



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias en Recursos Hídricos y Ambiental

**“Variación espacio-temporal de la temperatura y precipitación en la cuenca del
Río Querétaro”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Franco Guerrero Orozco

Dirigido por:

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

SINODALES

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

Presidente

Dr. Humberto Suzán Azpiri

Secretario

Dr. Carlos Fuentes Ruiz

Vocal

Dr. Alfonso Gutiérrez López

Suplente

M. en C. Gerardo Nuñez González

Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González

Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco

Director de Investigación y

Posgrado

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Junio de 2012

México



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias en Recursos Hídricos y Ambiental

**“Variación espacio-temporal de la temperatura y precipitación en la cuenca del
Río Querétaro”**
TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Franco Guerrero Orozco

Dirigido por:

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

SINODALES

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

Presidente

Firma

Dr. Humberto Suzán Azpiri

Secretario

Firma

Dr. Carlos Fuentes Ruiz

Vocal

Firma

Dr. Alfonso Gutiérrez López

Suplente

Firma

M. en C. Gerardo Nuñez González

Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González

Director de la Facultad

Dr. Irineo Torres Pacheco

Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Junio de 2012

México

RESUMEN

Se realizó un análisis de la variación en el espacio y tiempo de las variables climatológicas temperatura máxima, mínima y precipitación acumulada a escala mensual dentro de la cuenca del Rio Querétaro para el periodo 1961-2011. Se seleccionaron 6 estaciones ubicadas dentro de la cuenca que contaran con un periodo de registro de al menos 25 años de registro. Se creó una base de datos sólida utilizando el método de interpolación Kriging ordinario para el llenado de datos faltantes con la ayuda de al menos tres estaciones cercanas que tuvieran como distancia lejana máxima 25km de la estación interpolada. Se obtuvieron los estadísticos media, desviación estándar, curtosis y sesgo para cada una de las variables climatológicas. Con la ayuda del estadístico no paramétrico de Mann-Kendall se determinó la tendencia para cada una de las variables climatológicas y su magnitud con la ayuda del estadístico de Sen. Se realizó un análisis mediante la construcción de modelos ARMA (p,q), con base en el criterio de Akaike (AIC) y el criterio final del error (FEC), la elaboración de modelos con el mejor ajuste para cada una de la variables climatológicas. Para el estudio espacial se determinó la isla de calor urbana (UHI) tomando como estación de la zona urbana la estación 22045 perteneciente a Juriquilla, Qro. y se comparó con la estación 22029 perteneciente al Huimilpan, Qro. Los resultados se corroboraron mediante una relación cruzada mediante los datos observados para el periodo 2010-2011 comparados contra los predichos por los modelos ARMA para el mismo periodo de tiempo, obteniendo una excelente correlación.

(PALABRAS CLAVE: Kriging Ordinario, Mann-Kendall, SenSlope, ARMA (p,q), isla de calor urbana, variograma)

SUMMARY

An analysis of the variation in time and space weather variables maximum temperature, minimum and monthly accumulated precipitation level in the basin of Rio Queretaro for the period June 1980-2011. Selected stations located within the watershed have a period of record of at least 25 years of record. We created a solid database using ordinary Kriging interpolation method to fill missing data with the help of at least three nearby stations that had the maximum 25km distance away from the station obtained the basic statistical interpolated. Mean, standard deviation, kurtosis and skew for each weather variable. With the help of statistical non-parametric Mann-Kendall trend was determined for each of the climatic variable and magnitude with the help of statistical Sen. An analysis by modeling ARMA (p,q), based on the Akaike criterion (AIC) and the final criterion of error (FEC), the development of models with the best fit for each of the variable conditions. For the study we determined the spatial urban heat island (UHI) against urban station 22045 station belonging to Juriquilla, Queretaro and compared with the station belonging to Huimilpan 22029, Queretaro. The results were corroborated by a cross connection with the observed data for the period 2010-2011 compared against those predicted by the ARMA models for the same period of time, obtaining an excellent correlation

(Key words: Ordinary Kriging, Mann-Kendall, Sen Slope, ARMA (p,q), Urban heat island, variogram)

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme brindado una beca para poder llevar a cabo mis estudios de posgrado participando como parte del Plan de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Querétaro por medio del convenio 00108173.

Al Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos por haberme brindado su apoyo y tutoría para poder llevar a cabo este proyecto y brindarme la oportunidad de poder realizar estudios de Posgrado.

Al Dr. Carlos Fuentes Ruiz por haberme adoptado como asesorado y brindarme siempre su apoyo y paciencia como tutor y amigo.

Al Dr. Humberto Suzán por haber aceptado participar como sinodal de esta tesis.

Al Dr. Alfonso Gutiérrez por su apoyo para el desarrollo de esta tesis.

Al M. en C. Gerardo Nuñez por sus útiles consejos y apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros Noé, Eduardo, Alberto, Israel, Juan Manuel por haberme apoyado a la realización de la tesis, en la recolección de datos y sus consejos en la elaboración de esta tesis.

A mis compañeros de cubículo y de laboratorio por haberme brindado su amistad y apoyo en mi estancia en el laboratorio de Hidráulica.

DEDICATORIAS

A mis Padres Francisco Nicolás Guerrero Silva y Martha Silvia Orozco Jiménez
por su apoyo a lo largo de toda mi vida

Índice General

	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIAS.....	4
Índice General.....	5
Índice De Tablas	7
Índice de Figuras	9
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1. 1 Antecedentes	11
1.2 Justificación	13
1.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos	14
1.5 Objetivos Particulares	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1 El cambio climático.....	15
2.2 Las series temporales	¡Error! Marcador no definido.
2.2 Identificación y detección de cambios climáticos	15
2.3 La isla de calor	17
III. METODOLOGÍA	20
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	20
3.2 Datos disponibles para el estudio	21
3.3 Análisis de la Tendencia.....	23
3.3.1 La prueba de tendencias de Mann-Kendall.....	23
3.4. Modelos ARMA	24
3.4.1 Proceso Autorregresivo.....	24
3.4.2 Proceso de media móvil.....	25
3.4.3 Proceso Autorregresivo y de media móvil (ARMA).....	25
3.5 Análisis de Autocorrelación	25

IV. RESULTADOS	30
Conclusiones	67
Referencias.....	69
Anexo 1	73

Índice De Tablas

Tabla		Página
3.1	Estaciones utilizadas en el análisis histórico	17
4.1	Base de datos de temperatura promedio máxima mensual de la estación 22004 El Batán, Querétaro	25
4.1.2	Base de datos de temperatura promedio mínima mensual de la estación 22004 El Batan Querétaro.	26
4.1.3	Base de datos de precipitación acumulada mensual de la estación 22004 El Batan Querétaro.	26
4.21	Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22004 y 11144	28
4.22	Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22006 y 22029	29
4.23	Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22045 y 22058.	30
4.24	Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22004 y 11144	31
4.25	Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22006 y 22045	32
4.25	Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22006 y 22045	33
4.26	Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 220058 y 22029.	34
4.27	Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22004 y 11144.	35
4.28	Estadísticas descriptivas de la precipitación acumulada para las estaciones 22004 y 11144.	36
4.29	Estadísticas descriptivas de la Precipitación acumulada para las estaciones 22006 y 22029.	37
4.3	Estadísticas descriptivas de la Precipitación acumulada para las	37

estaciones 220045 y 22058.

4.31 Resumen de parámetros ARMA para temperatura máxima

38

Índice de Figuras

Figura		Página
2.1	Generación de la isla de calor	15
3.1	Cuenca del Rio Querétaro	16
4.1	Distribución espacial de la temperatura máxima promedio de izquierda a derecha primavera, verano, otoño e invierno	39
4.2	Serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura máxima de la estación 22045	41
4.3	Sserie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura máxima de la estación 22045	42
4.4	Serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral y FACPmuestral de la estación 22045	43
4.5	ARMA(5,5) para los valores obtenidos para la estación 22045	44
4.6	Serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura máxima de la estación 22004	44
4.7	Serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral y FACPmuestral de la estación 22004	45
4.8	Proyección de la serie ARMA(5, 5) para los valores obtenidos para la estación 22004	45
4.9	Valores Modelados vs observados para temperatura máxima de la estación 22006	46
4.10	Correlación entre los valores obtenidos vs los modelados para un periodo conocido dic. 2000-dic2003 de la estación 22006	46

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente se tiene la noción generalizada de que el clima está cambiando y que por consiguiente esto puede presentar alteraciones en el estilo de vida para la humanidad y los seres vivos. Si bien, algunos investigadores han demostrado como estas variaciones climáticas han afectado a escalas globales, también existen variaciones a escalas locales, como la variación espacial en la cobertura de nieve (Changchun et al., 2007), cambios en la distribución y estancia de las aves (Maclean et al., 2008), así como distintos cambios en diferentes regiones del planeta.

Las variaciones climatológicas en el planeta se atribuyen a diferentes causas principalmente a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. Los cambios climáticos representan las condiciones atmosféricas en un periodo de tiempo suficientemente largo, refiriéndose normalmente al estado medio de las variables atmosféricas como precipitación y temperatura.

La Organización de las Naciones unidas (UN, 1997) define el clima como “el conjunto de los elementos atmosféricos y sus variaciones en un periodo dilatado de tiempo”. Normalmente se toman en consideración las variables de superficie como son la temperatura, la precipitación y el viento. El periodo mínimo propuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para determinar si ha existido una variación climática es de 30 años.

Una de las primeras preguntas que se pueden realizar el cual es la diferencia entre calentamiento global y el cambio climático. Esta pregunta es respondida en el cuarto reporte del IPCC (IPCC, 2007), en el cual se indica que el calentamiento global “hace referencia al aumento gradual, observado o previsto, de la temperatura mundial en la superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropogénicas”. Mientras que el cambio climático es definido como “una

variación del estado del clima, que puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera (IPCC, 2007).

La variación de la temperatura en las zonas conurbadas ha venido en aumento cuando se tiene una rápida expansión demográfica y con grandes actividades industriales (Rizwanet *al.*, 2008).

Este aumento de temperatura se ha evaluado en diversas regiones como el mediterráneo (Hertig y Jacobeit, 2008), los trópicos (Jauregui, 1992), entre otras, en donde se ha demostrado que poblaciones que tienen un rápida expansión demográfica reportan un aumento de la temperatura constante de acuerdo con las escalas globales reportadas.

Los efectos convectivos que provoca el cambio de uso de suelo y la urbanización no solamente afectan a la precipitación, sino de igual manera a la temperatura del aire (Garcia-Cueto y Tejeda-Martinez, 2009). La variabilidad de la temperatura del aire en zonas metropolitanas está relacionada con el desarrollo demográfico de las mismas. Esto se puede demostrar en ciudades como León, Chihuahua, Torreón y la Cd. De México, en donde se contó con un rápido crecimiento demográfico y superan los 100 000 habitantes (Jauregui, 2005).

En el año 2000 había que en México más de 69 ciudades que rebasan los 100 000 habitantes, por lo que es necesario conocer los efectos que pueden tener localmente.

El efecto del aumento de la temperatura en las ciudades es conocido como la isla de calor urbana. Las islas de calor urbanas se deben al desarrollo urbano e industrial.

En ciudades como Mexicali se ha venido evaluando el comportamiento de la temperatura, y de acuerdo a los análisis realizados en esta ciudad, se corrobora que la temperatura ha venido en aumento $0.66^{\circ}\text{C}/\text{década}$ a partir de 1950 (Garcia-Cueto *et al.*, 2009), Mexicali no ha sido la única ciudad dentro del país que ha venido

atravesando por esos cambios, de acuerdo a lo publicado por (Jauregui *et al.*, 1992), la ciudad de Guadalajara ha aumentado sus temperatura promedio anual en 0.03°C a partir de las mediciones realizadas desde 1930, de igual manera la ciudad de México ha mostrado aumentos de temperatura de durante los meses de temporada húmeda de 1 a 3°C (Jauregui, 1997).

Sin embargo los cambios en las temperatura no es el único fenómeno que está llevando consigo el cambio climático, las tendencias en la temporada de lluvias ha venido cambiando presentando sequias y lluvias extremas (Indrani *et al.*, 2009).

1.2 Justificación

El cambio en el comportamiento espacial y temporal de la temperatura se ha presentado de manera notoria en ciudades importantes del país tomando como ejemplo la ciudad de México (Jáuregui, 1991), León (Jáuregui, 1991), Guadalajara (Jáuregui *et al.*, 1992), donde variables como la elevación y topografía, entro otras características fisiográficas. De igual manera se tiene una afectación importante en el comportamiento de la precipitación (Carrera-Hernández y Gaskin, 2008).

La cuenca del Río Querétaro se caracteriza por un clima semiárido en el cual se tienen claramente diferenciadas la temporada de lluvias que es entre los meses de julio, agosto y septiembre.

La expansión demográfica de la zona urbana en la cuenca del Río Querétaro ha presentado cambios en los fenómenos climatológicos durante los últimos años, por lo que el análisis espacial y temporal de las variables temperatura y precipitación es de suma importancia para poder comprender el comportamiento de los fenómenos naturales que varían espacialmente influenciadas por el medio físico que las rodea.

1.3 Hipótesis

El cambio de uso de suelo ha modificado las características climáticas de la cuenca del Río Querétaro, creando modificaciones en el comportamiento espacio-temporal de la precipitación y temperatura en la cuenca del Río Querétaro.

1.4 Objetivos

Evaluar el comportamiento histórico (temporal) de la precipitación y la temperatura en la cuenca del Río Querétaro, así como la variación espacial, con el fin de obtener tendencias y patrones de respuesta al cambio climático.

1.5 Objetivos Particulares

- Analizar mediante series de tiempo la variación en espacio y tiempo de las variables la calidad y disponibilidad de las series de tiempo de temperatura y precipitación para la cuenca del Río Querétaro.
- Evaluar patrones y tendencias de la temperatura y precipitación a través del tiempo en la cuenca del río Querétaro.
- Realizar mediante modelos ARMA (p,q) predicciones para la creación de escenarios futuros en la cuenca del Río Querétaro.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cambio climático

El cambio climático es un fenómeno meteorológico que se está presentado a nivel mundial, y debido a los impactos que se representa es de suma importancia el conocimiento de sus efectos a distintas escalas. La mayoría de los modelos que crean escenarios climatológicos para los próximos años son hechos a escala global por lo que un estudio a nivel local es necesario para conocer los efectos dentro de una cuenca o a escala meso.

El organismo encargado de coordinar los esfuerzos internacionales es el intergovernmental panel on climate change que por sus siglas en inglés es conocido como IPCC. Dicho organismo es el encargado de brindar un reporte de estimación sobre los efectos actuales del cambio climático, así como de las medidas de adaptación y mitigación que se están llevando a cabo. Dicho organismo ha realizado cuatro publicaciones (1990, 1995, 2001, 2007).

El IPCC (2007) publicó una evaluación mundial a partir de los datos de 1970 que puso en evidencia que los impactos del cambio climático varían regionalmente y que estos incrementen con el paso del tiempo.

2.2 Identificación y detección de cambios climáticos

El uso de la estadística para la detección de anomalías en las series temporales ha sido una de las técnicas más utilizadas y no es una excepción el cambio climático. Algunos autores han utilizado los métodos estocásticos para poder realizar estudios sobre el comportamiento de series de tiempo hidrológicas (García-Barrón y Pita, 2004; Gemmeret *et al.*, 2004).

En series de tiempo una de los parámetros más utilizados para detectar tendencias es el uso del estadístico de Mann-Kendall; este ha sido empleado para determinar en tendencias en series de tiempo hidrológicas en comparación de otros estadísticos como la prueba t (Önöz, Bayazit 2003; Yue y Wang, 2004), mostrando resultados confiables.

El uso de series de tiempo ha sido vital para el análisis de las variaciones climáticas en todo momento. En análisis de series de tiempo, la metodología de Box-Jenkins, aplica modelos autorregresivos de media móvil para encontrar el mejor ajuste a una serie de tiempo para valores pasados de dicha serie de tiempo y poder realizar pronósticos a través de esta (Box y Jenkins, 1976). El uso de estas metodologías se ha tomado como una medida para la realización de pronósticos tanto en hidrología, finanzas y análisis de señales.

Una de las maneras de seleccionar el mejor modelo ARMA que se pueda ajustar a nuestra distribución es mediante el principio de Akaike. La selección del mejor modelo de ajuste fue explicado en sus artículos publicados en la década de los 70's (Akaike, 1970, 1971, 1974), obteniendo así el mejor modelo de ajuste para el modelo deseado. En hidrología esta técnica ha sido aplicada por Padmanabhan y Rao (1982), utilizando como base dicho criterio para poder seleccionar el orden de los modelos ARMA, que describen de una mejor manera el comportamiento de las series temporales.

Los modelos de Box-Jenkins, en conjunto con el análisis espectral de igual manera se han utilizado en series temporales de temperaturas máximas y mínimas, analizando su comportamiento en una red de observatorios en la cuenca del valle de Puebla (Matlacuatzi, 2006).

Un estudio realizado por Burlando *et al.* (1993) utiliza los modelos autorregresivos con media móvil para poder realizar predicciones en las precipitaciones ocurridas a escala horaria, tomando como base la hipótesis en algunos como los procesos de precipitación horaria son equivalentes a ciertos puntos en un modelo ARMA de bajo orden

Los escenarios creados no son un pronóstico ni una extrapolación de tendencias históricas; describen un futuro posible, internamente coherente y no asignan probabilidades de producirse

2.3 La isla de calor

La variabilidad de la temperatura se analiza para determinar indicios de desviaciones significativas de las características de medio a largo plazo principalmente en grandes ciudades. Los análisis revelan una tendencia de años cálidos, con el verano más cálido de manera significativa y los períodos de primavera y el invierno ligeramente más caliente.

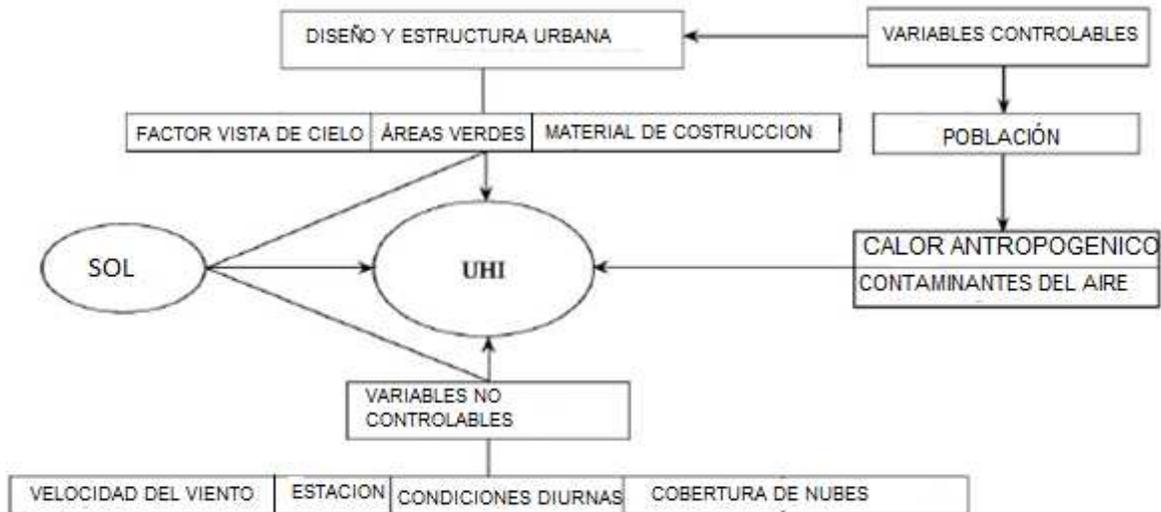
La isla de calor es la respuesta de muchos factores interactuando entre sí. Dichos factores pueden clasificarse como controlables e incontrolables. Estos factores pueden ser categorizados con variables de efecto temporal (velocidad del viento, cobertura de nubes, etc), de efecto permanente (áreas verdes, edificios, etc) y cíclicas (cantidad de radiación solar, fuentes calor antropogénicas), como se muestra en la Figura 2.1.

La capacidad de liberación de calor por radiación de onda larga en las ciudades es baja debido a la disminución de visión del cielo que se traduce en el almacenamiento de calor en estructuras de los edificios. El albedo, la luz reflejada en comparación con la luz incidente, también es muy bajo en las ciudades debido a las configuraciones típicas de las calles, y es una de las principales razones de la alta temperatura del aire.

El estudio de la isla de calor ha sido realizado en el país en algunas ciudades grandes como Guadalajara (Jauregui, 1992), la ciudad de México (Jauregui, 1997), y Mexicali (Garcia-Cueto y Tejeda-Martinez, 2009).

Estos resultados sugieren que la urbanización, al igual que en muchas otras ciudades del mundo, afecta de manera importante al clima local, afectando la calidad de vida dentro de las mismas.

FIGURA2.1 Generación de la isla de calor (Rizwanet *al.*, 2007)



La isla de calor está definida como la diferencia de temperatura entre una zona urbana y una zona rural. Los factores que la llegan a generar se pueden clasificar como de efecto transitorio como la velocidad del aire y la nubosidad; variables de efecto permanente tales como áreas verdes, materiales de construcción; factores de vista del cielo y efectos cíclicos como la radiación solar y las fuentes antropogénicas de calor.

La isla de calor urbano se determina calculando la temperatura espacialmente promediada de la diferencia entre las áreas urbanas y sus alrededores. Este concepto cubre un margen muy amplio de ideas incluidas la diferencia entre las bien desarrolladas zonas urbanas y áreas con diferentes características de construcción.

La comparación entre el valor medio y el valor máximo de la temperatura entre las zonas urbanas y las zonas rurales es llamado como a intensidad promedio de la isla o intensidad máxima de la isla. Los tiempos de comparación suelen ser estacionales, diarios, mensuales o anuales (Velazquez-Lozada et al 2006). La selección de días

usualmente consiste en días claros y noches tranquilas que minimicen el efecto de las variables temporales

III. METODOLOGÍA

3.1 Descripción de la zona de estudio

El estado de Querétaro se encuentra localizado entre los puntos $21^{\circ} 40'$, al sur $20^{\circ} 01'$ de latitud norte; al este $99^{\circ} 02'$ y al oeste $100^{\circ} 36'$ de longitud oeste. A su vez el estado de Querétaro colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí; al este con San Luis Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo; al oeste con Guanajuato. Dentro de este estado se encuentra localizada la zona de estudio “la cuenca del Río Querétaro”. La cuenca del Río Querétaro se localiza entre los paralelos $20^{\circ} 55'$ y $20^{\circ} 16'$ de latitud Norte y $100^{\circ} 33'$ y $100^{\circ} 04'$ de longitud Oeste, con alturas que van desde los 1,780 hasta los 2,950 msnm. La cuenca del Río Querétaro, principal interés de este estudio, se extiende por los municipios de Querétaro, Corregidora, El Marqués y Huimilpan, cuenta con una superficie de 2135 km^2 y representa el 18.14 % del total de la superficie del Estado.

Figura 3.1 Cuenca del Río Querétaro



3.2 Datos disponibles para el estudio

Las fuentes de información son fundamentales para la realización de los análisis espaciales y temporales. Para realizar este estudio se utilizaron datos oficiales extraídos del programa ERIC III realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua(IMTA). El cual obtiene la información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional(SMN), de la Comisión Nacional del Agua(CNA) contenidos en la base del CLICOM tal como se encontraba en Agosto del 2005.

Para su análisis se seleccionaron un total de 36 estaciones meteorológicas pertenecientes a los estados de Querétaro (24), Guanajuato (11) y Michoacán (1). Se analizó cada una de las estaciones de manera que se seleccionaron seis estaciones meteorológicas cumplieran con características adecuadas para el estudio:

- Tiempo de registro mayor a 20 años.
- Pérdida de datos menor al 35%.
- Tiempo de registro entre los años 1980-2003.
- Registro de temperatura máxima, mínima, y precipitación acumulada.

TABLA 3.1 Estaciones utilizadas en el análisis histórico

Edo.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Alt
Gto.	11144	EL CHARAPE, S.JOSE ITURBIDE	-100.417	20.9	2200
Qro.	22004	EL BATAN, CORREGIDORA	-100.424	20.504	1880
Qro.	22006	EL PUEBLITO, CORREGIDORA	-100.448	20.522	1830
Qro.	22029	HUIMILPAN, HUIMILPAN	-100.281	20.384	2250
Qro.	22045	JURIQUILLA, QUERETARO	-100.459	20.704	1890
Qro.	22058	SANTA TERESA, HUIMILPAN	-100.303	20.492	2040

3.2.1 Interpolación de datos

Para poder utilizar las estaciones seleccionadas y poder realizar los análisis temporales y espaciales necesarios para ocupar el espacio de los datos faltantes le las diferentes estaciones. La opción que se eligió fue utilizar las estaciones vecinas para formar un polígono, pudiendo de esa manera utilizar el método de interpolación de Kriging Ordinario. La lista de estaciones vecinas se muestra en el anexo 1.

Los datos interpolados fueron temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Para los cuales se utilizó un mínimo de tres estaciones las cuales cumplían con las condiciones

- Distancia menor a 25 km de la estación a interpolar
- Existencia del dato faltante en el mismo periodo de tiempo

La interpolación de los datos históricos para cada estación se decidió en dos parte, la primera consistió en interpolar las temperaturas máximas y mínima, mientras la segunda consistió en interpolar solamente la precipitación.

Una vez seleccionadas las estaciones se realizaron búsquedas más a detalle por los datos faltantes de cada una de las estaciones la selección de esta para cada una de las interpolaciones. Esto se realizó mediante la programación de un algoritmo con ayuda del software Matlab.

Este algoritmo busca las fechas con ausencia de datos y las compara con las diferentes estaciones en las mismas fechas. Una vez localizadas estos datos se seleccionan las estaciones que estuvieran más cercanas y mediante las cuales se pudiera completar un polígono en el cual su centro fuese la estación

3.3 Análisis de la Tendencia

3.3.1 La prueba de tendencias de Mann-Kendall

Es una prueba no paramétrica la cual analiza las tendencias en una serie de tiempo sin especificar si esta es lineal o no. Considera las series de tiempo , $t=1, \dots, N$. Cada valor , $t=1, \dots, N-1$ es comparado con todos los valores subsecuentes de $t=t'+1, t'+2, \dots, N$, y una nueva serie es generada mediante:

$$\begin{aligned} z_k &= 1 && \text{si } y_t > y_{t'} \\ z_k &= 0 && \text{si } y_t \equiv y_{t'} \\ z_k &= -1 && \text{si } y_t < y_{t'} \end{aligned} \quad (1)$$

En el cual

$$k = \frac{(t'-1)(2N-t')}{2+(t+t')} \quad (2)$$

El estadístico de Mann-Kendall está dado por la suma de la series dónde:

$$S = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^N z_k \quad (3)$$

Este estadístico representa el número de diferencias positivas menos el número de diferencias negativas para todas las diferencias consideradas.

La prueba estadística para $N > 40$ se puede escribir como:

$$u_c = \frac{S + m}{\sqrt{V(S)}} \quad (4)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[\left(N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right) \right] \quad (5)$$

Donde $m=1$ si $S < 0$ y $m=-1$ si $S > 0$, n es el número de observaciones repetidas y es el número de datos iguales en el i -ésimo grupo. El estadístico se asume que sea cero cuando $S=0$. Por lo que la hipótesis de una tendencia positiva o negativa no puede ser rechazada bajo el nivel de significancia sé donde es el cuantil de la distribución normal.

3.4. Modelos ARMA

Box y Jenkins (1978) propusieron un modelo novedoso para la predicción de series de tiempo. Estos modelos son conocidos como ARIMA, estos modelos analizan las propiedades probabilística o estocásticas de las series de tiempo bajo la filosofía de “permitir que la información sea la que hable”.

3.4.1 Proceso Autorregresivo

En el proceso autorregresivo de orden p la observación actual es generada por un promedio ponderado de observaciones pasadas que se remontan p periodos, junto con una perturbación aleatoria en el periodo actual. Se denota este proceso como $AR(p)$ y la ecuación que lo describe es:

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \delta + u_t \quad (6)$$

Donde δ es un término constante que se relaciona con la media del proceso estocástico.

3.4.2 Proceso de media móvil

En el proceso de media móvil de orden q cada observación Y_t es generada por un promedio ponderado de perturbaciones aleatorias que se remontan q periodos. Se denota este proceso como $MA(q)$ y su ecuación respectiva es:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \dots + \beta_q u_{t-q} \quad (7)$$

El modelo de media móvil supone que las perturbaciones aleatorias están distribuidas en forma independiente a lo largo del tiempo, es decir, son generadas por un proceso de ruido blanco.

3.4.3 Proceso Autorregresivo y de media móvil (ARMA)

La mayoría de los procesos aleatorios no pueden modelarse como autorregresivos puros o de medias móviles puras, ya que tienen cualidades de ambos tipos de procesos. De esta forma, se pueden crear modelos mixtos autorregresivos de media móviles de orden p y q . Se denota este proceso como $ARMA(p, q)$ y se representa por la siguiente ecuación:

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \delta + u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_q u_{t-q} \quad (8)$$

3.5 Análisis de Autocorrelación

La autocorrelación es la correlación cruzada de una señal consigo misma. De manera informal, es la similitud entre observaciones en función de un tiempo de separación entre ellas. Es una herramienta matemática para localizar patrones repetitivos, como la presencia de una señal periódica la cual ha sido ocultada por ruido.

Es utilizada en la identificación de la ausencia de frecuencias fundamentales en una señal implicada por sus frecuencias armónicas.

La autocorrelación es un proceso aleatorio que describe la correlación entre valores de los procesos en diferentes puntos en el tiempo. La función está representada por :

$$R(s, t) = \frac{E[(X_t - \mu_s)(X_s - \mu_s)]}{\sigma_t \sigma_s} \quad (9)$$

Donde “E” es el valor esperado. Esta expresión para todas las series de tiempo o procesos, debido a que la varianza puede ser cero (para un proceso constante) o infinito. Si la función R está bien definida este valor debe estar dentro del rango $[-1,1]$, con 1 indicando una correlación perfecta y -1 indicando una anti-correlación.

Si X_t es un proceso estacionario de segundo orden entonces la media μ y la desviación estándar σ^2 son independientes del tiempo, y además la correlación depende de la distancia entre tiempos de los valores pero no de su posición de esta. Esto además implica que la autocorrelación puede ser expresada como una función del intervalo del tiempo como:

$$R(\tau) = \frac{E[(X_t - \mu)(X_{t+\tau} - \mu)]}{\sigma^2} \quad (10)$$

Semivariograma

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_{i+k} - Z_i]^2 \quad (11)$$

Autocorrelograma

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} [Z_{i+k} - Z_i]^2 \quad (12)$$

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} [(Z_{i+k} - \mu) - (Z_i - \mu)]^2 \quad (13)$$

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} (Z_{i+k} - \mu)^2 - \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} (Z_{i+k} - \mu)(Z_i - \mu) + \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} (Z_i - \mu)^2 \quad (14)$$

$$\gamma(k) = \sigma^2 - E[(Z_{i+k} - \mu)(Z_i - \mu)] \quad (15)$$

$$\frac{\gamma(k)}{\sigma^2} = 1 - \frac{E[(Z_{i+k} - \mu)(Z_i - \mu)]}{\sigma^2} \quad (16)$$

$$\gamma(k) = 1 - \rho(k) \quad (17)$$

$$\rho = \sigma(1 - \sigma) \quad (18)$$

Calculo del semivariograma

$$\gamma_k = \frac{1}{2(N-k)} \sum_{i=1}^{N-k} (Z_{i+k} - Z_i)^2 \quad (19)$$

Semivariograma Cruzado

$$\gamma_k = \frac{1}{2(N-k)} \sum_{i=1}^{N-k} (X_{i+k} - X_i)(Y_{i+k} - Y_i) \quad (20)$$

Correlación cruzada

$$\rho_k = \frac{\frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} (X_{i+k} - \mu_k)(Y_{i+k} - \mu_k)}{\sigma_{XY}^2} \quad (21)$$

En análisis de señales, la correlación cruzada es una medida de similitud entre dos ondas en función de un intervalo de tiempo aplicado a uno de ellas.

En la autocorrelación, la cual es la correlación cruzada de la señal con si misma, siempre habrá un poco a un desfase de cero a menos que la señal sea de ceros triviales.

En análisis de series de tiempo aplicado a las estadísticas, la correlación cruzada entre dos series de tiempo se describe a través de la covarianza cruzada normalizada. Que representan un par de procesos estocásticos que son estacionarios de forma conjunta.

La covarianza cruzada está definida por:

$$\gamma_{XY}(\tau) = E\left[(X_t - \mu_x)(Y_{t+\tau} - \mu_y)\right] \quad (22)$$

Donde μ_x y μ_y son las medias de X_t y Y_t respectivamente. Por lo que si $X_t = Y_t$ para toda t , entonces la función de correlación cruzada es simplemente la autocorrelación.

IV. RESULTADOS

4.1 Construcción de la base de datos

El problema de datos faltantes es una situación muy común cuando se trabaja con datos reales; desde el punto de vista estadístico hay diferentes métodos para estimarlos.

En este trabajo se propuso otra manera de estimarlos; consideramos que es conveniente verificar la efectividad de esta propuesta y compararla con los métodos ya conocidos.

La construcción de una base de datos para la cuenca del Río Querétaro se conformó de 6 estaciones. Se logró construir un periodo confiable de al menos 24 años mediante el uso del método de interpolación de Kriging ordinario. Las tablas obtenidas sirvieron como base para el análisis espacial y temporal de la cuenca. En las tablas 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 se muestra como está conformada la base de datos para la estación de 22004 perteneciente a El Batán, Querétaro. Esta base de datos se encuentra dividida en 3 partes: la primera corresponde a la temperatura promedio máxima mensual, la segunda corresponde a la temperatura promedio mínima mensual y la tercera corresponde a la precipitación acumulada mensual.

La base de datos se actualizo para la estación 22006 hasta el mes de junio de 2011 formando una base de datos de 51 años, mientras que las estaciones 22004 se logro actualizar a 46 años, la estación 22058 se logro actualizar a 28 años.

TABLA 4.1.1 Base de datos de temperatura promedio máxima mensual de la estación 22004 El Batan Querétaro

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1967	23.50	24.80	28.60	31.60	32.80	31.90	31.30	28.60	25.70	24.90	25.50	23.40
1968	23.70	23.10	26.10	29.50	31.30	28.30	26.50	27.00	25.70	25.90	25.10	22.60
1969	23.70	25.90	28.00	31.00	31.80	31.50	27.40	25.90	26.10	27.10	25.00	23.70
1970	23.00	23.70	28.40	32.10	31.10	28.30	26.50	26.40	25.50	27.30	24.30	24.80
1971	25.00	25.60	28.40	29.80	31.50	26.50	29.10	27.90	26.40	25.10	24.90	24.70
1972	23.80	25.50	28.20	35.10	36.10	31.80	26.00	26.80	27.60	26.60	25.80	24.00
1973	27.90	30.60	34.40	31.00	32.00	28.40	25.90	25.20	26.10	25.00	25.20	22.70
1974	24.30	25.00	28.70	29.40	31.00	27.80	24.90	26.40	25.20	23.90	24.50	24.20
1975	22.20	25.30	28.70	32.50	31.20	28.60	25.30	25.70	24.50	25.10	25.10	22.60
1976	23.40	24.80	28.50	29.90	29.80	28.90	24.90	25.10	25.60	24.00	21.60	23.10
1977	23.50	24.60	29.20	26.10	30.30	27.60	26.50	27.10	26.10	26.00	23.20	23.30
1978	22.30	21.70	25.40	29.00	30.80	27.50	27.20	25.90	24.90	24.00	25.10	24.00
1979	23.80	24.10	27.30	30.00	31.10	28.70	27.00	26.10	24.90	26.80	24.60	22.60
1980	24.00	23.60	26.57	28.64	30.11	28.41	26.53	26.58	26.00	25.38	24.85	24.01
1981	23.28	23.50	26.57	28.64	29.50	28.10	26.53	26.58	26.87	26.11	25.17	24.01
1982	24.75	25.77	28.42	31.36	30.10	31.68	27.30	27.40	27.20	25.50	24.29	23.80
1983	21.80	23.40	26.10	30.20	31.00	30.60	25.87	26.61	25.35	25.38	24.12	23.54
1984	24.60	25.40	26.90	27.80	28.10	27.70	24.30	24.70	22.90	25.30	25.20	24.00
1985	22.60	25.00	26.90	28.60	29.70	25.90	24.60	25.60	27.00	25.80	24.50	23.70
1986	22.80	24.60	24.90	30.10	30.80	25.80	25.40	28.04	28.32	27.26	26.68	22.90
1987	23.20	24.10	25.80	27.60	29.30	27.60	25.80	27.30	28.40	26.60	24.40	25.60
1988	23.00	25.60	25.90	28.90	32.50	29.70	26.50	25.60	25.50	25.70	26.90	25.40
1989	25.80	24.80	27.00	30.30	31.70	29.70	27.20	25.50	25.10	23.70	23.50	21.70
1990	23.80	22.90	24.90	26.10	27.10	28.00	25.20	25.22	26.00	26.10	26.00	25.90
1991	25.20	25.20	26.00	26.50	28.00	27.00	24.90	26.00	23.90	23.20	22.20	22.80
1992	19.20	19.10	22.80	24.90	26.30	27.80	27.40	26.50	26.10	24.80	23.50	24.60
1993	23.60	25.50	26.60	28.60	29.80	28.80	26.70	27.50	26.10	25.90	25.80	25.20
1994	23.80	26.30	29.00	28.70	31.10	27.80	28.30	26.80	26.00	26.70	27.00	25.70
1995	24.49	26.43	28.71	30.41	32.42	30.00	27.50	26.90	27.00	26.50	25.50	22.60
1996	24.50	26.60	27.40	30.30	32.20	28.70	28.40	26.70	26.60	25.60	24.50	24.30
1997	22.50	25.00	26.40	26.20	28.70	29.50	28.20	28.30	27.90	25.90	25.30	23.50
1998	23.30	24.90	28.50	31.50	33.50	31.60	28.20	26.90	25.90	24.00	25.60	23.80
1999	23.30	25.10	27.40	30.20	31.70	29.10	25.80	27.10	25.70	24.30	22.63	21.28
2000	24.97	26.86	29.40	31.31	30.94	27.93	25.09	27.33	27.81	25.76	26.32	23.43
2001	24.35	25.69	26.82	30.37	29.75	28.38	27.61	27.95	26.71	26.06	24.97	24.81
2002	23.60	23.50	27.90	30.30	30.90	28.00	25.80	26.50	24.70	25.90	22.80	22.60
2003	21.70	26.40	27.80	32.43	34.15	29.49	27.85	27.78	26.92	26.25	24.85	24.01
2004	20.32	23.86	26.32	27.78	28.95	25.64	26.16	26.25	13.10	26.34	25.00	22.42
2005	22.40	24.46	26.29	30.23	29.81	30.08	26.85	26.24	26.27	25.42	24.53	23.77
2006	23.97	25.78	27.97	30.40	29.16	27.32	26.48	25.85	25.80	24.90	22.77	22.37
2007	22.89	24.23	26.73	29.33	29.29	27.83	26.19	25.63	25.55	24.53	24.40	24.61
2008	23.19	25.69	26.19	29.70	29.45	14.35	25.45	25.87	23.37	24.42	23.50	23.61
2009	23.90	25.61	27.19	29.17	29.35	28.93	28.13	27.68	25.40	25.39	23.47	22.61

TABLA 4.1.2 Base de datos de temperatura promedio mínima mensual de la estación 22004 El Batan Querétaro.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1967	3.95	4.94	7.10	10.60	13.50	14.40	13.40	13.50	13.10	9.30	6.80	4.60
1968	3.30	3.90	5.50	10.70	11.60	13.40	13.00	12.50	13.00	9.80	6.20	5.40
1969	4.50	6.40	9.50	10.50	12.40	14.70	13.40	13.20	12.80	9.70	6.20	4.60
1970	3.30	5.50	7.90	11.80	11.80	12.90	12.70	12.20	12.50	9.30	2.70	2.60
1971	3.10	2.50	6.70	8.00	12.30	13.00	8.60	7.30	7.60	10.50	6.10	5.40
1972	4.30	3.70	6.30	10.80	12.80	13.10	12.30	12.40	12.30	11.00	9.80	4.30
1973	2.60	5.10	8.50	10.50	13.30	13.20	12.60	12.80	12.30	10.50	5.90	2.50
1974	3.90	4.30	6.00	9.90	12.40	12.90	11.00	11.40	10.20	8.40	5.10	4.90
1975	3.40	4.60	7.20	11.70	12.80	12.25	12.10	12.60	10.60	8.70	4.90	2.30
1976	1.90	1.80	7.30	10.50	11.80	12.30	12.50	11.70	12.10	10.20	7.40	6.20
1977	3.95	4.10	7.70	9.00	11.70	12.60	12.00	12.10	12.10	10.30	6.90	4.50
1978	4.20	5.20	6.90	11.50	14.10	13.90	14.70	12.40	13.40	10.00	8.60	7.10
1979	5.30	7.80	8.50	11.30	12.80	13.90	14.80	13.40	11.60	7.20	7.00	5.80
1980	3.80	4.20	6.72	9.34	11.23	11.96	11.58	11.81	11.08	8.89	6.43	5.01
1981	3.53	4.46	9.86	9.34	12.60	13.60	11.58	11.81	11.08	10.92	6.43	5.01
1982	6.98	7.38	9.90	12.60	13.59	14.16	13.40	12.80	12.60	11.00	8.75	6.00
1983	4.30	2.40	5.10	10.10	13.10	14.00	14.05	13.61	13.42	11.01	10.50	8.53
1984	5.30	5.10	7.70	11.60	12.60	12.50	12.00	12.00	11.20	9.90	6.00	4.80
1985	3.80	5.00	8.40	10.70	12.00	13.30	12.20	12.10	10.50	8.80	5.50	4.10
1986	2.20	3.60	3.50	9.80	12.50	13.60	12.30	11.82	12.70	11.57	8.89	4.50
1987	2.60	3.40	6.40	9.30	11.40	12.60	14.10	13.00	12.20	7.70	5.20	4.70
1988	2.60	4.50	7.80	11.00	12.90	12.80	14.00	13.90	11.40	8.90	4.90	4.40
1989	4.60	4.90	5.30	7.60	8.80	8.20	8.60	7.50	8.00	6.80	7.20	5.70
1990	2.10	2.30	4.50	5.80	7.20	6.50	6.70	12.99	6.70	7.20	6.70	6.20
1991	5.70	6.60	7.10	7.70	9.30	8.50	6.40	6.60	6.20	5.30	2.30	2.10
1992	1.40	1.20	5.10	6.70	7.80	9.30	10.50	11.80	11.90	9.40	7.70	5.80
1993	6.00	4.90	6.90	9.70	11.00	13.10	12.30	12.60	12.30	9.60	7.70	5.70
1994	4.40	6.60	8.50	10.60	12.40	12.50	11.70	12.40	11.50	10.40	8.20	8.00
1995	8.31	8.76	10.31	10.25	14.33	12.69	12.60	13.30	12.40	8.10	7.90	5.60
1996	2.50	5.20	7.00	8.90	12.60	12.70	12.20	12.40	12.50	9.20	5.10	5.20
1997	3.00	6.10	8.10	9.20	10.40	12.90	11.80	11.70	11.40	8.10	7.60	3.30
1998	2.40	1.90	6.40	9.20	11.10	13.50	12.50	12.40	13.60	11.30	8.10	4.30
1999	2.30	5.00	7.60	9.60	11.40	12.70	12.10	12.00	11.10	8.10	4.78	3.44
2000	3.15	6.24	8.70	10.54	12.69	12.92	11.53	11.86	11.38	9.75	9.32	5.67
2001	6.05	7.17	8.22	11.28	11.94	12.41	11.63	12.17	11.71	8.21	6.64	6.26
2002	3.40	5.80	7.50	11.30	13.10	12.90	13.10	12.40	12.80	11.40	6.30	4.80
2003	4.60	6.00	8.00	11.74	14.16	14.68	12.40	12.51	13.46	11.63	6.43	5.01
2004	5.10	4.14	9.19	9.78	12.48	13.48	12.37	12.92	12.95	11.27	6.28	4.56
2005	4.55	6.50	6.50	10.82	10.58	14.02	13.45	13.23	12.17	10.10	5.67	4.00
2006	3.84	5.86	7.06	9.80	11.03	11.92	12.55	12.77	12.73	10.60	6.55	3.66
2007	5.53	5.79	7.11	12.37	12.40	12.70	12.68	11.58	11.85	8.50	5.80	5.23
2008	3.68	5.28	6.26	9.50	11.16	11.37	11.35	12.58	12.40	9.21	5.03	3.06
2009	4.35	5.07	6.61	9.30	11.74	13.13	12.19	12.52	13.60	11.52	5.77	5.35

TABLA 4.1.3 Base de datos de precipitación acumulada mensual de la estación 22004 El Batán Querétaro.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1965	5.00	0.00	15.00	17.00	20.00	50.00	133.60	139.90	190.60	48.00	15.00	11.50
1966	37.00	10.00	27.00	17.00	28.00	90.00	167.80	183.90	23.00	75.10	0.00	0.70
1967	40.00	0.70	30.00	22.00	21.00	18.00	31.40	235.40	189.40	106.00	0.00	2.00
1968	0.00	21.10	24.90	95.90	42.50	126.50	52.70	84.90	82.30	16.80	11.40	3.50
1969	5.10	9.80	5.80	0.00	6.90	164.10	105.00	139.90	8.20	16.20	5.20	2.90
1970	0.00	5.40	0.00	0.00	9.40	172.00	139.00	106.60	130.40	12.30	7.40	0.00
1971	1.40	0.00	7.10	2.50	75.00	235.20	61.00	240.00	254.10	47.80	4.80	1.30
1972	1.30	0.00	1.20	4.90	79.10	82.60	93.10	59.30	86.70	47.30	30.80	8.50
1973	0.00	2.40	1.50	24.20	59.20	205.90	270.50	114.70	117.30	51.80	3.80	0.00
1974	4.60	2.60	7.30	27.10	7.40	98.10	230.90	70.10	104.50	5.70	12.20	14.60
1975	47.20	1.70	0.00	0.00	34.90	56.00	150.00	135.10	46.30	9.40	0.00	0.00
1976	0.00	0.00	6.80	9.30	74.80	37.40	288.60	121.80	168.80	55.60	26.00	18.30
1977	0.00	3.90	1.30	49.20	51.30	115.10	70.80	125.10	118.10	47.60	2.80	9.20
1978	21.10	19.20	32.70	0.00	32.70	45.70	117.80	103.10	75.40	119.60	4.20	7.00
1979	0.00	31.20	0.00	6.80	16.80	33.40	95.50	124.40	79.80	0.00	0.00	37.90
1980	84.70	0.00	0.00	6.79	11.88	50.82	58.76	141.37	93.32	57.88	47.69	0.00
1981	51.79	25.39	12.64	52.66	34.80	104.20	108.00	104.72	14.69	89.50	0.03	10.10
1982	0.00	6.57	3.26	11.27	53.91	30.69	118.10	54.80	66.50	55.00	6.38	18.90
1983	37.70	4.90	21.80	0.00	28.60	40.30	177.45	113.66	117.29	50.47	41.94	7.38
1984	24.00	16.10	1.80	0.00	29.60	69.70	280.60	86.60	77.60	28.10	1.70	27.30
1985	0.00	0.00	13.60	45.20	105.30	216.90	138.10	119.50	48.20	84.70	7.10	17.50
1986	0.00	1.30	0.00	37.70	77.10	290.20	132.70	94.02	89.80	157.64	13.00	7.70
1987	0.00	0.00	1.80	29.20	22.00	128.90	142.50	76.00	22.60	0.00	27.30	0.00
1988	7.70	0.00	22.60	23.40	23.50	130.20	171.60	109.40	25.00	0.00	6.20	0.00
1989	0.00	13.50	0.00	6.50	30.30	85.40	153.90	327.10	97.10	15.50	13.20	26.50
1990	0.00	17.80	0.00	35.00	76.90	100.40	213.10	101.35	106.90	50.20	37.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	308.00	595.50	31.00	129.80	30.30	16.50	31.10
1992	107.70	48.30	11.00	13.10	60.40	42.50	139.20	160.70	128.10	83.30	38.30	0.00
1993	3.40	4.00	4.50	16.30	10.90	170.50	263.20	47.90	92.90	6.50	25.30	0.00
1994	10.50	0.00	6.60	29.80	69.50	142.70	52.60	142.40	47.40	61.00	0.00	0.00
1995	3.25	2.56	0.00	16.30	47.42	90.03	45.00	278.90	133.40	7.60	29.50	23.80
1996	0.00	0.00	2.80	0.00	23.50	125.40	79.70	114.80	221.10	35.90	0.00	0.00
1997	0.00	0.00	43.00	69.70	56.20	47.40	69.60	93.30	7.70	42.70	8.00	0.00
1998	0.00	13.60	0.00	0.00	4.50	107.50	76.20	152.70	229.40	91.30	39.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	8.50	2.00	59.20	191.90	90.20	22.50	38.70	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.37	0.47	71.67	148.67	140.85	110.84	70.36	36.26	5.72	0.63
2001	3.87	9.14	8.04	17.25	27.74	239.18	184.38	152.35	90.61	34.96	10.54	2.09
2002	26.00	19.10	0.00	34.90	15.40	157.90	203.40	47.10	179.80	61.00	25.60	0.00
2003	9.50	0.00	0.00	1.46	25.93	159.24	170.67	154.42	372.13	38.70	0.00	0.00
2004	28.00	0.00	34.90	5.40	68.70	175.10	186.00	110.60	209.60	25.00	0.00	1.70
2005	5.50	12.40	15.20	4.70	6.90	1.60	116.80	178.60	35.00	36.80	0.00	0.00
2006	23.10	0.00	7.00	10.50	142.20	25.30	94.90	164.40	288.80	131.80	27.30	3.40
2007	22.70	34.00	0.00	19.10	21.70	209.80	294.60	159.00	102.10	21.20	13.50	3.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	114.30	170.40	169.30	107.70	0.00	0.00	0.00
2009	8.60	0.00	2.80	0.00	32.60	126.20	71.90	51.80	132.60	99.90	0.00	8.90

4.2 Análisis Temporal

Con las bases de datos completas se inició un análisis estocástico sobre cada una de ellas obteniendo estadísticos descriptivos como la media, desviación estándar, sesgo y curtosis.

Una vez conocidos los estadísticos descriptivos fue necesario si existía alguna variación en el tiempo. Si bien las bases de datos están conformadas por un periodo de 24 años esta cantidad no es la mínima requerida por la WMO y el IPCC para poder determinar cambio climático, más sin embargo si se puede calcular una tendencia positiva o negativa que nos puede servir como referencia para notar patrones de comportamiento temporales. Es decir en caso de que se compruebe que ha existido alguna variación en la tendencia en la temperatura o en la cantidad de precipitación en un determinada región no se puede afirmar que ha habido un cambio climático, pero si una variación en el comportamiento temporal.

Al aplicar el estadístico de Mann-Kendall se pudo determinar si existía cambio significativo en las estaciones analizadas. Este estadístico mostro que existieron variaciones tanto en las temperaturas máximas y mínimas como en las anuales resumidas en las tablas 4.21 a la 4.29.

Los cambios en la tendencia de la temperatura promedio máxima mensual se mostraron en 4 estaciones 22004, 11144, 22029, 22045; mientras solamente 3 estaciones mostraron variaciones anuales 11144, 22029 y 22045.

El sesgo y la curtosis mostrados dentro de este análisis mostraron una desviación significativa es decir que no es necesaria una transformación para poder trabajar con ellos.

TABLA 4.21 Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22004 y 11144

	22004			Periodo 1967-2010			lat=-20.5 long=-100.42		Z	S	sen
	Clave Media	Desv. Est	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h				
Enero	23.426	1.485	-0.317	2.619	-0.1265	-0.1258	0	-1.194	-119	●	-0.018
Febrero	24.814	1.689	-0.161	4.711	0.0745	0.074	0	0.698	70	●	0.011
Marzo	27.308	1.736	1.171	5.935	-0.1604	-0.1596	0	-1.518	-151	●	-0.028
Abril	29.580	1.943	-0.050	0.920	-0.1125	-0.1121	0	-1.063	-106	●	-0.027
Mayo	30.623	1.794	0.340	1.464	-0.2345	-0.2336	0	-2.226	-221	●	-0.041
Junio	28.308	2.677	-3.323	17.551	-0.0901	-0.0897	0	-0.838	-81	●	-0.015
Julio	26.622	1.366	0.912	1.883	0.0503	0.0498	0	0.461	45	●	0.0084
Agosto	26.582	0.928	0.165	-0.553	0.0612	0.0609	0	0.565	55	●	0.0086
Septiembre	25.669	2.285	-4.076	22.226	-0.0179	-0.0177	0	-0.157	-16	●	0
Octubre	25.498	1.001	-0.294	-0.442	-0.0513	-0.0509	0	-0.471	-46	●	-0.006
Noviembre	24.654	1.208	-0.404	0.206	-0.1251	-0.124	0	-1.163	-112	●	-0.016
Diciembre	23.681	1.075	0.052	-0.275	-0.0502	-0.0498	0	-0.461	-45	●	-0.006
Anual	26.397	0.882			-0.1818	-0.1818	0	-1.730	-172	●	-0.017

La estación 22004 mostro variaciones sin que estas llegaran a ser estadísticamente significativas, presentando una disminución anual de 0.017°C.

	11144			Periodo 1980-2003			lat=20.9 long=-100.42		Z	sen
	Clave Media	Desv. Est	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h			
enero	22.023	2.626	0.135	0.652	0.2222	0.221	0	1.4896	●	0.1
febrero	23.258	2.382	0.189	1.234	0.2795	0.279	0	1.8857	●	0.1311
marzo	26.435	2.566	0.709	1.255	0.1792	0.1775	0	1.1927	●	0.1012
abril	28.021	2.691	-1.534	3.811	0.2473	0.2464	0	1.6629	●	0.1183
mayo	28.752	2.368	0.220	-0.613	0.2868	0.2862	0	1.9353	●	0.1572
junio	27.051	2.318	-0.481	-0.048	0.1026	0.1014	0	0.6711	●	0.0739
julio	25.296	2.483	-0.380	-0.717	0.1561	0.1558	0	1.0421	●	0.1096
agosto	25.087	2.110	0.418	-0.966	0.4234	0.4203	1	2.856	●	0.1764
septiembre	24.790	2.448	0.205	-0.229	0.3564	0.3551	1	2.4075	●	0.1817
octubre	24.120	2.255	1.019	0.834	0.2368	0.2355	0	1.5893	●	0.1
noviembre	23.428	2.313	2.297	7.582	0.0182	0.0181	0	0.0993	●	0.0067
diciembre	22.664	2.677	1.271	2.358	0.2004	0.1993	0	1.3407	●	0.076
anual	25.077	2.135			0.2581	0.2581	1	2.0595	●	0.0379

La estación 11144 muestra una media anual de 25.07°C y una desviación estándar de 2.135 llegando a ser estadísticamente significativa, teniendo un aumento gradual de 0.03°C es decir 0.72°C en un periodo de 24 años de registro. Los meses de agosto y septiembre muestran una variación estadísticamente significativa positiva 0.17°C y 0.18°C respectivamente.

. TABLA 4.22 Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22006 y 22029

Clave	22006			Periodo	1961-2011		lat=		20.52 long=-100.45		S	sen
	Media	Desv. Est	Sesgo		Curtosis	taub	tau	h	Z			
Enero	23.672	2.242	-2.399	6.498	0.199	0.198	0	2.040	252	●	0.026	
Febrero	25.341	2.338	-2.520	9.368	0.243	0.242	0	2.495	308	●	0.039	
Marzo	27.813	2.235	-2.475	10.010	0.0954	0.0949	0	0.975	121	●	0.015	
Abril	30.190	2.163	-1.147	1.812	0.1276	0.1271	0	1.308	162	●	0.026	
Mayo	31.165	1.944	-0.937	0.574	0.1368	0.1365	0	1.406	174	●	0.022	
Junio	29.329	2.007	-0.230	0.917	0.1588	0.1576	0	1.626	201	●	0.026	
Julio	27.297	2.075	-0.947	1.185	0.209	0.2082	0	2.126	255	●	0.039	
Agosto	27.163	1.997	-0.618	2.392	0.1633	0.1624	0	1.657	199	●	0.025	
Septiembre	26.750	2.048	-0.238	2.419	0.0757	0.0751	0	0.762	92	●	0.007	
Octubre	26.165	2.224	-0.678	3.415	0.1567	0.1559	0	1.590	191	●	0.025	
Noviembre	25.122	2.447	-1.737	4.244	0.0609	0.0604	0	0.611	74	●	0.011	
Diciembre	23.665	2.261	-1.924	6.618	0.224	0.2229	0	2.276	273	●	0.031	
Anual	26.973	1.663			0.2966	0.2965		3.062	378	●	0.022	

La estación 22006 ha tenido un incremento de 0.022°C anuales, 1.122°C en un periodo de 51 años de registros.

Clave	22029			Periodo	1973-2010		lat=		20.38 long=-100.28		S	sen
	Media	Desv. Est	Sesgo		Curtosis	taub	tau	h	Z			
Enero	21.094	2.259	0.412	0.353	0.265	0.265	0	2.326	186	●	0.065	
Febrero	22.422	2.188	0.562	0.689	0.287	0.287	0	2.486	191	●	0.083	
Marzo	24.229	2.267	-0.651	1.830	0.137	0.137	0	1.178	91	●	0.040	
Abril	26.162	2.418	-0.533	3.443	0.193	0.192	0	1.662	128	●	0.053	
Mayo	26.460	2.774	-0.657	2.614	0.169	0.168	0	1.452	112	●	0.045	
Junio	24.788	2.014	-0.277	0.832	0.065	0.065	0	0.550	43	●	0.017	
Julio	22.932	1.912	0.734	1.651	0.215	0.213	0	1.846	142	●	0.055	
Agosto	22.815	1.910	0.625	1.099	0.313	0.311		2.697	207	●	0.070	
Septiembre	22.140	1.683	0.099	0.515	0.239	0.237	0	2.056	158	●	0.048	
Octubre	21.802	1.814	0.884	2.195	0.349	0.348		3.022	232	●	0.078	
Noviembre	22.031	2.096	1.094	3.394	0.2376	0.237	0	2.054	158	●	0.050	
Diciembre	21.296	1.712	0.457	1.161	0.3735	0.372		3.232	248	●	0.060	
Anual	23.181	1.528			0.4114	0.411		3.571	274	●	0.058	

La estación 22029 ha mostrado cambios significativos en los meses de agosto, octubre, noviembre. La temperatura media máxima anual también mostro un incremento de 0.058°C más del doble registrado por la estación 22006.

TABLA 4.23 Estadísticas descriptivas de la temperatura máxima para las estaciones 22045 y 22058.

Clave	22045			Periodo	1980-2003		lat=	20.7 long=-100.46		
	Media	Desv. Est	Sesgo		Curtosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	22.802	1.760	-1.331	1.912	0.5263	0.5254		1	3.5729	0.1563
febrero	24.523	1.753	-1.143	0.808	0.5715	0.5652		1	3.8526	0.16
marzo	26.680	1.377	-0.367	-0.457	0.3898	0.3877		1	2.6317	0.1138
abril	28.466	1.285	0.146	-0.624	0.3004	0.2971		1	2.0133	0.0905
mayo	29.263	1.465	0.141	-0.073	0.2847	0.2826		0	1.9123	0.0827
junio	27.736	1.172	-0.196	1.209	0.0956	0.0942		0	0.6222	0.037
julio	25.957	1.233	-0.277	-1.090	0.0956	0.0942		0	0.6222	0.037
agosto	26.153	0.900	-0.129	0.358	0.2222	0.221		0	1.4896	0.0387
septiembre	25.608	1.188	0.326	0.278	0.1938	0.192		0	1.2921	0.0369
octubre	25.020	0.987	-0.430	-0.571	0.1865	0.1848		0	1.2424	0.0398
noviembre	24.388	1.473	-0.508	-0.652	0.2805	0.279		0	1.8869	0.0796
diciembre	23.264	1.448	-1.305	2.157	0.3577	0.3551		1	2.4095	0.1
anual	25.822	1.988			0.4274	0.4274		1	3.4217	0.0297

La estación 22045 mostro diferencias estadísticamente significativas en 5 meses y un incremento anual de 0.029°C es decir 0.69°C en un periodo de 24 años

Clave	22058			Periodo	1980-2006		lat=	20.49 long=-		-100.3	
	Media	Desv. Est	Sesgo		Curtosis	taub	tau	h	Z	S	sen
Enero	22.163	1.285	0.246	1.783	0.221	0.219		0	1.586	77	0.050
Febrero	23.367	1.377	0.100	0.008	0.077	0.077		0	0.543	27	0.021
Marzo	25.701	1.275	0.243	1.112	0.006	0.006		0	0.021	2	0.001
Abril	28.190	1.671	0.157	-1.141	-0.158	-0.157		0	-1.127	-55	-0.050
Mayo	28.702	1.665	0.421	-0.396	-0.0888	-0.0883		0	-0.626	-31	-0.033
Junio	26.419	1.776	0.399	-0.259	-0.0057	-0.0057		0	-0.021	-2	0.000
Julio	24.683	1.235	0.127	-0.196	0.2746	0.2707		0	1.965	95	0.067
Agosto	24.371	1.192	0.951	1.462	0.1466	0.1453		0	1.044	51	0.023
Septiembre	23.577	1.421	-1.373	3.845	0.0607	0.0598		0	0.418	21	0.016
Octubre	23.270	1.161	0.052	0.924	0.0744	0.0741		0	0.522	26	0.013
Noviembre	22.771	1.340	0.516	1.080	0.0087	0.0085		0	0.042	3	0.000
Diciembre	21.928	1.160	-0.499	1.450	0.1648	0.1624		0	1.171	57	0.023
Anual	24.595	0.694			0.0769	0.0769		0	0.542	27	0.011

La estación 22058 no mostro variaciones estadísticamente significativas.

TABLA 4.24 Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22004 y 11144

	Clave	22004			Periodo 1967-2010		lat=	20.5 long=-100.42		
	Media	Desv. Est	Sesgo	Kurtosis	taub	tau	h	Z	S	sen
Enero	3.960	1.395	0.759	1.119	0.1105	0.1099	0	1.0423	104	0.0162
Febrero	4.930	1.625	-0.226	0.188	0.194	0.1934	0	1.841	183	0.035
Marzo	7.253	1.435	-0.136	0.347	-0.0064	-0.0063	0	-0.051	-6	0.000
Abril	10.036	1.418	-0.804	1.098	-0.1041	-0.1036	0	-0.982	-98	-0.014
Mayo	11.909	1.503	-1.251	2.211	-0.1735	-0.1723	0	-1.640	-163	-0.023
Junio	12.632	1.656	-2.131	5.113	-0.135	-0.134	0	-1.257	-121	-0.015
Julio	12.069	1.746	-1.651	3.657	-0.0915	-0.0908	0	-0.848	-82	-0.011
Agosto	12.106	1.500	-2.621	7.255	0.0157	0.0155	0	0.136	14	0
Septiembre	11.684	1.713	-1.829	3.363	0.0813	0.0808	0	0.754	73	0.01
Octubre	9.518	1.451	-0.649	0.290	0.0489	0.0487	0	0.450	44	0.0102
Noviembre	6.587	1.653	-0.064	0.815	-0.0489	-0.0487	0	-0.450	-44	-0.009
Diciembre	4.889	1.357	0.200	0.812	-0.0267	-0.0266	0	-0.241	-24	-0.004
Anual	8.966	0.969	-1.163	1.985	0.0277	0.0277	0	0.251	25	0.0031

La estación 22004 no mostro variaciones estadísticamente significativas, sin embargo mostro variaciones negativas en los meses de abril a julio.

Clave					11144	lat=	20.9	long=-100.42		
	Media	Desv. Est	Sesgo	Kurtosis	taub	tau	h	Z	sen	
enero	7.120	2.702	1.166	1.160	0.0582	0.058	0	0.3723	0.0235	0.0235
febrero	8.414	2.271	1.665	5.738	0.0255	0.0254	0	0.149	0.0057	0.0057
marzo	10.200	2.180	1.128	1.477	-0.08	-0.0797	0	-0.5212	-0.026	-0.026
abril	12.127	1.967	1.604	4.312	-0.3868	-0.3804	1	-2.589	-0.114	-0.114
mayo	13.132	1.928	-1.381	4.478	-0.2889	-0.2862	0	-1.9377	-0.088	-0.088
junio	13.243	1.726	-0.575	1.639	-0.1164	-0.1159	0	-0.7694	-0.032	-0.032
julio	12.503	2.331	-0.081	2.327	-0.1825	-0.1812	0	-1.2169	-0.06	-0.06
agosto	12.615	1.685	0.770	2.065	0.0073	0.0072	0	0.0249	0	0
septiembre	12.499	1.759	0.455	-0.195	0.0073	0.0072	0	0.0248	0.0031	0.0031
octubre	10.653	2.031	0.671	0.664	0.0588	0.058	0	0.3731	0.0188	0.0188
noviembre	8.517	1.619	1.333	3.316	-0.0328	-0.0326	0	-0.1986	-0.013	-0.013
diciembre	6.894	1.798	0.174	-0.417	-0.1745	-0.1739	0	-1.1665	-0.058	-0.058
anual	10.660	2.376			-0.1383	-0.1383	0	-0.898	-0.039	-0.039

La estación 11144 mostro una tendencia negativa en el mes de abril teniendo una disminución de 0.114°C, de igual manera se mostro una disminución de 0.039°C anuales es decir 1.42°C en un periodo de 24 años.

TABLA 4.25 Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22006 y 22045

	Clave	22006		Periodo 1961-2011			lat=	20.52	long=-100.45	
	Media	Desv. Est	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	S	sen
Enero	5.088	1.117	-0.602	-0.138	0.036	0.0357	0	0.3538	42	0.0038
Febrero	6.031	1.407	0.061	-0.658	0.1352	0.1344	0	1.354	158	0.025
Marzo	8.424	1.259	-0.221	0.220	0.0086	0.0085	0	0.078	10	0.000
Abril	10.680	1.160	-0.423	-0.658	-0.0369	-0.0366	0	-0.362	-43	-0.004
Mayo	12.591	1.201	-1.363	3.592	-0.0816	-0.0808	0	-0.821	-99	-0.007
Junio	13.549	1.106	-1.027	1.879	-0.1582	-0.1567	0	-1.599	-192	-0.014
Julio	13.189	1.056	-0.523	2.458	-0.0814	-0.0808	0	-0.820	-99	-0.007
Agosto	12.911	1.253	-1.288	4.332	-0.0198	-0.0196	0	-0.193	-24	0
Septiembre	12.699	1.122	-0.385	2.009	-0.0774	-0.0767	0	-0.779	-94	-0.007
Octubre	10.197	1.597	0.111	1.219	-0.0238	-0.0237	0	-0.234	-29	-0.004
Noviembre	7.607	1.300	-0.066	1.728	0.0057	0.0057	0	0.050	7	0
Diciembre	5.934	1.188	0.186	0.381	-0.1874	-0.1861	0	-1.900	-228	-0.021
Anual	9.931	0.793			0.0049	0.0049	0	0.042	6	0.0003

La estación 22006 no muestra variaciones significativas,

Clave	Clave	22045		Periodo 1980-2003			lat=	20.7	long=-100.46	
	Media	Desv. Est	Sesgo	Kurtosis	taub	tau	h	Z	sen	
enero	4.188	1.253	-0.185	-0.890	0.0036	0.0036	0	0	0	0
febrero	5.272	1.521	-0.698	1.008	0.2878	0.2862	0	1.9365	0	0.077
marzo	7.030	1.499	-0.780	-0.134	0.0949	0.0942	0	0.621	0	0.0361
abril	9.523	1.184	0.343	1.381	0.1022	0.1014	0	0.6705	0	0.0304
mayo	12.032	0.847	0.576	-0.404	0.0657	0.0652	0	0.4222	0	0.0183
junio	13.515	0.563	-0.014	0.198	0.1408	0.1377	0	0.9221	0	0.0191
julio	13.098	0.788	-0.744	1.478	0.0517	0.0507	0	0.3238	0	0.0067
agosto	12.925	0.613	-0.308	-0.073	0.1172	0.1159	0	0.7704	0	0.019
septiembre	12.340	0.819	-0.672	0.596	0.1952	0.192	0	1.2945	0	0.0226
octubre	9.756	1.448	0.233	-0.224	-0.1309	-0.1304	0	-0.8687	0	-0.036
noviembre	7.255	1.096	-0.167	-1.092	0.106	0.1051	0	0.6957	0	0.0263
diciembre	5.329	0.998	0.113	-0.790	-0.0474	-0.0471	0	-0.2979	0	-0.01
anual	9.355	3.434			-0.1576	-0.1573	0	-1.249	0	-0.012

La estación 22045 no tiene variaciones significativas, mientras que la tendencia anual muestra una tendencia negativa de 0.28°C en un periodo de 24 años

TABLA 4.26 Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 22058 y 22029.

	Clave	22058			Periodo 1980-2007			lat=	20.52	long=-100.45	
	Media	Desv. Est	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	S	sen	
Enero	6.475	3.193	1.261	1.075	-0.0085	-0.0085	0	-0.0417	-3	●	-0.006
Febrero	7.172	3.450	1.381	1.491	0.0628	0.0627	0	0.438	22	●	0.042
Marzo	8.706	2.757	1.006	0.701	0.0543	0.0541	0	0.375	19	●	0.040
Abril	10.917	2.727	1.152	1.307	0.0659	0.0655	0	0.459	23	●	0.031
Mayo	11.596	2.548	1.373	3.106	-0.0543	-0.0541	0	-0.375	-19	●	-0.031
Junio	11.727	1.749	0.825	2.537	-0.1202	-0.1197	0	-0.855	-42	●	-0.027
Julio	11.584	1.438	0.258	4.126	-0.1501	-0.1481	0	-1.065	-52	●	-0.025
Agosto	11.168	1.557	1.128	7.153	0.0058	0.0057	0	0.021	2	●	0.000
Septiembre	10.999	1.115	-0.133	0.559	-0.0172	-0.0171	0	-0.104	-6	●	-0.006
Octubre	9.725	2.253	0.610	0.903	0.0543	0.0541	0	0.375	19	●	0.019
Noviembre	8.064	2.591	1.088	1.555	0.2111	0.2108	0	1.522	74	●	0.090
Diciembre	7.261	2.753	1.342	1.091	0.0344	0.0342	0	0.230	12	●	0.017
Anual	9.616	1.760	1.261	0.957	0.0256	0.0256	0	0.167	9	●	0.009

La estación 22058 ha sufrido variaciones positivas no significativas en la temperatura mínima anual de 0.25°C durante un periodo de 28 años

	Clave	22029			Periodo 1973-2010			lat=	20.52	long=-100.45	
	Media	Desv. Est	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	S	sen	
Enero	4.549	1.651	1.523	4.739	0.0586	0.0583	0	0.5031	41	●	0.008
Febrero	5.445	1.732	0.914	2.634	0.1829	0.1817	0	1.571	121	●	0.036
Marzo	7.154	1.617	0.261	0.331	0.1703	0.1697	0	1.466	113	●	0.045
Abril	9.112	1.122	0.201	0.167	0.1835	0.1817	0	1.572	121	●	0.030
Mayo	10.416	1.222	0.050	0.721	0.0136	0.0135	0	0.105	9	●	0.000
Junio	11.041	1.073	0.400	1.447	0.0772	0.0766	0	0.655	51	●	0.0091
Julio	10.968	1.151	-0.004	1.039	0.1664	0.1652	0	1.427	110	●	0.0251
Agosto	10.971	0.958	-0.311	1.901	0.1293	0.1276	0	1.101	85	●	0.0136
Septiembre	10.360	1.261	0.686	1.586	0.2351	0.2312	0	2.007	154	●	0.0294
Octubre	8.394	1.674	-0.102	0.742	-0.0608	-0.0601	0	-0.511	-40	●	-0.009
Noviembre	6.129	1.447	0.396	1.505	0.0122	0.012	0	0.092	8	●	0
Diciembre	5.352	1.195	0.166	0.889	-0.0015	-0.0015	0	0.000	-1	●	0
Anual	8.322	0.759	-0.003	0.914	0.1684	0.1682	0	1.452	112	●	0.0151

La estación 22029 tuvo un incremento de 0.55°C en un periodo de 37 años en su temperatura mínima anual.

TABLA 4.27 Estadísticas descriptivas de la precipitación acumulada para las estaciones 22004 y 11144.

Clave	Max Prec.			22004 lat=					20.5 long=-100.42	
	Media	mm	año	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	15.422	107.7	1992	2.307	4.946	-0.1329	-0.1159	0	-0.8248	0
febrero	7.594	48.3	1992	2.191	5.783	-0.1012	-0.0906	0	-0.628	0
marzo	6.409	43.0	1997	2.323	6.083	-0.1746	-0.1594	0	-1.1105	0
abril	18.979	69.7	1997	1.022	0.551	-0.0777	-0.0761	0	-0.4988	-0.2741
mayo	37.877	105.3	1985	0.700	-0.190	-0.1343	-0.1341	0	-0.8932	-0.5428
junio	126.913	308.0	1991	0.951	0.463	0.2464	0.2464	0	1.6619	2.8308
julio	162.792	595.5	1991	2.663	9.807	0.1087	0.1087	0	0.7193	1.7448
agosto	121.046	327.1	1989	1.717	3.848	0.087	0.087	0	0.5705	0.6737
septiembre	103.508	372.1	2003	1.687	3.870	0.2754	0.2754	0	1.8603	4.4584
octubre	48.217	157.6	1986	1.199	2.606	-0.0765	-0.0761	0	-0.4965	-0.7519
noviembre	16.666	47.7	1980	0.607	-1.033	-0.1026	-0.1014	0	-0.6715	-0.1275
diciembre	7.208	31.1	1991	1.208	-0.077	-0.2738	-0.2319	0	-1.7104	0
anual	672.630	1142.2	1991			0.1449	0.1449	0	0.9674	5.1464

Clave	Max Prec.			11144 lat=					20.9 long=-100.42	
	Media	mm	año	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	11.213	81.8	2003	2.409	5.371	-0.0599	-0.0507	0	-0.3529	0
febrero	10.054	113.5	1993	3.760	15.555	-0.1882	-0.1594	0	-1.1674	0
marzo	3.077	19.7	1983	1.966	2.924	-0.347	-0.2609	1	-2.1103	0
abril	17.481	77.5	1981	1.446	1.512	-0.2064	-0.1884	0	-1.3171	-0.1464
mayo	26.317	72.6	1992	0.463	-0.895	-0.2625	-0.2572	0	-1.7458	-1.34
junio	66.655	180.1	1985	0.909	0.933	-0.0362	-0.0362	0	-0.2232	-0.2114
julio	88.545	220.0	1991	0.679	0.183	-0.1377	-0.1377	0	-0.9178	-1.7376
agosto	62.838	129.0	1980	-0.079	0.073	0.029	0.029	0	0.1736	0.131
septiembre	59.130	126.5	1991	-0.032	-0.857	0.0219	0.0217	0	0.1242	0.1271
octubre	26.588	112.2	1993	1.714	4.690	0.033	0.0326	0	0.199	0.0146
noviembre	9.513	42.5	1993	1.375	0.637	-0.0159	-0.0145	0	-0.0775	0
diciembre	3.545	31.9	1982	2.832	8.624	-0.5367	-0.4022	1	-3.2709	0
anual	384.955	573.9	1994			-0.1594	-0.1594	0	-1.0666	-6.5733

TABLA 4.28 Estadísticas descriptivas de la Precipitación acumulada para las estaciones 22006 y 22029.

Clave	Max Prec.			22006 lat=					20.52 long=-100.45	
	Media	mm	año	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	16.281	92.8	1980	2.179	4.148	-0.108	-0.1051	0	-0.7007	-0.0633
febrero	7.099	25.4	1992	0.873	-0.087	-0.1379	-0.1341	0	-0.9008	-0.105
marzo	5.772	28.2	1988	1.491	0.781	-0.0896	-0.0833	0	-0.562	0
abril	16.487	68.7	1997	1.279	1.007	-0.1304	-0.1268	0	-0.8508	-0.3502
mayo	32.022	92.8	1985	0.844	0.128	-0.1884	-0.1884	0	-1.265	-0.9756
junio	112.680	330.4	1986	1.414	1.716	0.2754	0.2754	0	1.8603	2.9334
julio	123.507	261.3	1991	0.503	0.091	-0.0725	-0.0725	0	-0.4713	-0.8214
agosto	111.319	183.6	1995	-0.092	-0.588	0.058	0.058	0	0.3721	0.5486
septiembre	90.572	362.5	2003	1.755	4.049	0.3376	0.337	1	2.2827	4.7958
octubre	48.560	169.8	1986	1.156	1.335	-0.0544	-0.0543	0	-0.3474	-0.7282
noviembre	14.344	40.4	1992	0.747	0.087	0.0472	0.0471	0	0.2977	0.1185
diciembre	5.241	26.7	1980	1.753	2.096	-0.355	-0.3406	1	-2.3397	-0.1469
anual	583.884	973.556	2003			0.087	0.087	0	0.5705	3.296

La estación 22006 muestra una variación en el mes de septiembre donde se tenía un promedio de registro de 80mm ha aumentado en los últimos años a 90mm. De manera similar diciembre muestra una disminución en las precipitaciones siendo este un mes con un promedio de 5 mm anuales.

Clave	Max Prec.			22029 lat=					20.38 long=-100.28	
	Media	mm	año	Sesgo	Curtosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	23.126	104.553	1992	1.533	1.364	-0.1877	-0.1775	0	-1.2157	-0.3056
febrero	7.976	64.5	1990	2.794	9.005	-0.331	-0.308	1	-2.1459	-0.187
marzo	5.985	47.5	1997	2.471	5.737	-0.0893	-0.0797	0	-0.5497	0
abril	22.098	77.2	2001	1.109	-0.056	-0.1998	-0.192	0	-1.3078	-0.7873
mayo	37.875	115	1982	0.707	-0.447	-0.471	-0.471	1	-3.1998	-3.3424
junio	133.393	379.2	1986	1.212	2.159	0.0507	0.0507	0	0.3225	1.0424
julio	163.713	338.8	1983	0.502	-0.729	-0.1594	-0.1594	0	-1.0666	-3.249
agosto	125.657	234.5	1995	0.161	-1.017	-0.029	-0.029	0	-0.1736	-0.5615
septiembre	107.491	308.58	2003	1.017	0.473	0.2319	0.2319	0	1.5627	3.3787
octubre	59.594	133.4	1986	0.266	-0.819	-0.1314	-0.1304	0	-0.8694	-0.9092
noviembre	16.598	87.772	2002	1.816	3.280	0.1037	0.1014	0	0.6733	0.0994
diciembre	2.767	19.2	1989	2.630	6.483	-0.318	-0.2826	1	-2.0175	-0.0573
anual	706.271708	1019.603	1983			-0.1377	-0.1377	0	-0.9178	-4.4444

En la estación 22029 se presentaron variaciones estadísticamente significativas en los meses de febrero, mayo y diciembre.

TABLA 4.29 Estadísticas descriptivas de la temperatura mínima para las estaciones 220045 y 22058.

Clave	Max Prec.			22045 lat=					20.7 long=-100.46	
	Media	mm	año	Sesgo	Cuertosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	14.470	109	1992	2.602	6.711	-0.1861	-0.1703	0	-1.1876	-0.041
febrero	5.721	44.5	1992	2.627	7.780	-0.287	-0.2609	0	-1.8353	-0.0785
marzo	5.084	29.5	1983	1.924	2.809	-0.1626	-0.1377	0	-1.0045	0
abril	19.607	90.6	1981	1.525	2.049	-0.2571	-0.25	0	-1.7016	-0.625
mayo	42.790	118	1992	0.760	-0.306	0.0911	0.0906	0	0.5959	0.48
junio	99.598	241.234	1986	0.445	-0.609	0.1957	0.1957	0	1.3146	2.4941
julio	113.784	302.137	1991	1.223	3.036	0.029	0.029	0	0.1736	0.2337
agosto	98.582	207	1995	1.028	1.299	-0.1159	-0.1159	0	-0.7689	-0.6227
septiembre	80.050	266.609	2003	1.285	1.500	0.2899	0.2899	0	1.9595	3.4822
octubre	41.651	122.913	1986	0.650	0.059	0.0254	0.0254	0	0.1489	0.0902
noviembre	17.292	90.5	1987	1.720	2.494	-0.1195	-0.1159	0	-0.776	-0.0488
diciembre	6.515	32.5	1982	1.454	0.924	-0.3652	-0.3261	1	-2.3298	-0.1909
anual	545.144	813.5	1992			0.1304	0.1304	0	0.8682	3.611

En la estación 22045 se presenta una disminución estadísticamente significativa en diciembre. Aunque esta no representa una aportación significativa al acumulado anual.

Clave	Max Prec.			22058 lat=					20.49 long=-100.30	
	Media	mm	año	Sesgo	Cuertosis	taub	tau	h	Z	sen
enero	12.654	100.531	1992	5.945	2.595	-0.0177	-0.0145	0	-0.0835	0
febrero	4.391	32.625	1992	7.613	2.531	-0.0856	-0.0725	0	-0.5158	0
marzo	4.507	48	1997	14.369	3.613	-0.0799	-0.0652	0	-0.4732	0
abril	10.565	53.9	1997	2.100	1.660	-0.2453	-0.2283	0	-1.5839	-0.2196
mayo	25.120	106	1985	0.699	0.986	-0.2551	-0.25	0	-1.6959	-0.9791
junio	68.053	206.1	1986	0.585	0.283	0.1851	0.1848	0	1.2406	1.5483
julio	93.403	241.9	1991	0.653	0.842	-0.1812	-0.1812	0	-1.2154	-1.1116
agosto	84.997	219.066	1995	0.630	0.967	-0.0036	-0.0036	0	0	-0.005
septiembre	73.807	340.381	2003	3.424	1.829	0.3345	0.3333	1	2.2586	4.3233
octubre	34.093	118	1997	-0.466	0.904	-0.0257	-0.0254	0	-0.1493	-0.0018
noviembre	10.047	50.45	2002	0.053	1.074	-0.0202	-0.0181	0	-0.1047	0
diciembre	4.701	55	1995	14.594	3.629	-0.2699	-0.2029	0	-1.6347	0
anual	511.339625	831.102	1992			0.0797	0.0797	0	0.5209	3.304

En la estación 22058 se presentó una gran variación para el mes de septiembre llegando a ser una aportación importante en los años 1991 y 2003.

Al tener conformada esta base de datos se procedió al análisis de las series temporales de las diferentes estaciones para cada una de las variables. Se pudo

observar que las la temperatura y la precipitación presentan una estacionalidad cíclica. Es decir que tienen a reproducir sus valores en determinadas épocas del año.

En general se pudo observar que la temperatura máxima media para cada una de las diferentes estaciones oscila entre los 18.7 y 34.7 °C, con el menor registro siendo para la estación 22058 de Santa Teresa, Huimilpan, y el máximo para la estación 22006 de El Pueblito, Corregidora. Mientras que para la temperatura mínima se obtuvieron registros de 1.2 y 19.8 °C para las estaciones 22004 de El batan, Corregidora y 22058 de Santa Teresa, Huimilpan respectivamente.

Para la precipitación se muestra una estacionalidad diferente ya que esta está ampliamente marcada para los meses de junio, agosto y septiembre para los cuales llegan a representar desde el 40% hasta el 80% de la precipitación total anual.

La distribución espacial de la temperatura muestra un comportamiento variado de la temperatura máxima como de temperatura mínima. Se llegan a tener importantes variaciones de hasta 3°C en la temperatura máxima para un mismo periodo entre la estación considerada urbana 22045 de Juriquilla, Qro. y la estación 22029 de Huimilpan considerada esta última como estación rural.

En el análisis espacial de la temperatura máxima se llega a formar una isla de calor ubicada en la parte Este de la cuenca. Esta isla de calor se encuentra ubicada principalmente entre la frontera de los municipios de Santiago de Querétaro y Corregidora.

Esta distribución muestra una tendencia a la mayor cantidad de temperaturas máximas promedio registradas sea durante la primavera (marzo, abril, mayo), y teniendo los registros más bajos de temperaturas máximas promedio durante el invierno (diciembre, enero, febrero).

La distribución espacial de las temperaturas mínimas sigue sin embargo un patrón distinto mostrándose un registro de las más bajas temperaturas en el sur de la cuenca, es decir en la parte del municipio de Huimilpan.

La distribución de estas temperaturas tiende a ser más variada dependiendo de la estación del año, mostrando una menor variación en las zonas urbanizadas.

Para la distribución espacial de la precipitación esta se concentró principalmente en la zona sur y centro de la cuenca, llegando a tener variaciones significativas con respecto a la parte norte y este.

La estación que mostro el mayor número de incrementos en la temperatura máxima fue la 22045 de Juriquilla, Qro., mostrando un incremento en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre

Los meses que mostraron cambios fueron los meses de diciembre y agosto con 2 cambios cada uno, ambos mostrando tendencias significativas de incremento.

La temperatura mínima mostro muy pocos cambios significativos. Los únicos cambios significativos fueron en las estaciones 11144 de El Charape, y la estación 22006 del Pueblito. Ambas estaciones mostraron una tendencia negativa.

Estas tendencias fueron en meses diferentes pudiéndose considerar como eventos aislados.

En el análisis de la precipitación se pudo observar que realmente no existe u incremento significativo para la temporada de lluvias, solamente en el mes de septiembre para 2 estaciones se tuvo un cambio, esto se piensa se debe a un valor atípico que fue en el año del 2003 cuando la precipitación llevo a sobrepasar en estas dos estaciones los 300mm.

4.2 Modelos ARMA

Uno de los objetivos de este trabajo era el de poder ajustar mediante modelaciones ARMA (p,q) las series temporales hidrológicas y de temperatura, para poder conocer su comportamiento y poder realizar predicciones.

Cabe mencionar que estas predicciones son solamente pronósticos y no representan un suceso real, por lo que, no necesariamente reflejen una realidad.

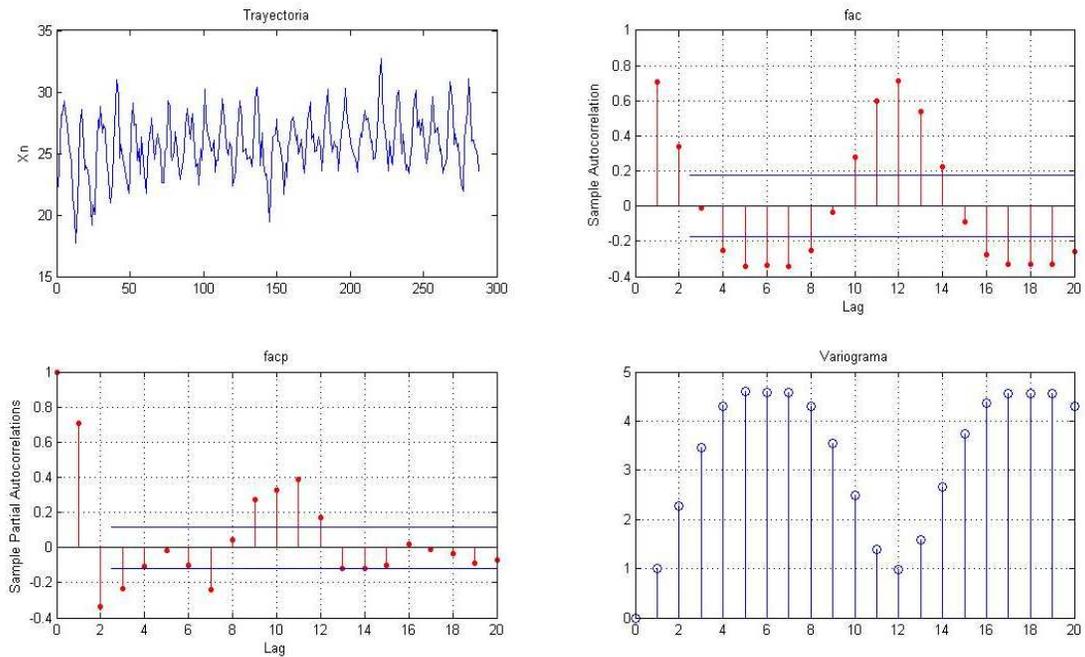
En la Tabla 4.30 se puede ver los valores de los parámetros p y q que fueron seleccionados para las series de temperatura máxima.

TABLA 4.30 resumen de parámetros ARMA para temperatura máxima

Valores ARMA temp max				
estacion	AIC	FPE	p	q
22045	0.46236752	1.58291	6	5
22004	0.530475	1.69543	5	5
11144	1.3696	3.92754	6	2
22006	0.771841	2.15822	6	4
22029	1.37862	3.95473	6	6
22058	0.789375	2.19643	5	5

La modelación de la serie de temperatura se puede observar en las figuras 4.2 para la estación 22045 de Juriquilla, Querétaro, en esta figura se puede observar como el análisis de la función de autocorrelación y función de autocorrelación parcial muestran que la serie tiene una estacionalidad mostrada en la figura 4.3

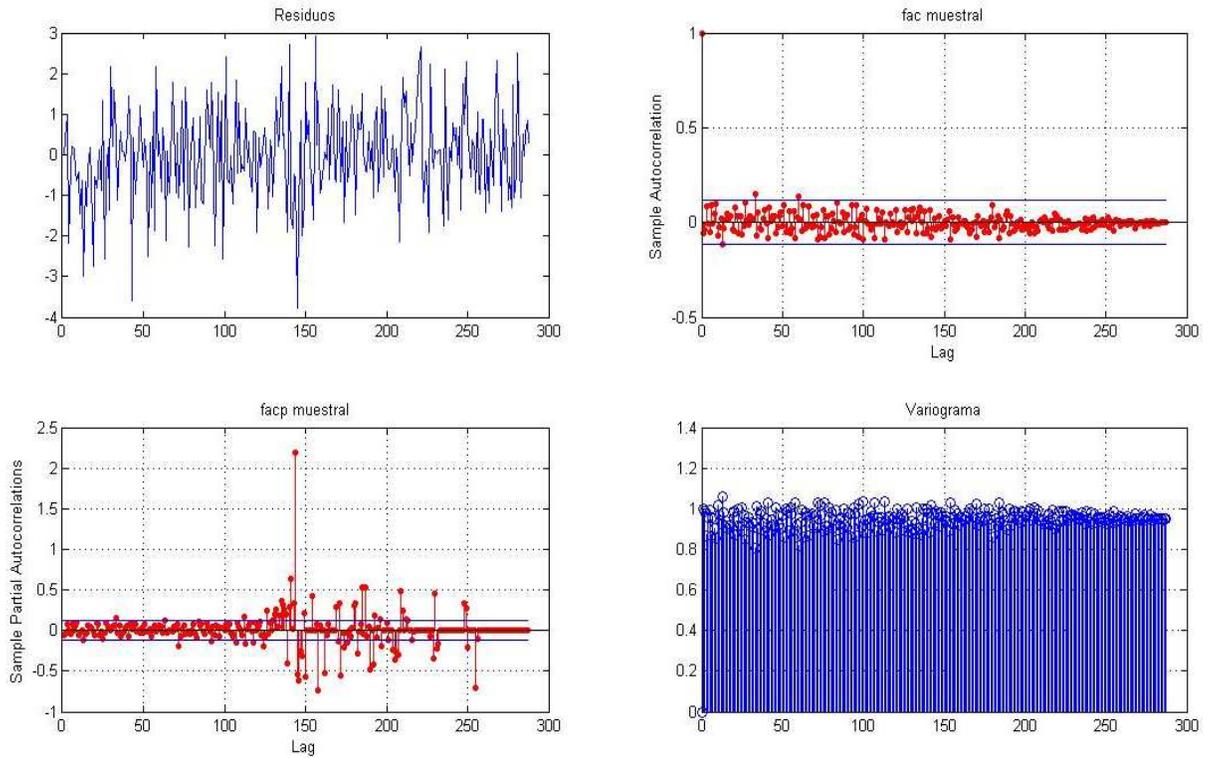
Figura 4.2 serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura máxima de la estación 22045



En la figura 4.2 se muestra en el primer cuadro el comportamiento de la temperatura máxima con los datos sin realizarse algún ajuste, a los mismos se les realiza un análisis de autocorrelación (FAC) y autocorrelación parcial (FACP).

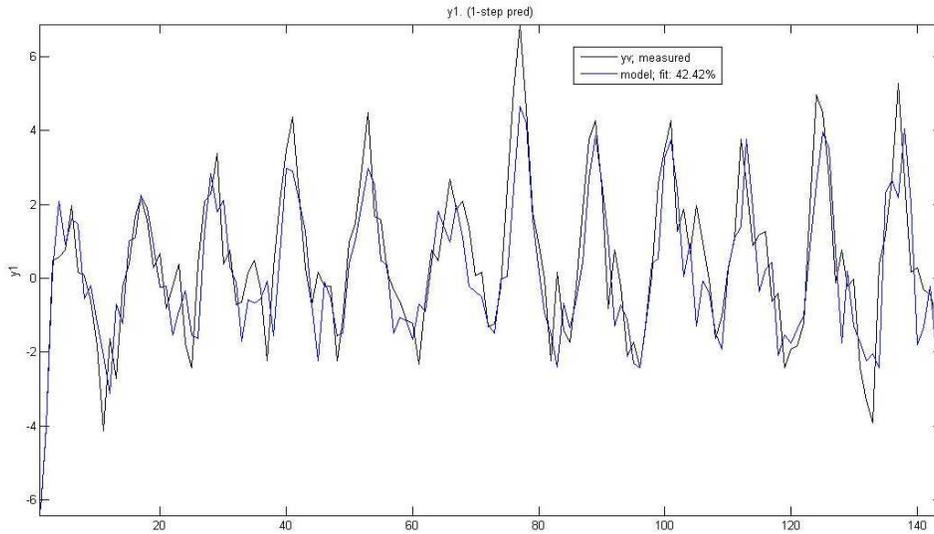
El variograma muestra que la temperatura tiene un comportamiento cíclico. Una vez realizado el ajuste sustrayendo la media a la trayectoria, se muestra como el FAC y la FACP cambia, manteniendo sus valores cercanos al cero, como se puede observar en la figura 4.3.

Figura 4.3 serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral, FACPmuestral y variograma de la temperatura máxima de la estación 22045.



El resultado de la serie obtenida fue modelada solamente con la mitad de los valores de la serie con la finalidad de poder observar el comportamiento del modelo como se muestra en la Figura 4.4.

FIGURA 4.4 ARMA(5,5) para los valores obtenidos para la estación 22045



El modelo para la estación 22045 muestra un ajuste del 42.4% de los datos mostrando un excelente ajuste del modelo.

Figura 4.5 serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura máxima de la estación 22004

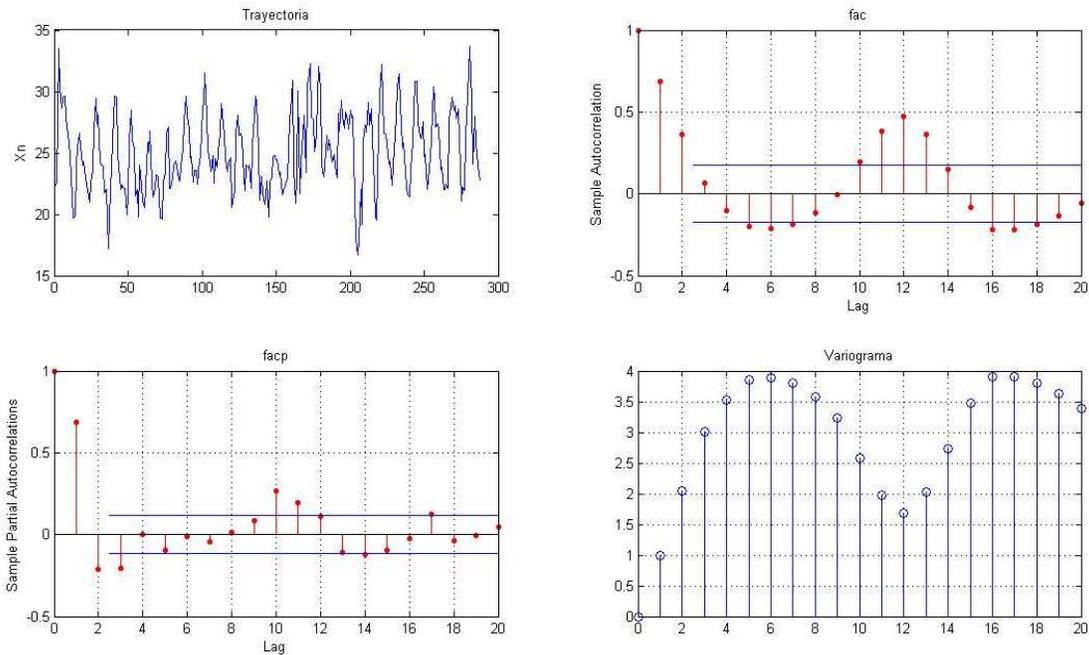


Figura 4.6 serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral, FACPmuestral y variograma de la temperatura máxima de la estación 22004

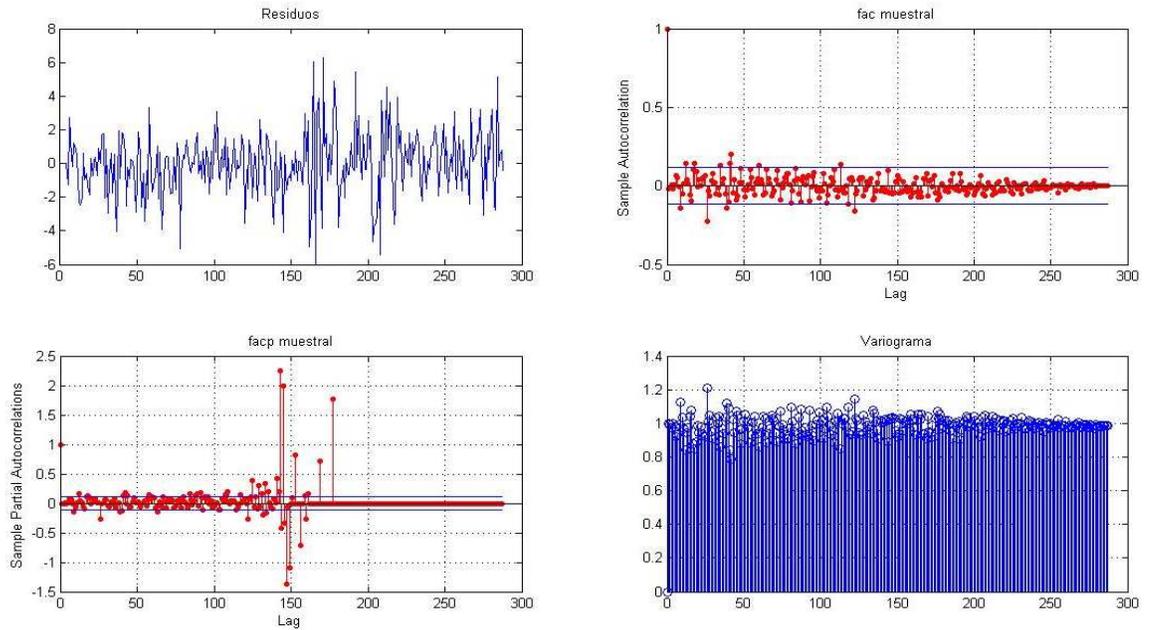
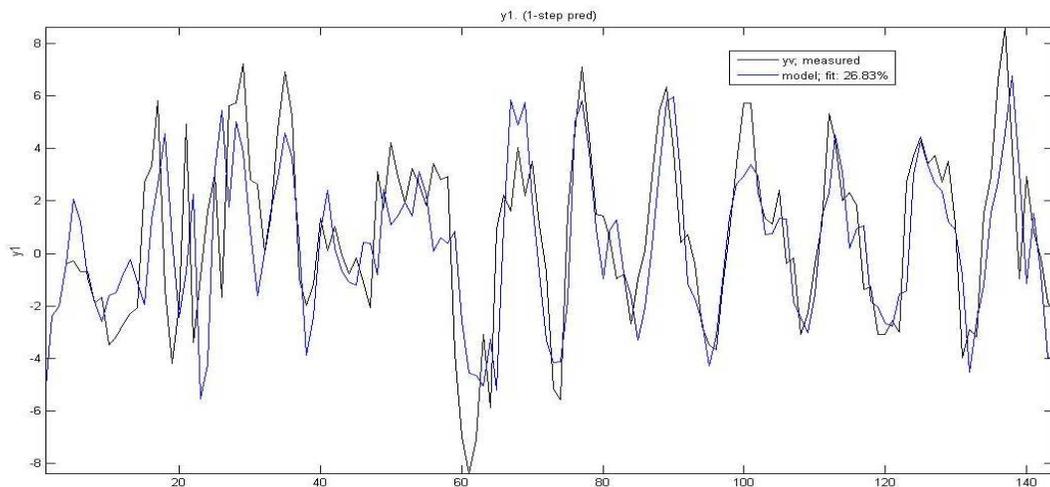


FIGURA 4.7 Proyección de la serie ARMA(5,5) para los valores obtenidos para la estación 22004



En la figura 4.8 se tiene la gráfica de los valores “futuros” o modelados de la estación 22006 por medio del modelo ARMA(5,5) comparados contra las mediciones realizadas en las diferentes estaciones comprobando que siguen la misma tendencias aunque tienen diferencias de máximas de 1.4°C , con esto se puede comprobar que el modelo tiene un buen ajuste y sus predicciones pueden ser confiables

Figura 4.8 valores Modelados vs observados para temperatura máxima de la estación 22006 de enero del 2006 a junio 2011

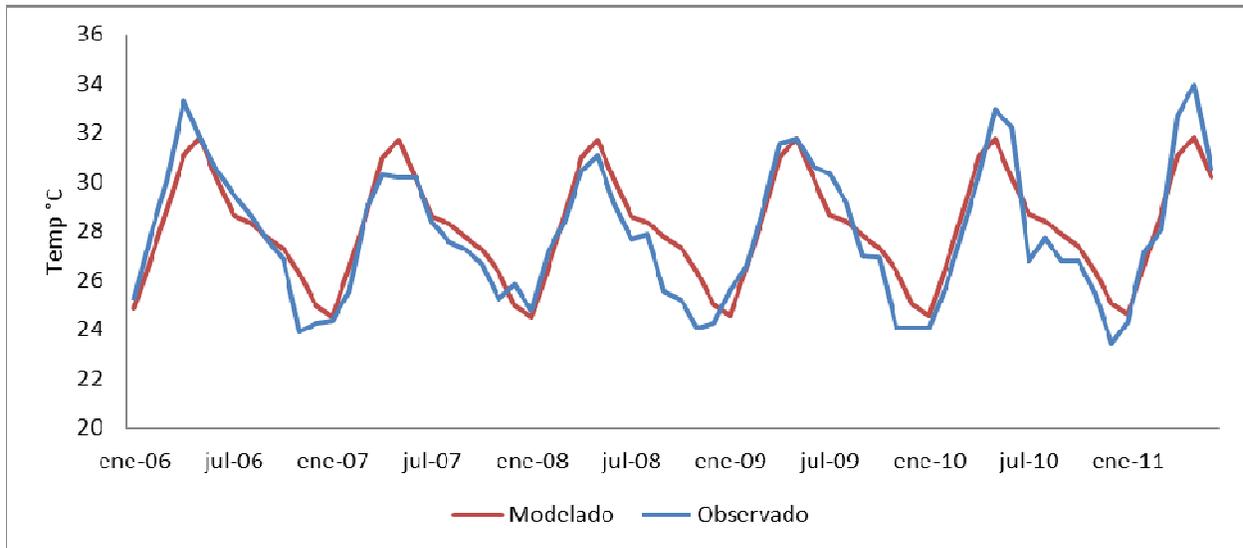


Figura 4.9 Correlación entre los valores observados y modelados para la estación 22006 de enero de 2006 a junio de 2011

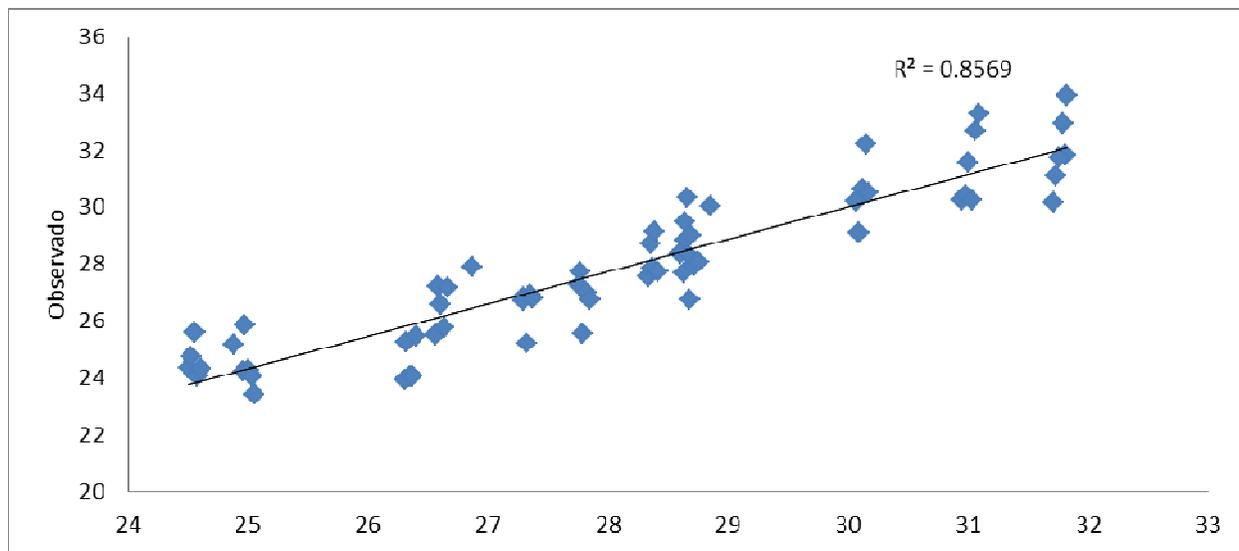


Figura 4.10 serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la precipitación acumulada de la estación 22006

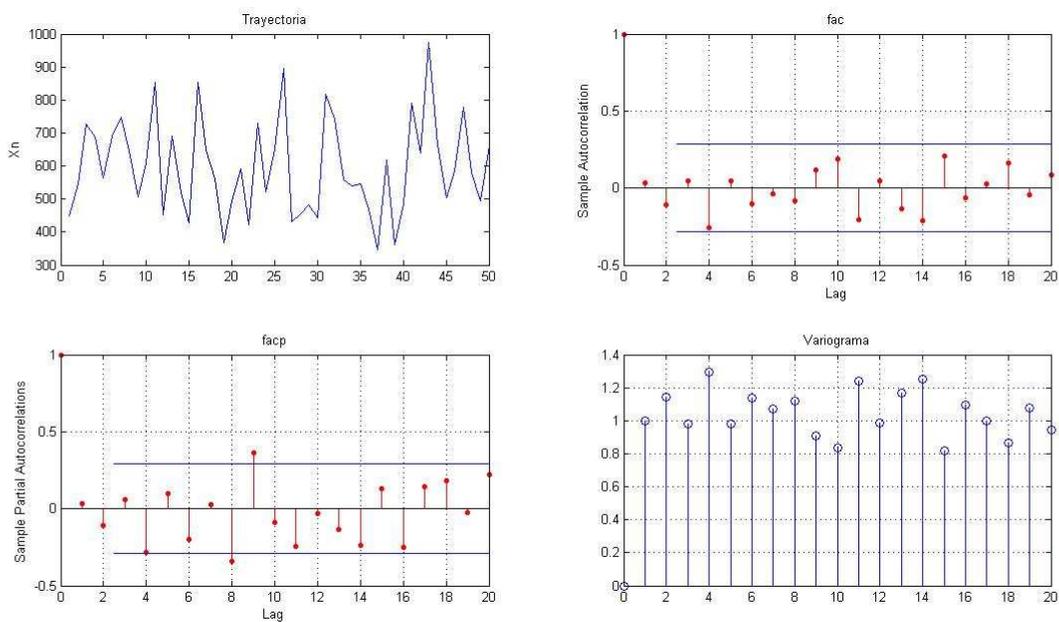


Figura 4.11 serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral, FACPmuestral y variograma de la precipitación acumulada de la estación 22006

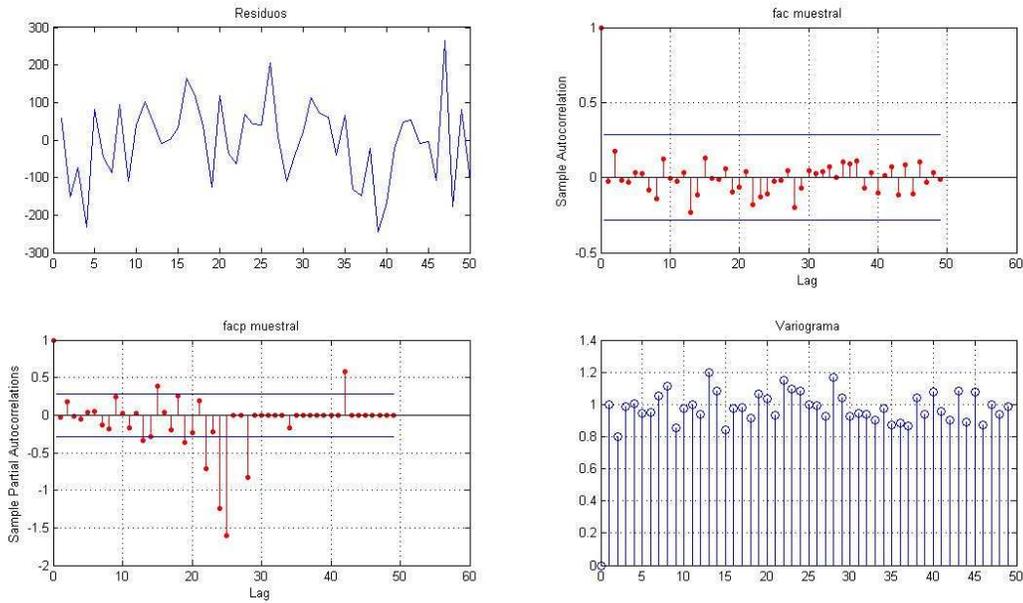


FIGURA 4.12 Proyección de la serie ARMA(6,6) para los valores obtenidos de la precipitación acumulada anual para la estación 22006

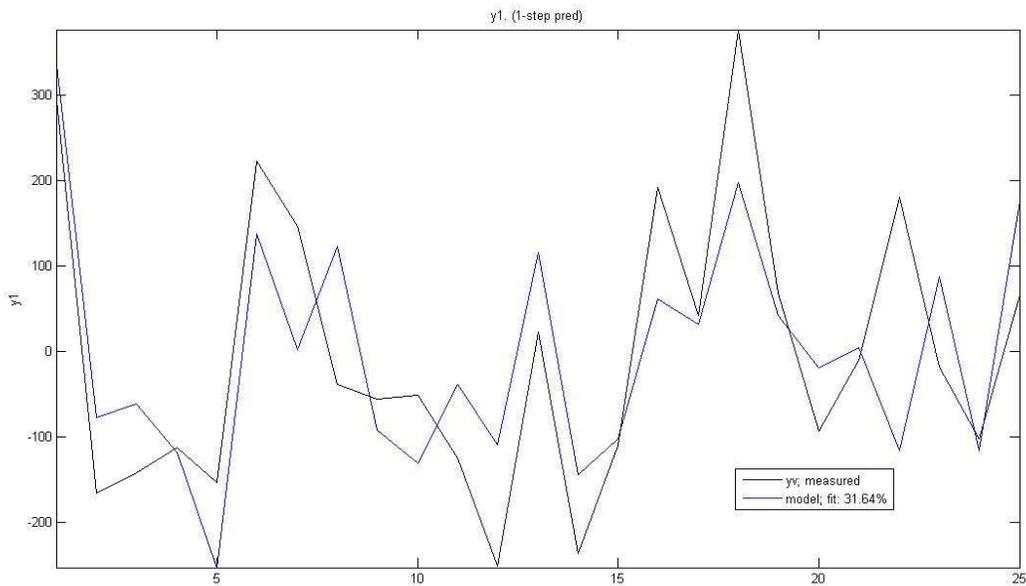


Figura 4.13 serie de tiempo, FAC, FACP y variograma de la temperatura mínima de la estación 22006

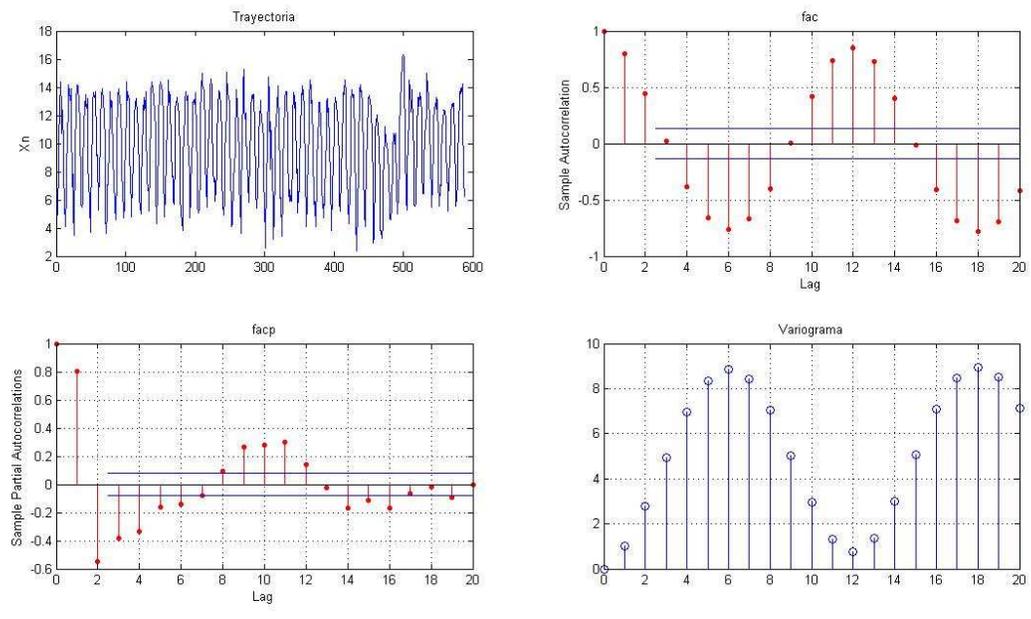


Figura 4.14 serie de tiempo normalizada, residuos, FACmuestral, FACPmuestral y variograma de la temperatura mínima de la estación 22006

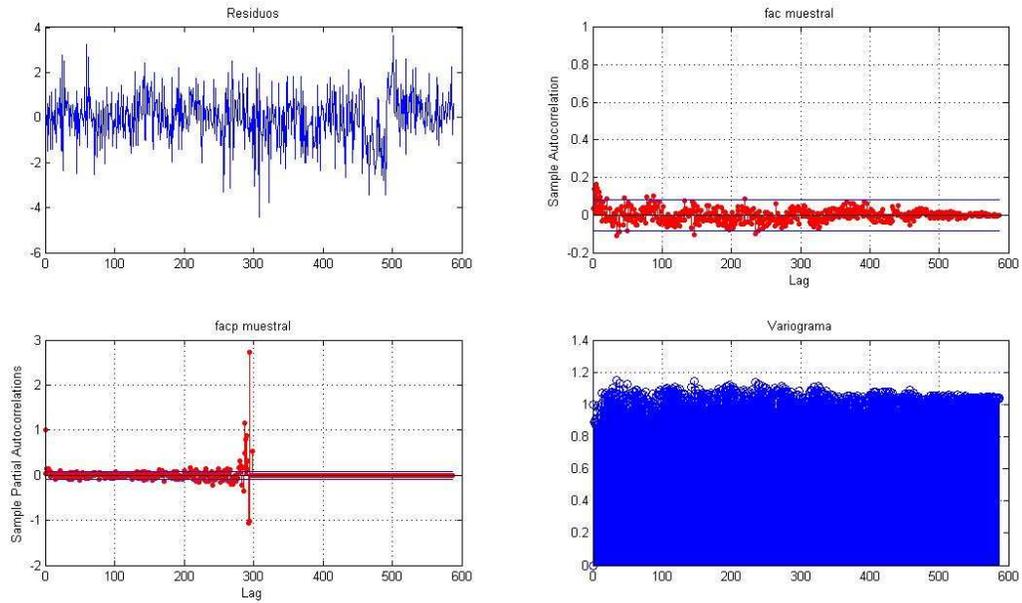
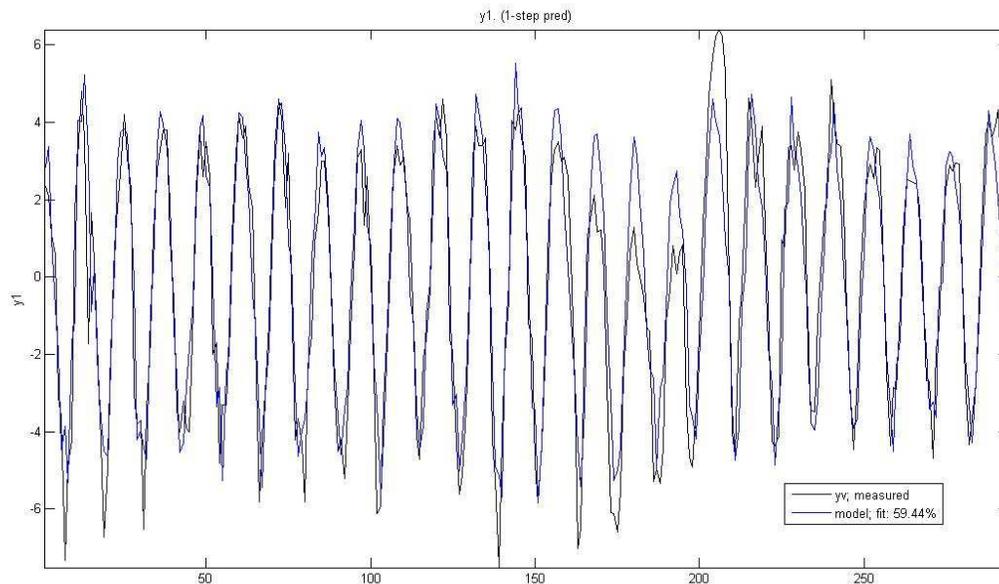


FIGURA 4.15 Proyección de la serie ARMA(4,5) para los valores obtenidos de la precipitación acumulada anual para la estación 22006



4.3 Funciones de Correlación Cruzada

Figura 4.16 Serie temporal de precipitación acumulada anual de las estaciones 22004 y 22006 entre los años 1965 y 2009

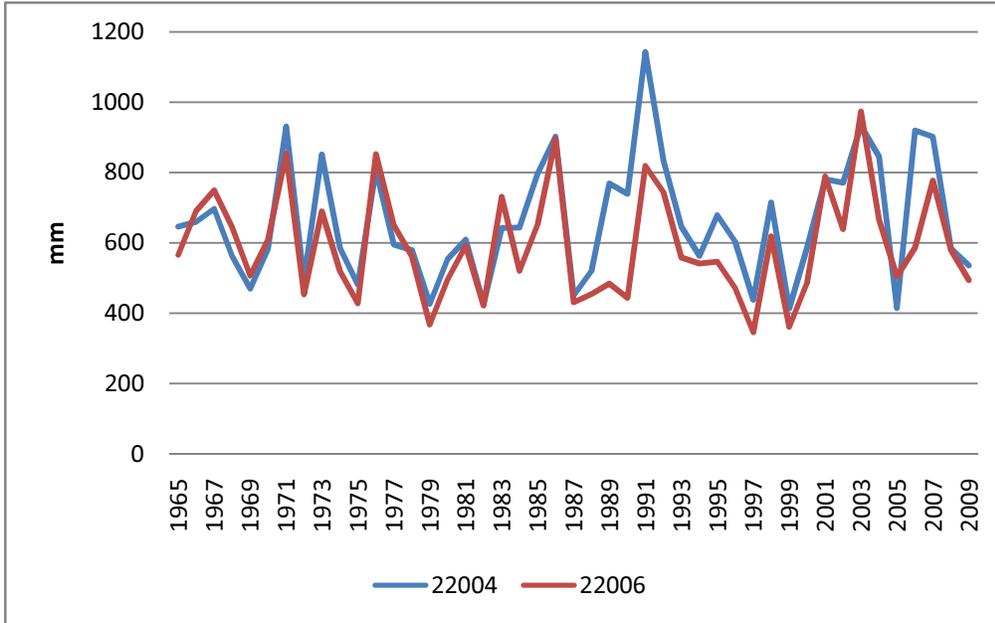


Figura 4.17 Correlación entre las estaciones 22004 y 22006 entre los años 1965 y 2009

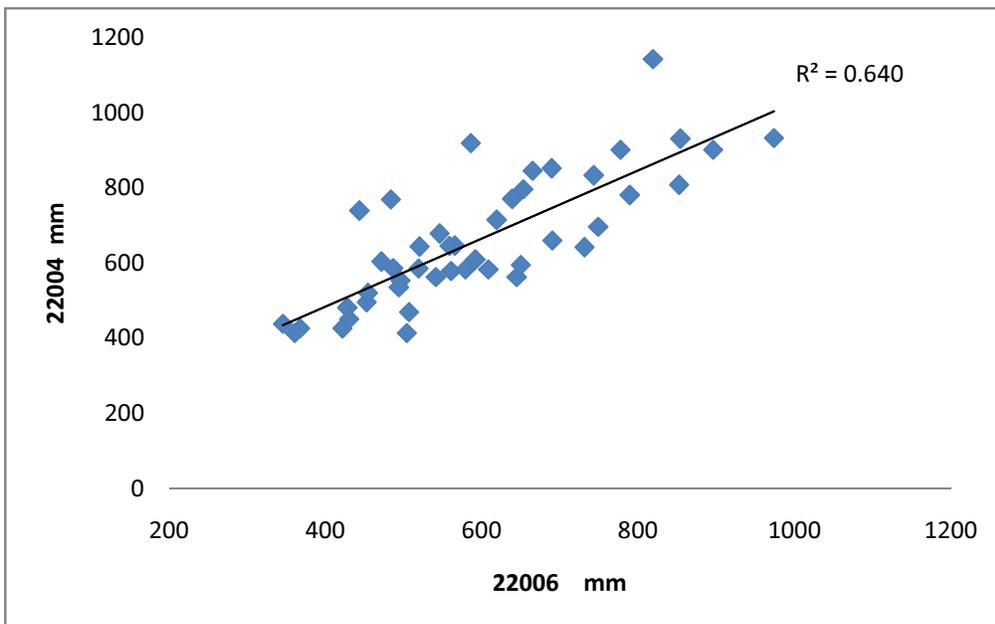


Figura 4.18 tendencia de la temperatura máxima promedio mensual del mes de febrero para las estaciones 22006 y 22029.

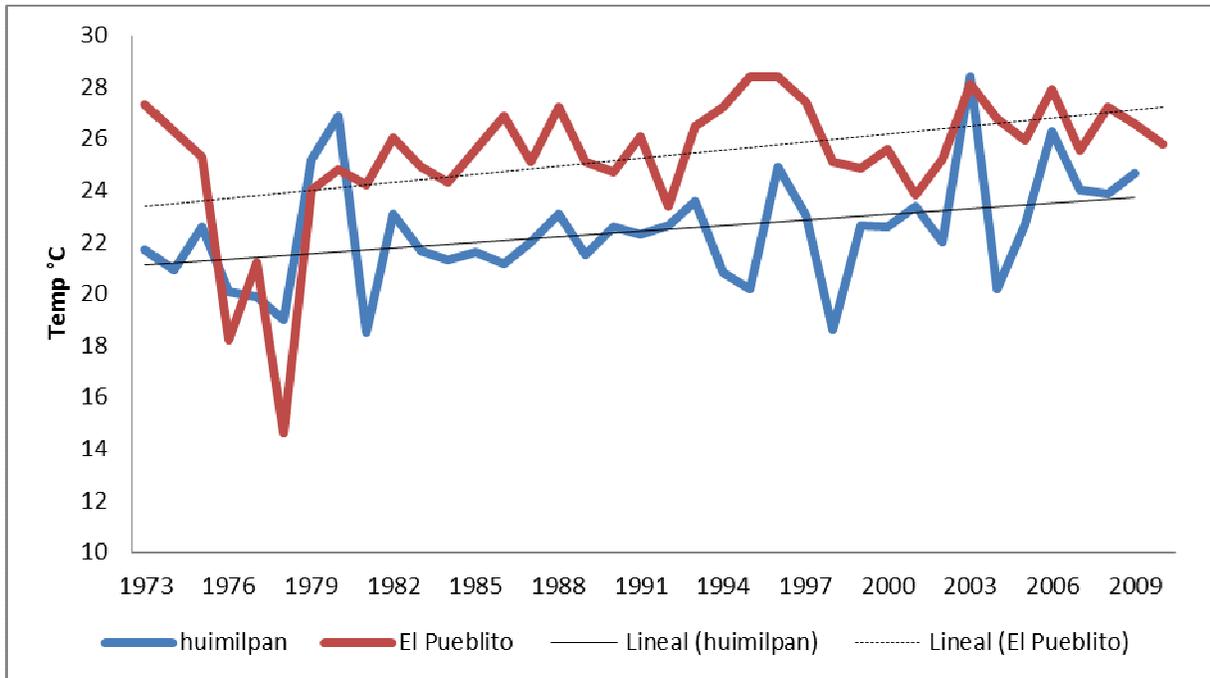
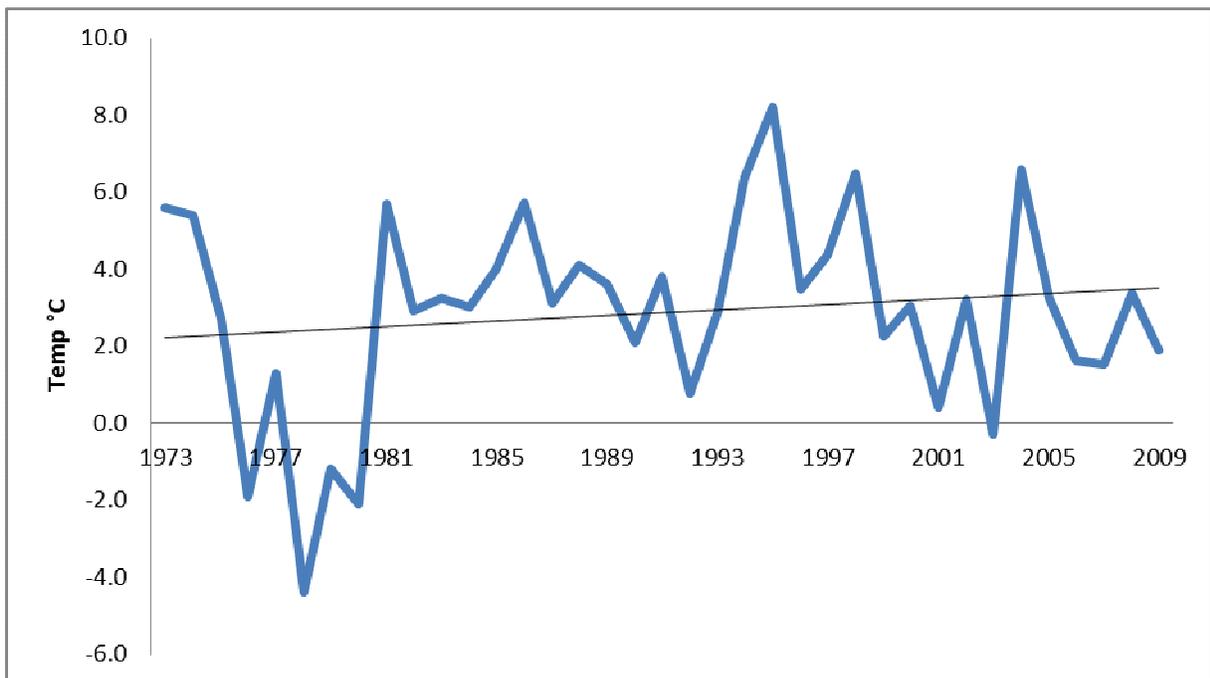


Figura 4.19



La isla de calor urbana se manifiesta a lo largo del año siendo más evidente en los meses de abril y mayo. Para poder comprobar esto se realizó la comparación entre las temperaturas máximas y mínimas en sitios con alturas similares.

La gran variación del terreno y las diferencias en altitudes hacen posible que se muestre una diferencia entre los valores de temperatura. Se puede decir que existe una variación de 0.5°C por diferencia de 100 m de elevación.

Se muestra una isla de calor nocturna en los puntos ubicados a una misma elevación. La variación se puede atribuir a la superficie sobre la cual índice la radiación solar, la cual almacena energía y siendo liberada por las madrugadas.

El registro de una mayor temperatura durante la madrugada en la estación de Plaza Altamira puede deberse a la urbanización donde está ubicada la estación. Los diferentes materiales con los que están elaboradas las estructuras capturan la energía procedente de la radiación solar y la liberan de forma gradual durante el transcurso de la noche.

Figura 4.20 Serie de tiempo de la temperatura el día 11 de Febrero de 2010 en las estaciones de Plaza Altamira y Rancho del ITESSM.

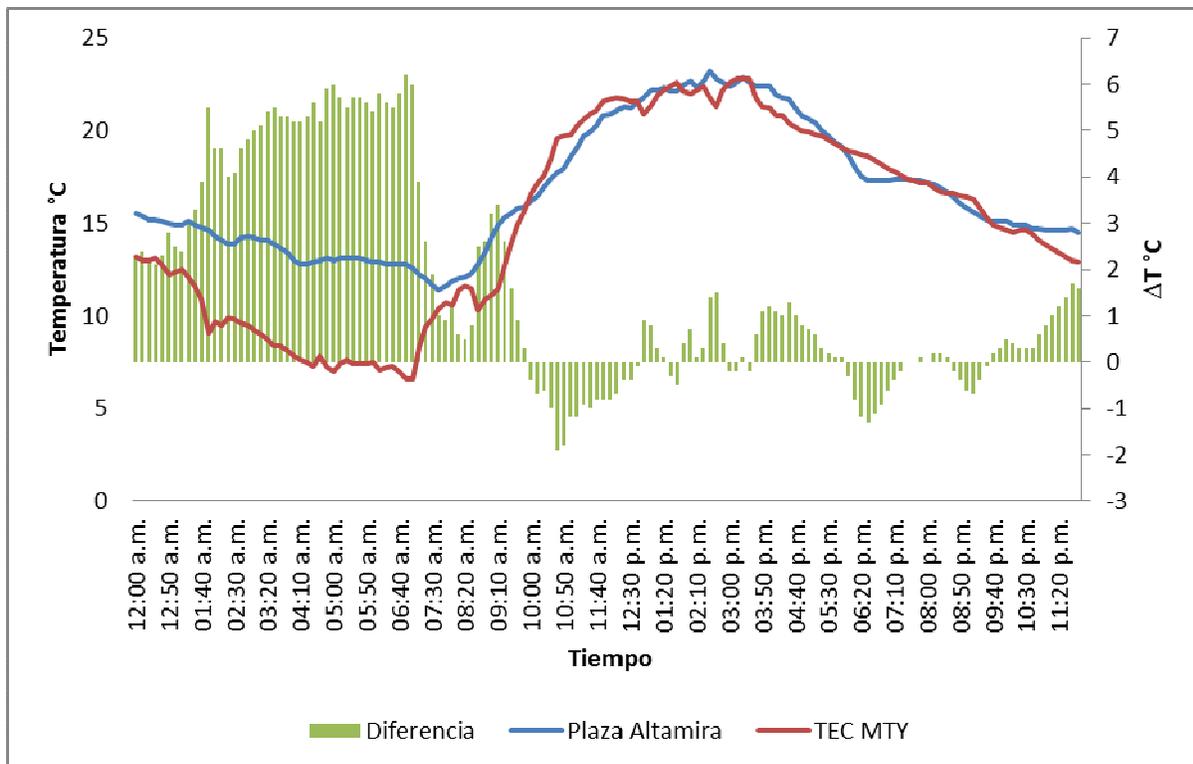


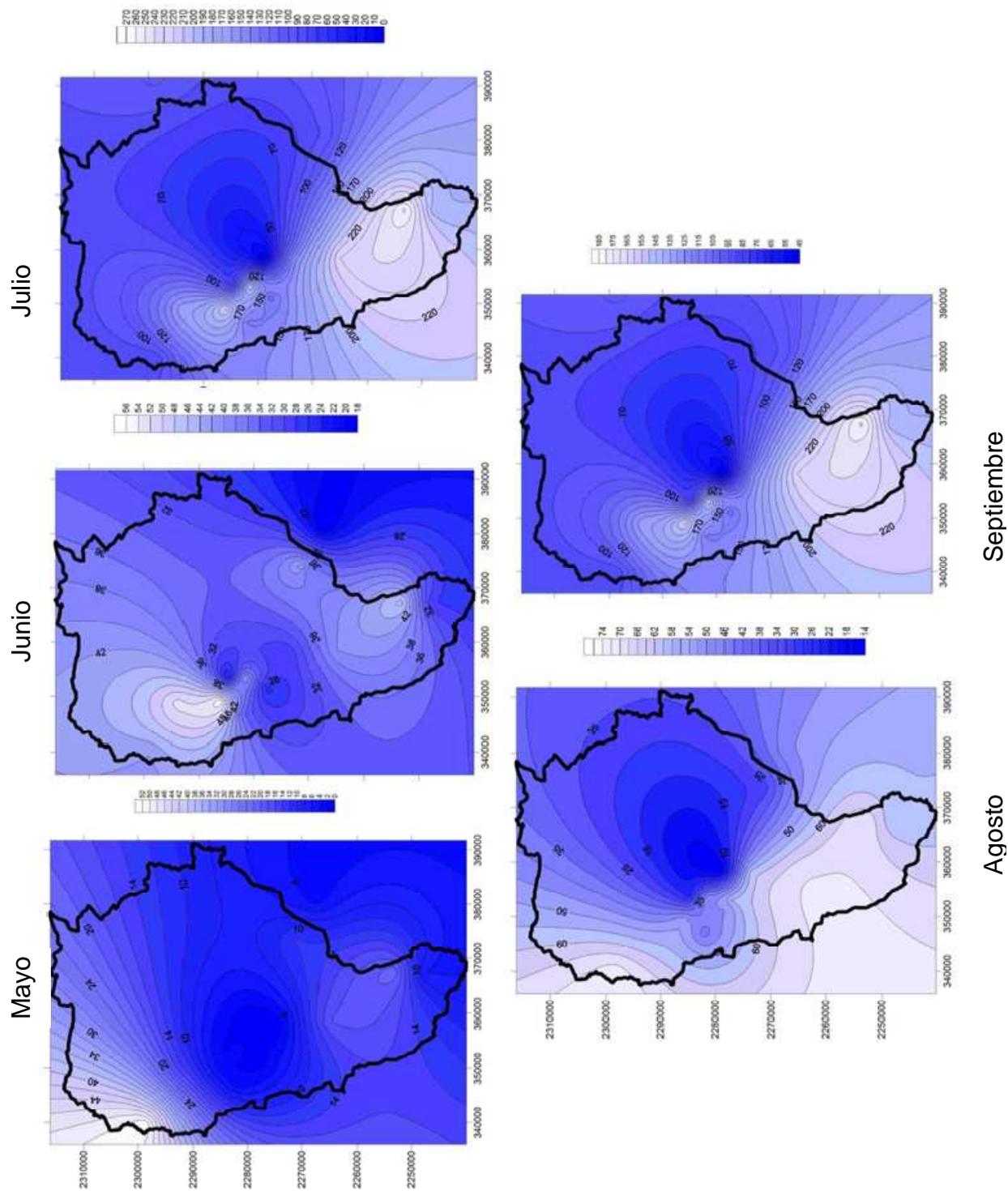
Tabla 4.31 Características de las estaciones Plaza Altamira y Rancho TEC MTY

Sitio	Zona	Altura (MSNM)	Distancia (Km)
Plaza Altamira	Urbana	1935	
Rancho TECMTY	Rural	1908	29.14

La diferencia de las temperaturas entre las estaciones Plaza Altamira y TEC MTY ocurre en mayor grado entre las 01:00 y 07:00 horas donde llega a existir una diferencia de hasta 6°C.

La estación de Plaza Altamira es considerada una estación urbana mientras que la estación del TEC MTY es considerada rural.

Figura 4.21 Variación espacial de la precipitación en 2010

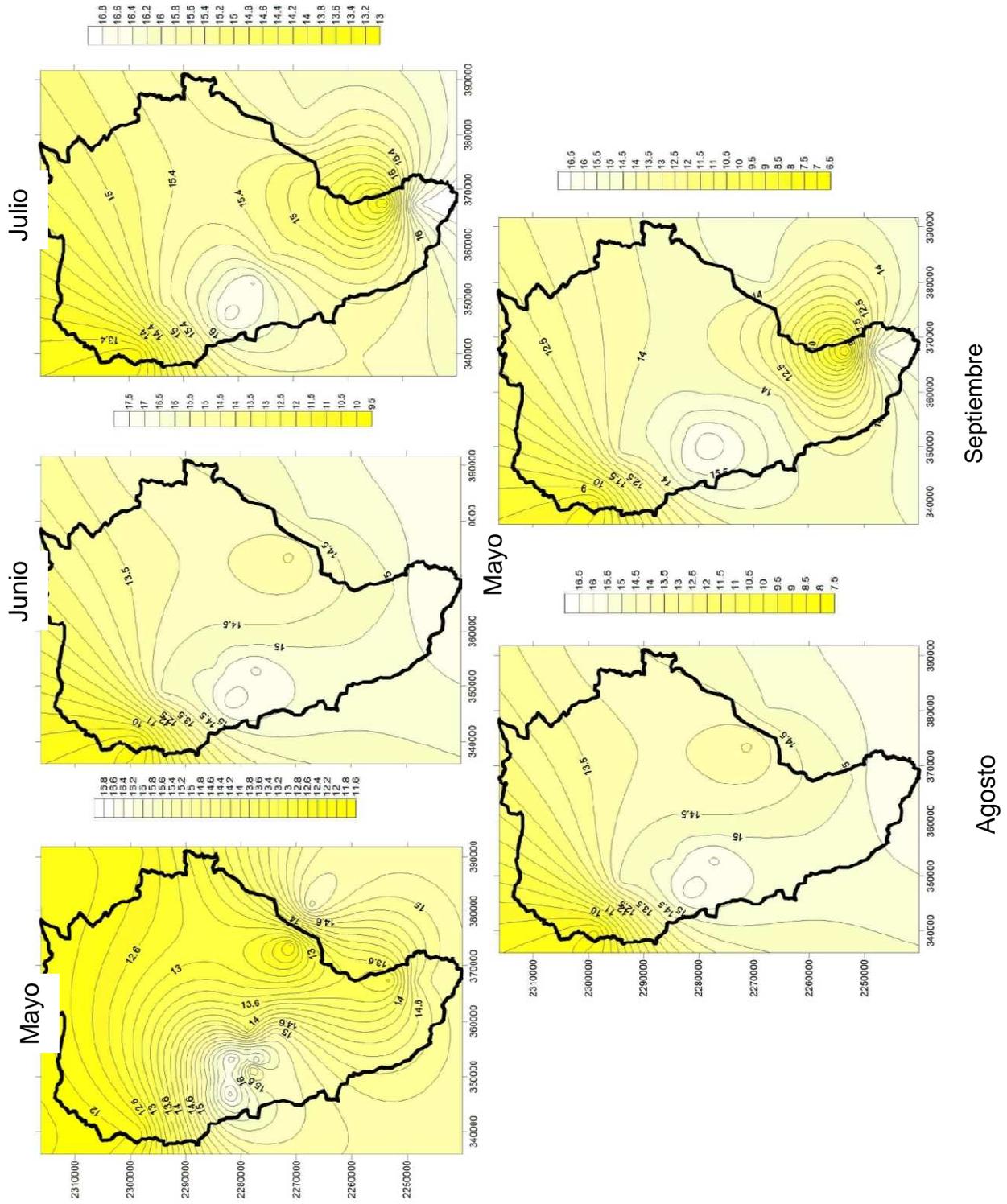


La temporada de lluvia para la cuenca del Río Querétaro abarca los meses de Junio a Septiembre. La precipitación media anual para la ciudad de Querétaro es aproximada a los 600mm. La precipitación ocurre en mayor medida en el sur de la cuenca, teniendo una notación importante en la parte noroeste de la misma.

La temporada de lluvias representa del 40 al 80 % de la precipitación total anual que ocurre dentro de la cuenca. En el año 2010 cerca del 40% de la precipitación ocurrió dentro de los meses de febrero y julio con acumulados mensuales de 140mm y 160mm respectivamente registrados en la estación 22006 El Pueblito, Querétaro.

La zona urbana de la ciudad de Querétaro presenta un comportamiento intermedio dentro de la distribución espacial de la precipitación, llegando a registrar la mayor cantidad con 215mm en la zona de Jurica y 263mm para el mismo periodo en la estación de Huimilpan.

Figura 4.22 Variación espacial de la Temperatura Máxima en 2010

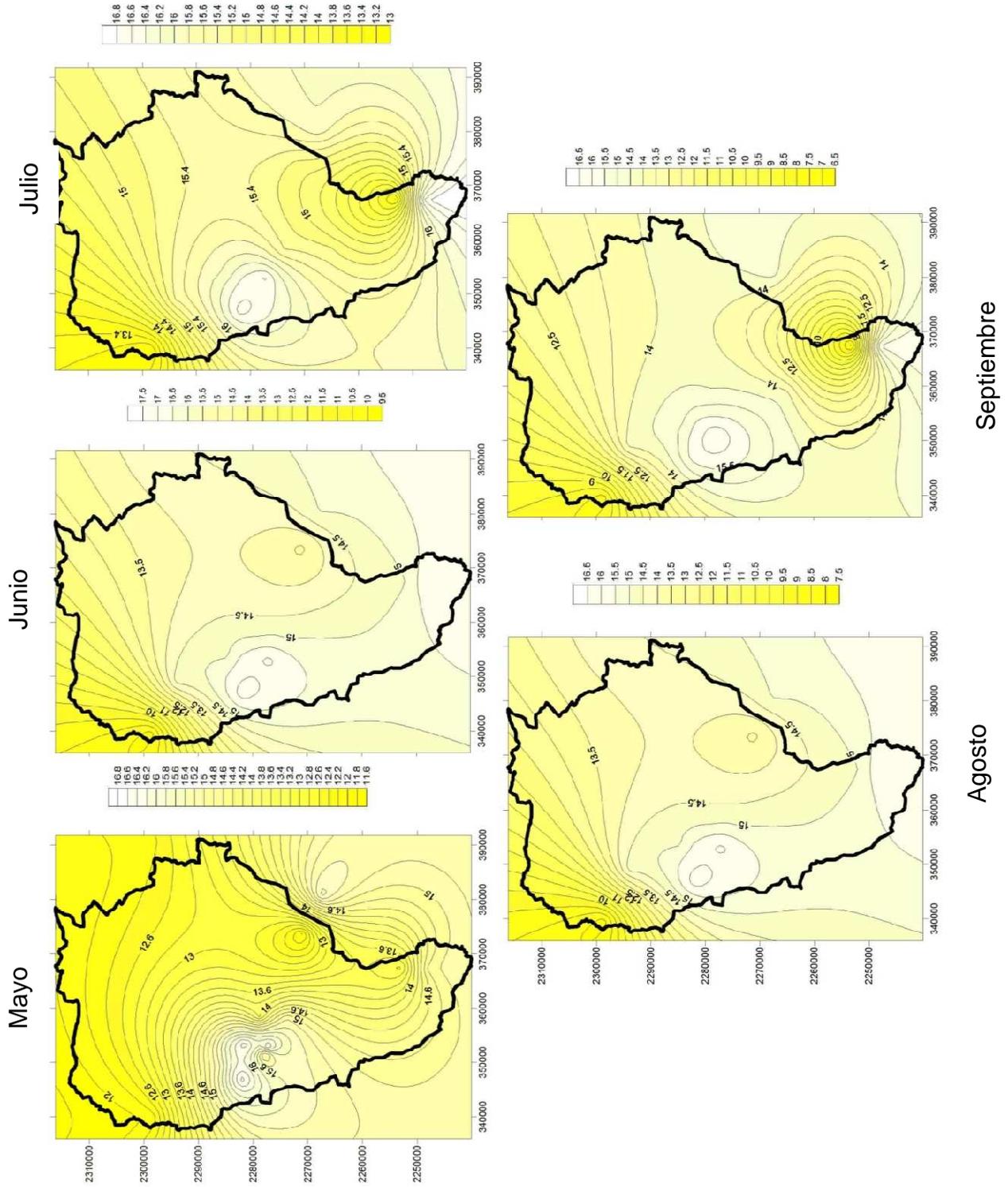


La temperatura mínima sufre de una variación cíclica a lo largo del año. Es decir presenta un promedio de 3 a 4 °C durante enero y febrero, mientras que durante junio y julio presenta valores promedio entre 12 y 14 °C.

Se puede observar que en la zona metropolitana de la ciudad de Querétaro y en la parte sur de la cuenca se tiene las temperaturas más elevadas. De igual manera se hace notar que estas son registradas en las madrugadas es decir entre las 03:00 y 06:00 horas.

La variación de alturas dentro de la cuenca hace posible que existan registros con diferencias de varios grados centígrados.

Figura 4.23 Variación espacial de la temperatura mínima en 2010



La distribución espacial de la temperatura muestra que en las zonas donde existe un desarrollo urbano alto se encuentran las mayores temperaturas y una disminución en las zonas rurales. Tal es el caso de la ciudad de Querétaro y Corregidora en comparación con lugares como Huimilpan y la Rochera donde las temperaturas llegan a ser consideradas menores.

Las temperaturas máximas tienen un comportamiento similar al de las mínimas es decir son cíclicas. Es decir que oscilan entre los 23 para principios del año y 30°C en los meses de junio y julio.

Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo consistió de este trabajo en la evaluación de la tendencia de la temperatura a partir de la información disponible de las principales estaciones ubicadas dentro de la cuenca. Para poder lograr esto se tuvo que realizar un análisis profundo principalmente el análisis de la calidad de los datos en las series temporales para la temperatura máxima y mínima.

La temperatura y la precipitación en la cuenca han sufrido cambios, en el caso de la primera al aumento gradual sin llegar a mostrarse tendencias significativas más que en algunos meses considerados de temperaturas bajas.

La precipitación mostro una disminución muy baja aproximadamente el 4 % del total de la precipitación media anual. Se han registrado años que han cambiado las tendencias en la medición de estas variables tal es el caso del año 2003 en el cual se podría mostrar cómo un año atípico debido a que el acumulado se mostró superior a los 800 mm anuales muy por encima de la media anual.

El cambio de elevaciones tan drásticas a lo largo de la cuenca, hace que su análisis climático sea complicado. Los cambios de uso de suelo hacen que efectos como la isla de calor sean más notorios,

El análisis de modelos ARMA para la predicción de valores futuros es una técnica poco empleada en la creación de escenarios pero poco confiable debido a que esta técnica tiende a la media , haciendo poco confiable los escenarios futuros

El cambio de uso de suelo de tierras agrícolas por paisajes urbanos en los últimos años ha sido un factor importante en el comportamiento de las variables climatológicas dentro de la cuenca.

La zona metropolitana de la ciudad de Querétaro paso de tener en 1960 de 355 045 habitantes a 1.8 millones de habitantes en el 2010, por lo que la demanda por

viviendas y el incremento de la urbanización han tenido efectos sobre las variables climatológicas.

La urbanización de la cuenca del Río Querétaro se ha incrementado de manera considerable pasando de tener 2.6 km² en 1917 hasta tener en la década de los 70's la superficie urbanizada de 25.44 km². Sin embargo de acuerdo con datos del INEGI (2010) el área conurbada de Querétaro había superado los 128.44km².

Referencias

Akaike, H., 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proceeding of the Second International Symposium on Information Theory: 267-281.

Albostan, A., Barutcu, B. and Onoz, B., 2011. A non-linear time series prediction method for missing daily flow rate data of Middle Firat Catchment. Energy Procedia, 6(0): 331-336.

Box, G., Jenkins, G. and Reinsel, G., 1976. Time Series analysis. Forecasting and control. WILEY, 729 pp.

Burlando, P., Rosso, R., Cadavid, L.G. and Salas, J.D., 1993. Forecasting of short-term rainfall using ARMA models. Journal of Hydrology, 144(1-4): 193-211.

Carrera-Hernandez, J. and Gaskin, S., 2007. Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. Journal of Hydrology, 336(3-4): 231-249.

Carrera-Hernandez, J. and Gaskin, S., 2008. Spatio-temporal analysis of potential aquifer recharge: Application to the Basin of Mexico. Journal of Hydrology.

Conde, C. and Ferrer, R., 2006. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. a Mexican case study. *Atmósfera*, 19(3): 181-194.

Changchun, X., Yaning, C., Weihong, L., Yapeng, C. and Hongtao, G., 2007. Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin. *Environmental Geology*, 53(7): 1465-1474.

García-Cueto, O.R., Tejeda-Martínez, A. and Bojórquez-Morales, G., 2009. Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B.C., Mexico. *Atmósfera*, 22(4): 349-365.

GARCÍA BARRÓN, L. and PITA, M.F., 2004. Stochastic analysis of time series of temperatures in the south-west of the Iberian Peninsula. *Atmósfera*, 17: 225-244.

Hamed, K.H., 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3–4): 350-363.

Hertig, E. and Jacobeit, J., 2008. Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change*, 63(2-3): 127-131.

Hsu, C.T. and Adamowski, K., 1981. Multivariate hydrologic time series analysis. *Advances in Water Resources*, 4(2): 83-95.

IMTA, 2005. Extractor Rápido de Información Climatológica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ERIC III.

Indrani, P. and Al-Tabbaa, A., 2009. Trends in seasonal precipitation extremes – An indicator of ‘climate change’ in Kerala, India. *Journal of Hydrology*(367): 62-69.

IPCC, 1990. The IPCC response strategies.

IPCC, 1995. Informe de Sintesis. A Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change

IPCC, 2001. Climate Change 2001: A contribution of Working Groups I, II, III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change, New York, NY. USA, pp. 398.

IPCC, 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Ginebra, Suiza.

Jauregui, E., 1992. Aspects of monitoring local/regional climate change in a tropical region. *Atmósfera*, 5: 69-78.

Jauregui, E., 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmosphere Environment*, 31(22): 3821-3831.

Jauregui, E., 2005. possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in Mexico. *Atmósfera*, 18(4): 247-252.

Jauregui, E., Godínez, L. and Cruz, F., 1992. Aspects of heat island development in Guadalajara, México. *Atmospheric Environment*, 26B(1): 391-396.

Kendall, M.G. y G., J. D., 1990. Rank Correlation methods. Griffin, London, pp. 268

Kim, Y.-H. and Baik, J.-J., 2005. Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5): 591-605.

Loreto Ramírez, S., 2010. Análisis de la tendencia en la temperatura observada y sus posibles impactos en los principales centros urbanos del Bajío, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, 76 pp.

Macleán, I.M.D. et al., 2008. Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology*(14): 2489–2500.

Magaña R., V.O., 2004. El cambio climático global: comprender el problema, Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT-INE.

Magee, N., Curtis, J. and Wendler, G., 1999. The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64(1): 39-47.

Matheron, G., 1971. The theory of regionalized variables and its applications. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*.

Oke, T.R., Spronken-Smith, R.A., Jáuregui, E. and Grimmond, C.S.B., 1999. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33(24–25): 3919-3930.

PVCC, 2009. Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Rizwan, A., Dennis, L. and Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1): 120-128.

SEMARNAT-INE, 2006. Glosario de términos en cambio climático. In: INE (Editor). INE, México, D.F.

Sigrist, F., Künsch, H.R. and Stahel, W.A., 2011. An autoregressive spatio-temporal precipitation model. *Procedia Environmental Sciences*, 3(0): 2-7.

UN, 1997. Glossary of environment statistics. *UN Study Methods (Series F)*: 67, 83.

Velazquez-Lozada, A., Gonzalez, J.E. and Winter, A., 2006. Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment*, 40(9): 1731-1741.

Willems, P. et al., 2012. Rainfall in the urban context: Forecasting, risk and climate change. *Atmospheric Research*, 103(0): 1-3.

Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G., 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259(1–4): 254-271.

Anexo 1

Tabla A1 Listado de las estaciones utilizadas en el relleno de las bases de datos

Edo.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Alt.
Gto.	11005	Apaseo, Apaseo El Granade	-100.683	20.55	1767
Gto.	11006	Apaseo El Alto,Apaseo A.	-100.617	20.467	1767
Gto.	11022	El Terrero, Apaseo Alto	-100.55	20.383	1800
Gto.	11066	San jose iturbide	-100.4	21	1870
Gto.	11088	San jose iturbide (dge)	-100.383	21	1870
Gto.	11105	Ameche, apaseo el grande	-100.583	20.55	1790
Gto.	11122	Presa jalpa, s.m.allende	-100.617	20.767	2040
Gto.	11125	El nopal, penjamo	-100.583	20.45	1785
Gto.	11144	El charape,s.jose iturbi	-100.417	20.9	2200
Gto.	11148	El obraje,apaseo el gde.	-100.6	20.667	2010
Gto.	11155	Corral de piedras,s.m.a.	-100.583	20.967	2050
Mich.	16233	Epitacio huerta, e. H.	-100.283	20.133	2035
Qro.	22001	Amealco,amealco	-100.146	20.185	2640
Qro.	22004	El batan,corregidora	-100.424	20.504	1880
Qro.	22006	El pueblito,corregidora	-100.448	20.522	1830
Qro.	22009	La palma, pedro escobedo	-100.183	20.517	1962
Qro.	22011	Pedro escobedo	-100.133	20.5	2000
Qro.	22013	Queretaro,queretaro	-100.383	20.617	1813
Qro.	22014	Rancho de venegas	-100.267	20.617	1892
Qro.	22018	Villa corregidora	-100.433	20.533	1800
Qro.	22023	F.c.puerto,queretaro	-100.333	20.583	
Qro.	22027	Carrillo,queretaro	-100.441	20.604	1800
Qro.	22029	Huimilpan,huimilpan	-100.281	20.384	2250

Qro.	22037	El rincon, amealco	-100.15	20.183	2000
Qro.	22040	E.t.a. 210 p. Escobedo	-100.133	20.483	
Qro.	22041	La joya,queretaro	-100.217	20.556	2400
Qro.	22043	Coyotillos, el marquez	-100.233	20.617	1915
Qro.	22044	Galindillo, amealco	-100.083	20.267	
Qro.	22045	Juriquilla,queretaro	-100.459	20.704	1890
Qro.	22049	El zamorano,colon	-100.212	20.904	2590
Qro.	22050	Ceja de bravo,huimilpan	-100.424	20.398	2120
Qro.	22058	Santa teresa,huimilpan	-100.303	20.492	2040
Qro.	22061	Conafrut, los cues	-100.517	20.783	
Qro.	22063	Queretaro,qro.(dge)	-100.383	20.583	1813
Qro.	22067	La venta,pedro escobedo	-100.188	20.486	1910
Qro.	22070	Plantel 7 ,el marques	-100.344	20.606	2000
