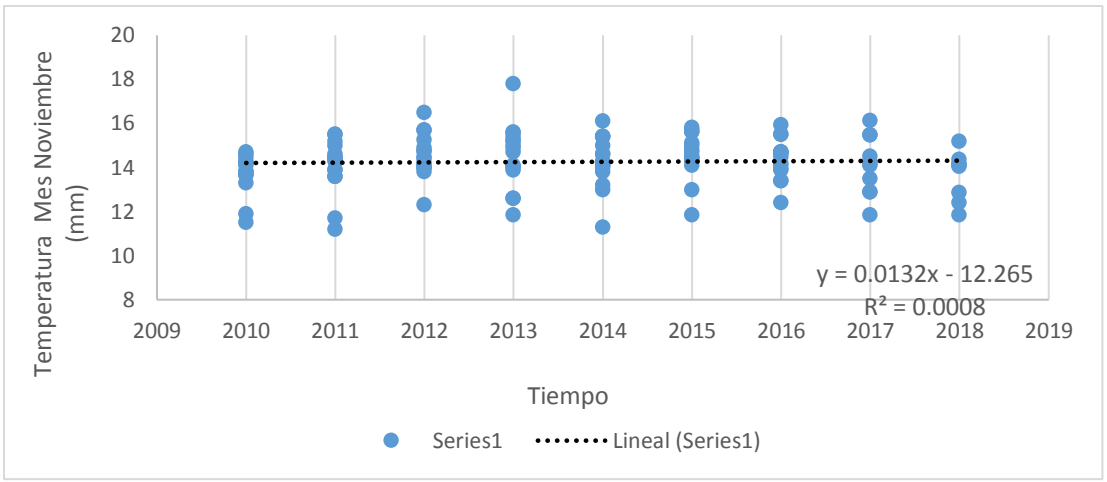


Figura 40. *Comportamiento en el mes de Noviembre en diferentes años.*

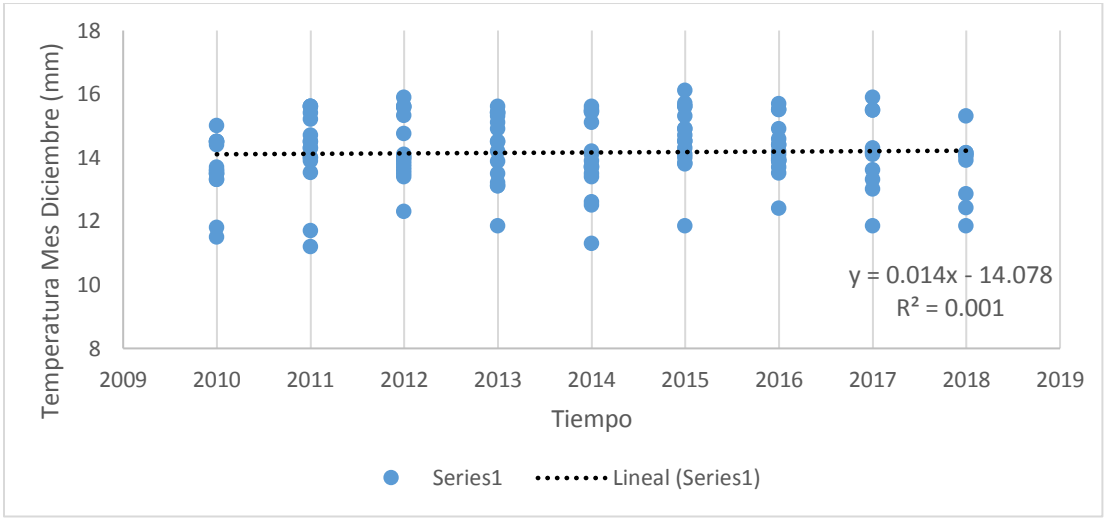


Figura 41. *Comportamiento en el mes de Diciembre en diferentes años.*

Las series de tiempo realizadas para cada estación meteorológica muestran un comportamiento diferente para cada mes del año, las alteraciones climáticas afectan el comportamiento periódico de la precipitación y con cada una de las gráficas se muestra que al pasar los años el comportamiento de la precipitación ha sido diferente, disminuyendo la cantidad mensual y anual total de la precipitación. En el año 2011 se presentó el fenómeno de la Niña el cual modifica las estadísticas para esta variable y a su vez alteró el ciclo de temperatura presentada en Bogotá. Igualmente, para el año 2015 Colombia fue afectada por el fenómeno del Niño alterando la temperatura.

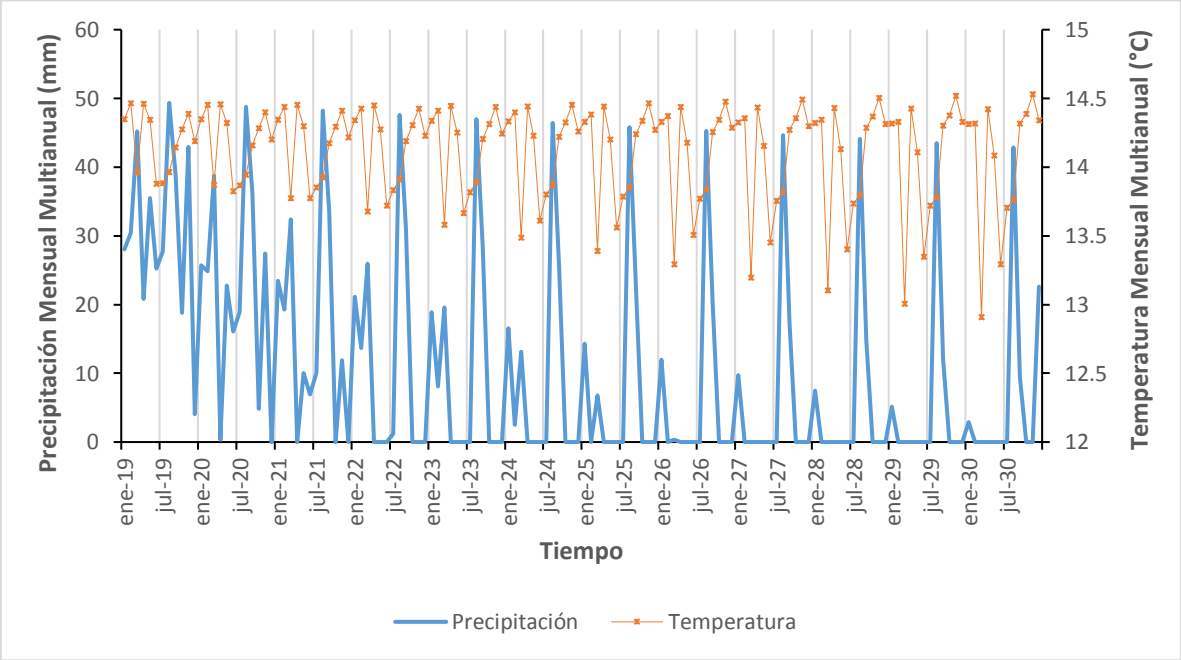


Figura 42. *Proyección de variables Precipitación y Temperatura.*

Las gráficas muestran que las proyecciones de datos con una ecuación de regresión lineal son inapropiadas para hacer procesos de predicción, pues al realizarla se alcanzan a obtener valores negativos en corto tiempo, lo cual sería irracional, pues bien, los estudios que han sido realizados muestran una disminución considerable de precipitación, pero no alcanza a tener cambios tan drásticos en tan corto tiempo. Para la proyección de datos en años posteriores es necesario utilizar otros modelos de proyección de datos como el modelo Arima, el cual es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos con el fin de encontrar patrones para una predicción al futuro.

Comparación de años con variabilidad climática

Los cambios climáticos presentados durante el periodo comprendido entre los años 2010 al 2018 muestra la alteración que se tuvo respecto a las dos variables de estudio. El comportamiento de estas variables se presenta en la siguiente gráfica.

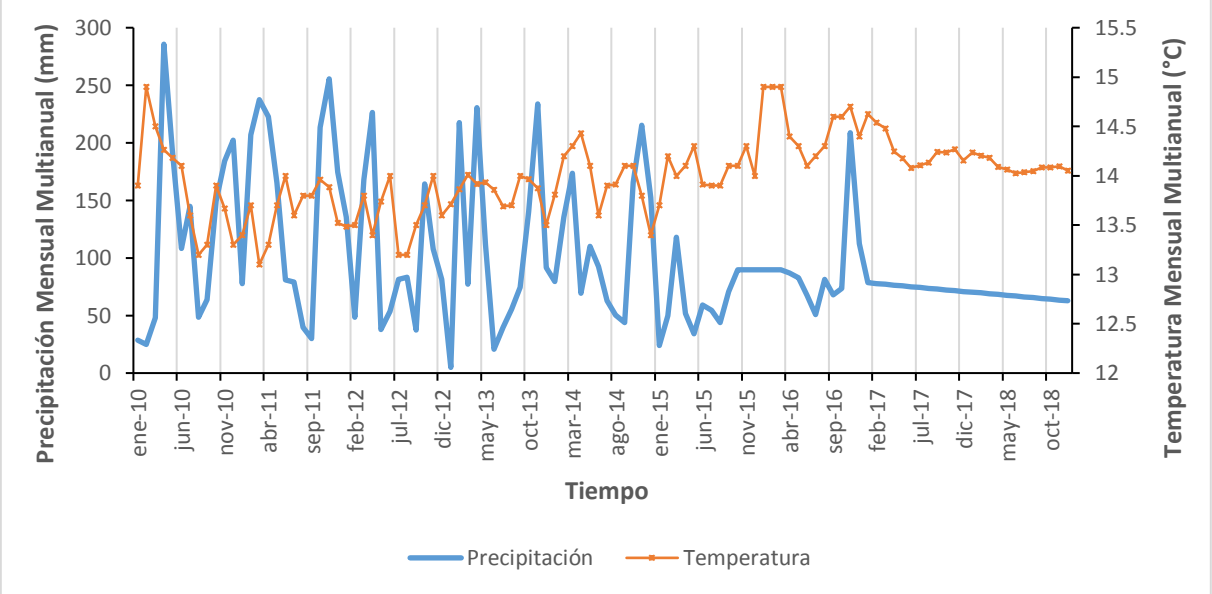


Figura 43. *Proyección de variables Precipitación y Temperatura.*

Deterioro del Pavimento con los Factores Climáticos como Temperatura y Precipitación

Conocer los efectos que el cambio climático produce en los pavimentos resulta de gran utilidad, puesto que representa una ventaja frente a esta problemática que afecta el desempeño de los materiales, la estructura del pavimento y los métodos de diseño. La implementación de estrategias elaboradas a partir del conocimiento de los daños asegura la adaptación de los pavimentos a las variables climáticas que han presentado un aumento con el paso de los años. Aunque cada vez resulta más incierto la predicción del clima, los efectos a corto plazo no dejaran de afectar el pavimento. Factores como: el material, la estructura del pavimento, el tránsito, la geología y la topografía son algunos de los principales factores causantes de deterioro. Aunque el cambio climático no es el causante de daños, produce que estos aceleren su proceso de daño (Mendoza J. Marcos O, 2017).

La temperatura es uno de los agentes ambientales que influye directamente sobre el comportamiento de los pavimentos modificando su rigidez, acelerando su deterioro debido al calentamiento prolongado o el congelamiento, que al aumentar la rigidez provoca agrietamiento. Las intensas precipitaciones dañan la capa asfáltica que recubre el pavimento e incrementa la erosión del suelo, volviéndolo más susceptible permitiendo la entrada de agua en las diferentes capas del pavimento, cuando el agua entra al pavimento y este se ve expuesto al congelamiento y descongelamiento, se produce la expansión y contracción generando tensión dando como resultado el agrietamiento por toda la estructura (Mendoza J. Marcos O, 2017).

A continuación, son mencionados los principales daños causados por las variables climáticas de temperatura y precipitación:

1. **Fisuras:** Causadas por fenómenos térmicos, el agrietamiento por temperaturas extremas se genera cuando el esfuerzo, en este caso la baja temperatura, es superior a la resistencia de la mezcla, generalmente se produce con temperaturas menores a -7°C. En el caso de la fatiga térmica, si se generan cambios en los esfuerzos internos por el aumento de la temperatura, y si estos son mayores a la resistencia de la mezcla se genera el agrietamiento del pavimento, este último ocurre entre -7°C y 21°C.

   La evolución de estas fisuras se produce cuando el agua entra en la estructura del pavimento, afectando la resistencia de este.

2. **Ahuellamiento:** Es uno de los principales daños generados por las altas temperaturas, deformando de forma vertical y permanente la estructura del pavimento, creando delgadas depresiones longitudinales a lo largo del tramo.

3. **Exudación:** Es una falla del pavimento flexible, se produce cuando la mezcla asfáltica tiene un exceso de asfalto, el ligante a causa de las altas temperaturas puede salir a la superficie, afectando la resistencia al deslizamiento.

Conclusiones

1. La incertidumbre en los futuros comportamientos de las variables climáticas es una limitación respecto a la adaptación del cambio climático en los diferentes sectores que se ven afectados por ello, sin embargo, con la información de periodos de tiempo reciente se puede hacer una estimación de daños a corto plazo para mejorar las prácticas de mantenimiento de los pavimentos.

2. Los cambios climáticos obligan al constante mejoramiento de las técnicas de pavimentación, ahora es necesario considerar las variaciones climáticas para elevar la calidad y asegurar el buen funcionamiento y la vida útil de las carreteras.

3. El comportamiento de la precipitación de Bogotá está concentrado en la zona centro y norte de la ciudad, como claro ejemplo representado en el mapa elaborado, en el año 2011 donde se presentó el fenómeno de la Niña se analiza el aumento de precipitación que hubo respecto a los demás años.

4. Para el cálculo de la proyección de datos futuros en las variables precipitación y temperatura no es adecuado el uso de los métodos estadísticos tradicionales, puesto que no llegan a una representación climática correcta respecto a los estudios realizados previamente por entidades encargadas.

Bibliografía

- Rama Labrador F, 2006, Estudio sobre la conservación de pavimentos urbanos y de sus deterioros, Breve reseña histórica, pp. 1-22, Recuperado de http://www.franciscorama.com/autor.html

- Redondo N, 2015, Scribd, Historia de los pavimentos en Colombia, Recuperado de https://es.scribd.com/document/283739042/Historia-de-Los-Pavimentos-en-Colombia#user-util-view-profile

- Pérez G, 2005, Banco de la Republica, La Infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia, Recuperado de http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-64.pdf

- Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2018, Estado de la red vial, Recuperado de la base de datos de INVIAS

- Mendoza J. Marcos O., 2017, Congreso Mexicano de asfalto, El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros, Recuperado de http://www.amaac.org.mx/archivos/26_el_efecto_del_cambio_climatico_en_los_pavimentos_carreteros_jfm.pdf

- Instituto de Desarrollo Urbano- IDU, Estado de la malla vial arterial a 31 de diciembre de 2013, Recuperado del portal web https://www.idu.gov.co/page/inventario-malla-vial

- Castaño C. Vías, 2002, bosques y conflicto social en Colombia, Recuperado en línea de: http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/01993/10.pdf
- Osorio I. 2013, Breve Reseña Histórica de las Vías en Colombia, Universidad Cooperativa de Colombia, Recuperado en línea de: https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/880/777

- Rondón H. Reyes F. González L. Vásquez E., 2012, Ahuellamiento en mezclas asfálticas, pp. 13-17, Recuperado de http://editorial.udistrital.edu.co/contenido/c-8.pdf

- Miranda R, 2010, Universidad Austral de Chile, Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos, Recuperado de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf

- Lombana L. Bernal N. Barrios J., 2018, Guía para el procesamiento de series de tiempo de precipitación y temperatura: estimación de datos faltantes, detección de cambios y homogeneización, Procesamiento de datos en Excel, SPSS, TSW y Ainclim, Recuperado de http://editorial.udistrital.edu.co/contenido/c-1095.pdf

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011, Análisis del impacto del fenómeno de la Niña, La Niña 2010-2011 en la Hidroclimatologia del País, Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a
- Montealegre J, 2014, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales , Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico, Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o+-+La+Ni%C3%B1a.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d