

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE MATEMÁTICA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

“DESARROLLO DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE PREDICCIÓN EN LA ZONA ORIENTAL DEL PAÍS, SOBRE LA MAGNITUD DE LA CANÍCULA EN LA ÉPOCA LLUVIOSA”.

**PRESENTADO POR:**

BR. HÉCTOR DAVID VELIS CABEZAS  
BR. RODRIGO CRUZ ORELLANA LEÓN

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

LIC. EN ESTADÍSTICA Y COMPUTACIÓN  
LIC. EN MATEMÁTICA OPCIÓN: ESTADÍSTICA-COMPUTACIÓN

**ASESORES:**

ING. TOMÁS RIVAS PACHECO  
LIC. ROLANDO LEMUS GÒMEZ

*CIUDAD UNIVERSITARIA, 17 DE ENERO DE 2005.*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**Autoridades Universitarias 2003 - 2007**

---

Dra. María Isabel Rodríguez  
**RECTORA**

Ing. Agr. Joaquín Orlando Machuca  
**VICERRECTOR ACADEMICO**

Dra. Carmen Rodríguez de Rivas  
**VICERRECTORA ADMINISTRATIVA**

Licda. Margarita Muñoz  
**SECRETARIA GENERAL**

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda  
**FISCAL GENERAL**

Lic. Nelson Boanerges Carrillo  
**DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

---

Msc. Héctor Elías  
**DECANO**

Msc. Francisco Antonio Chicas  
**VICEDECANO**

Lic. Mauricio Hernán Lovo  
**DIRECTOR DE ESCUELA DE MATEMÁTICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE MATEMÁTICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

“DESARROLLO DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE PREDICCIÓN EN LA ZONA ORIENTAL DEL PAÍS, SOBRE LA MAGNITUD DE LA CANÍCULA EN LA ÉPOCA LLUVIOSA”.

**PRESENTADO POR:**

BR. HÉCTOR DAVID VELIS CABEZAS  
BR. RODRIGO CRUZ ORELLANA LEÓN

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

LIC. EN ESTADÍSTICA Y COMPUTACIÓN  
LIC. EN MATEMÁTICA OPCIÓN: ESTADÍSTICA-COMPUTACIÓN

**ASESORES:**

ING. TOMÀS RIVAS PACHECO : \_\_\_\_\_

LIC ROLANDO LEMUS GÒMES : \_\_\_\_\_

*CIUDAD UNIVERSITARIA, 17 DE ENERO DE 2004.*

## AGRADECIMIENTOS

---

Doy gracias a Dios todo poderoso que me ha permitido cumplir satisfactoriamente todos los requisitos que exige la carrera, dándome sabiduría cuando más la necesitaba. Por otra parte agradecer a mi familia, mi papá, Héctor David; mi mamá Blanca Lilian y mis tres hermanos Jairo, Carlos y Claudia que me dieron su apoyo sin restricciones y sobre todo mucho animo. A mi novia y futura esposa Sonia Elizabeth por darme su amor y apoyo incondicional cuando más lo necesitaba. Agradezco de antemano a mis asesores por darme la confianza para desarrollar este proyecto y a todas aquellas personas que me dieron la mano cuando los buscaba para pedirles un rallito de iluminación cuando el camino no se miraba claro.

Héctor David Velis Cabezas.

Con el transcurrir del tiempo, la vida me ha enriquecido de muchos conocimientos, cosechando con su puesta en práctica muchos frutos y fortaleciendo mis metas propuestas, buscando con ello ser cada día mejor; todo esto gracias a DIOS que ha sido la expresión perfecta de amor y guía que he tenido.

Por eso el presente trabajo de investigación se lo dedico a mi persona, porque con él culmino una experiencia agradable, un sueño deseado, una meta difícil en mi camino por los diferentes obstáculos vencidos.

No es fácil, no se puede solo; todo sueño, toda meta a alcanzar y todo obstáculo a vencer siempre hay alguien a quien debes recurrir.

Por eso, mi reconocimiento a todas las personas que me aprecian, que han creído en mis sueños y me han ayudado a hacerlos realidad, en especial a mis padres, hermanos, Juliana, David, Don. Julio, mis profesores de La universidad y a mis dos asesores: Ing. Pacheco y al Lic. Rolando Lemus.

Rodrigo Cruz Orellana León.

# INDICE DE CONTENIDOS

---

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>INTRODUCCION</b> .....	ix-x
<b>CAPITULO I: INVESTIGACION PRELIMINAR</b>	
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 GENERALIDADES.....	1
1.2.2 ESPECIFICIDAD.....	1
1.2.3 MODELOS DE ALISADO.....	2
1.2.4 MODELOS ARIMA(p,d,q)xARIMA(P,D,Q)s .....	5
1.2.4.1    MODELO DE MEDIAS MOVILES MA(q).....	6
1.2.4.2    MODELOS AUTORREGRESIVOS AR(p).....	8
1.2.5 ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGIA DE BOX- JENKINS.....	13
1.3 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION.....	16
1.4 IMPORTANCIA DE LA TESIS.....	19
1.5 LA UTILIDAD.....	19
1.6 FACTIBILIDAD.....	20
1.7 PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS.....	20
1.8 OBJETIVOS.....	21
1.8.1 OBJETIVOS GENERALES.....	21
1.8.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
<b>CAPITULO II: LA CANICULA EN LA ZONA ORIENTAL</b>	
2.1 INTRODUCCION.....	22
2.2 MARCO HISTORICO.....	22
2.2.1 EPOCA PRECOLOMBINA.....	22
2.2.2 EPOCA COLONIAL.....	22
2.2.3 EL CLIMA EN EL SIGLO XVIII.....	23

2.2.4 EL CLIMA EN EL SIGLO XIX.....	24
2.2.5 EL CLIMA EN EL SIGLO XX.....	27
2.3 EL SALVADOR.....	28
2.3.1 UBICACION GEOGRAFICA DE EL SALVADOR.....	28
2.3.2 CLIMA EN EL SALVADOR.....	29
2.3.3 ESTACION LLUVIOSA.....	31
2.3.4 CANICULA.....	32
2.3.4.1 DEFINICION.....	32
2.3.4.2 CAUSAS.....	32
2.3.4.3 EFECTOS.....	33
2.4 ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR.....	34
2.5 SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS NATURALES (SNET).....	36
2.5.1 FUNDACION DE SNET.....	36
2.5.2 OBJETIVOS.....	37
2.5.3 METAS.....	38
2.5.4 ACCIONES.....	39
 <b>CAPITULO III: DESCRIPCION DE DATOS.</b>	
3.1 INTRODUCCION.....	40
3.2 ANALISIS GRAFICO DE LOS DATOS.....	40
3.3 CONTRASTE DE HIPOTESIS.....	45
 <b>CAPITULO IV: METODOLOGIA BOX-JENKINS</b>	
4.1 INTRODUCCION.....	50
4.2 ETAPAS DE LA METODOLOGIA BOX-JENKINS PARA EL MES DE JULIO.....	51
4.2.1 IDENTIFICACION .....	51
4.2.2 ESTIMACION.....	52
4.2.3 CHEQUEO.....	52
4.2.3.1 ANALISIS DE LOS RESIDUOS.....	52
4.2.4 PREDICCION.....	58
4.2.4.1 AJUSTE DE LAS PREDICCIONES.....	58
4.2.4.2 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO.....	58

4.3 ETAPAS DE LA METODOLOGIA BOX-JENKINS PARA EL MES DE AGOSTO.....	61
4.3.1 IDENTIFICACION .....	61
4.3.2 ESTIMACION.....	63
4.3.3 CHEQUEO.....	63
4.3.3.1 ANALISIS DE LOS RESIDUOS.....	63
4.3.4 PREDICCION.....	68
4.3.4.1 AJUSTE DE LAS PREDICCIONES.....	68
4.3.4.2 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO.....	69
<b>CAPITULO V: PREDICCIONES POR REGRESIONES LINEALES</b>	
5.1 INTRODUCCION.....	72
5.2 ESTIMACION DE LOS PARAMETROS PARA EL MES DE JULIO Y AGOSTO.....	72
5.3 ANALISIS DE LOS RESIDUOS.....	72
5.4 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO.....	73
<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

## RESUMEN

El objeto de estudio del presente documento es el desarrollo de varios modelos estadísticos de predicción en la Zona Oriental del país, sobre la intensidad de la canícula en la época lluviosa el cual esta desarrollado en un espacio de cinco capítulos.

El primero comprende el planteamiento del método, el tiempo, los recursos, los objetivos y los colaboradores en el desarrollo; además encontramos una breve descripción de los modelos de alisado y del modelos  $ARIMA(p,d,q) \times ARIMA(P,D,Q)_s$ .

En el segundo capítulo se describe los cambios en el tiempo de la época lluviosa y los impactos de esta en la zona oriental, la creación y los trabajos realizados por el Servicio Nacional de Estudios territoriales (SNET).

El capítulo tres describe la base de datos que nos proporcionó SNET haciendo un análisis gráfico para cada estación y una limpieza de datos atípicos haciendo estimaciones y cubrimientos en la serie de los meses de julio y agosto, observando una disminución significativa en las lluvias en estos dos meses; además se hace una exploración de los datos para apreciar las relaciones entre las estaciones meteorológicas.

En el capítulo siguiente se aplica la metodología de Box-Jenkins cuya teoría proporciona cuatro etapas para el desarrollo de un modelo: Identificación, estimación, chequeo y predicción, que fue aplicada para la estación de Gotera departamento de Morazán en el mes de julio encontrándose un comportamiento IMA (1,1). Por otra parte se analizó los meses de julio y agosto por separado para las cuatro estaciones meteorológicas en estudio encontrándose que los coeficientes de correlación lineal eran significantes y que todas las funciones de correlación cruzada generadas estaban relacionadas con el rezago cero, esto motivó a utilizar modelos de regresión lineal simple para predecir las demás estaciones a partir de los resultados autopredictivos de la estación de San Francisco Gotera.

## INTRODUCCION

La tesis que se presenta constituye el desarrollo de varios modelos estadísticos de predicción en la zona oriental del país sobre la intensidad de la canícula<sup>1</sup> en la época lluviosa problema que tiene sus raíces en muchos estudios realizados por diferentes instituciones y estudiosos en la materia a nivel latinoamericano.

Hoy en día el SNET, es la institución que ha venido dedicando su fuerza de trabajo desde el 2002 a la obtención y manipulación de información meteorológica, resultando de ello una amplia información bibliográfica que nos ayudó a la formulación del problema.

Entre los principales investigadores salvadoreños que actualmente se dedican a este tipo de procesos tenemos a Lic. Luis A. García Guirola e Ing. Tomas Rivas Pacheco pertenecientes a SNET.

La zona oriental es el centro de nuestro estudio y específicamente las estaciones meteorológicas de: La Unión en la Unión, Santiago de Maria en Usulután, El Papalón en San Miguel y San Francisco Gotera en Morazán; pues es la que se afecta de manera directa e impactante negativamente cuando la estación lluviosa<sup>2</sup> no se presenta normalmente.

Al hacer el análisis grafico de las series de datos<sup>3</sup> proporcionadas por SNET comprendidos entre 1961-2002 pudimos apreciar un aumento considerable de las lluvias en los meses de junio y septiembre y una disminución significativa en julio y agosto en medio de la época lluviosa.

En esta tesis se presenta el enfoque de Box-Jenkins aplicado a la estación de Gotera que presentó una serie cuasi-estacionaria, ya que se tuvo que aplicar una diferenciación a la serie de datos original; se verifico que los modelos susceptibles de haber generado la serie tanto para julio como agosto resultaron ser de medias móviles de orden 1.

---

<sup>1</sup> CANICULA: Disminución significativa de las lluvias sobre todo en julio y agosto en medio de la época lluviosa

<sup>2</sup> ESTACION LLUVIOSA: Es aquel periodo en donde la precipitación excede a la evaporación e inicia en mayo y finaliza en octubre.

<sup>3</sup> SERIE DE DATOS: Conjunto de datos recopilados en un lapso de tiempo.

Esta metodología es bastante completa debido a su fuerte base teórica estadística, la cual permite tener un grado de confiabilidad bastante alto, pues estos métodos han sido desarrollados a lo largo de muchos años y tienen una base teórica sustentada. Por otra parte, se introdujo adicionalmente el análisis de regresión lineal univariante, ya que se encontró una fuerte relación lineal entre los datos de las estaciones.

Para finalizar, sabemos que para SNET es de mucha importancia la existencia de modelos de predicción de este tipo ya que le permite anticiparse al futuro y alertar a la población salvadoreña sobre posibles impactos negativos debido a la disminución de las lluvias.

# **CAPITULO I: INVESTIGACION PRELIMINAR**

## **1.1 INTRODUCCION**

En la etapa preliminar, se planteó el problema de investigación con la orientación de los docentes en esta especialidad, se determinó, la metodología, el tiempo, los recursos a utilizar y la institución que nos proporcionaría la base de datos. Se definieron los objetivos a alcanzar, finalizando con la presentación del documento que constituye la planeación del trabajo de graduación.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 GENERALIDADES.**

Los modelos estadísticos de predicción de la variabilidad climática pueden haber varios con diferentes metodologías y porcentaje de certeza.

La existencia de investigaciones en esta área, no implica que no se puedan realizar otras más actualizadas y acorde con el tiempo en que vivimos, como el modelo a desarrollar en esta investigación que tiene su propia metodología, enfocado específicamente al fenómeno canicular el cual esta orientado a proporcionar posibles soluciones en el área meteorológica, estadística y social; información que servirá además a futuros investigadores, meteorólogos, docentes y estudiantes en esta área.

### **1.2.2 ESPECIFICIDAD.**

El modelo estadístico a desarrollar con datos reales registrados a través del tiempo, tiene como centro de estudio la zona oriental de El salvador y específicamente la canícula que se define como la “disminución significativa de las lluvias en julio y agosto en plena época lluviosa de mayo a octubre”. Según mapa preliminar de tipos de canículas o sequías meteorológicas (ver fig.1 de ANEXOS CAPÍTULO I, Pág. 80), la canícula afecta mayormente la zona oriental.

El periodo de registro a utilizar para formular el modelo estadístico corresponde a los datos de lluvia precipitada en milímetros de los últimos cuatro decenios (1961-2002).

Los modelos a utilizar en el desarrollo del trabajo son:

- Modelo Estocástico General de Series Temporales  
Modelo  $ARIMA(p,d,q) \times ARIMA(P,D,Q)_s$
- Modelo de Regresión Múltiple

Analizaremos y evaluaremos la información con diferentes programas estadísticos como el SPSS de sus siglas en inglés Statistical Package for the Social Science (Paquete Estadístico para Ciencias Sociales) y el STATISTICA.

Este modelo, además de servir como un análisis para el periodo canicular, será una herramienta de predicción directa y de prevención-mitigación de los problemas socioeconómicos y ambientales asociados al fenómeno en la zona oriental; su utilidad comprenderá además una fuente de información teórica acerca del periodo lluvioso la canícula y algunos métodos estadísticos los cuales se describen brevemente a continuación

### **1.2.3 MODELOS DE ALISADO.**

Desde la perspectiva científica y tratándose de procedimientos cuantitativos, hay dos términos: predicción y previsión, que se usan para designar los intentos de anticipar el futuro. De aquí en adelante se usará el primero.

En el contexto temporal, puede hablarse de dos clases de predicciones: Condicionales e Incondicionales. Las predicciones Condicionales son las que se realizan mediante modelos causales. Por ejemplo, un Modelo de Regresión que relacione dos variables, una dependiente, Y, y otra independiente, X. Las predicciones incondicionales son las que se hacen mediante métodos autoproyectivos. Estos métodos pueden estar basados en dos enfoques alternativos: el determinista o clásico y el estocástico o moderno.

En esta primera parte se exponen de manera teórica, métodos encaminados al primer enfoque, y anticipando que estos son más adecuados cuando se disponen de un número limitado de observaciones.

Los métodos autoproyectivos se han presentado muchas veces como una alternativa a los modelos econométricos. Sin embargo, en la práctica econométrica es frecuente hacer uso combinado de ambos enfoques. La forma más simple de conexión se presenta cuando en un modelo de regresión es preciso predecir  $Y$  condicionado a  $X$ . Entonces hay que introducir los valores futuros de  $X$  como dato en la ecuación de predicción  $Y$ , y para ello se predice aparte mediante un modelo autoproyectivo de Series Temporales.

En efecto, las predicciones mediante métodos autoproyectivos se basan en la hipótesis de continuidad, según la cual el futuro seguirá siendo en cierto sentido como en el pasado, manteniéndose las mismas pautas o regularidades observadas durante el periodo muestral.

La posible aparición de cambios estructurales constituye siempre una amenaza, tanto más seria cuanto mayor sea el horizonte temporal de la predicción.

Según su horizonte temporal, las predicciones se clasifican en tres clases: a corto, a medio y a largo plazo. Estos términos se entienden de distintas maneras según el área de aplicación y de acuerdo con la perspectiva adoptada.

Para cada tipo de predicciones a corto, a medio y largo plazo, existen unos métodos que resultan adecuados. Por ejemplo, el análisis de Tendencia es un método para analizar predicciones a largos plazos, los métodos econométricos proporcionan predicciones a corto y a medio plazo; aunque los métodos autoproyectivos son, en general, más adecuados para realizar predicciones a corto plazo.

A continuación se describen algunos métodos de análisis de Series Temporales para realizar predicciones a corto plazo mediante fórmulas que no exigen disponer de series muy largas. Ciertos modelos son más apropiados en su aplicación que otros, unos conocidos como: **LOS MODELOS NAIVE O INGENUOS**, son modelos tan simples que en la práctica solo se usan como referencia, a fin de valorar la capacidad predictiva de otros modelos más complejos, comparando los errores de predicción con los de estos. Estos modelos establecen que la predicción para cada período coincide con el último valor observado. Otros, **LOS MODELOS DE MEDIAS MOVILES**, donde a los efectos de obtener la tendencia, el valor

promediado se asigna al centro del intervalo, aquí se utilizan como predicción correspondiente al periodo siguiente a la última observación.

Algunos procesos sobre datos mensuales y trimestrales se aplican a series temporales que no presentan tendencia. Si hay tendencia Lineal el enfoque puede generalizarse. Los Modelos de Medias Móviles deben usarse cuando la aleatoriedad de los datos sea alta y autocorrelación de la serie muy baja. En general, las Medias Móviles realizan más cálculos y necesitan más observaciones, sin ser necesariamente mejor que los de **EL MODELO SIMPLE DE ALISADO EXPONENCIAL**, aunque éste es un modelo de predicción muy sencillo, podemos mediante él obtener mecánicamente predicciones de una serie temporal en función de las observaciones pasadas. Cada predicción se forma promediando los valores observados de la variable, de tal forma que las ponderaciones van decreciendo, según una progresión geométrica a medida que nos alejamos del pasado, lo que significa que los valores de la variable independiente más alejado del último periodo muestral ponderan menos en la fórmula de predicción. Con los previos estudios de este modelo, se puede afirmar que el promedio utilizado es una media ponderada, ya que la suma de las ponderaciones es igual a la unidad. Este procedimiento produce efectivamente un “alisado” de la serie, ya que la nueva serie alisada, al estar constituida por promedios de valores de la serie primaria, presentará fluctuaciones más amortiguadas que ésta. Por otra parte, al igual que existe un modelo de expectativas adaptables cuando el tiempo (t) se considera continuo, es posible concebir un modelo teórico continuo de alisado exponencial. En este caso, las ponderaciones seguirían una función exponencial, en lugar de una progresión geométrica decreciente. Este modelo a diferencia de Medias Móviles cuenta con los siguientes procedimientos:

- Actualización de las predicciones
- Fijación de los valores iniciales( inicialización)

**EL MODELO DE BROWN CON TENDENCIA LINEAL**, es una extensión del modelo anterior y consiste en sustituir algunas hipótesis por la de tendencia lineal. Además, este modelo de predicción posee los procedimientos de:

- Actualización e
- Inicialización

**EL MODELO DE BROWN CON TENDENCIA CUADRÁTICA**, es un modelo más completo que los anteriores pues se pueden plantear como extensión de ellos cuando se supone que la serie original sigue una tendencia cuadrática. Este Modelo sirve para realizar predicciones bajo el supuesto de tendencia lineal utilizando un parámetro y **LOS MODELOS DE HOLT Y WINTERS**, al igual que el de Brown, sirve para realizar predicciones con el supuesto de tendencia Lineal, pero, a diferencia del anterior, utiliza dos parámetros de alisado.

Los modelos antes descritos presentan cada uno sus diferentes características y así su forma de aplicación; a continuación se describen los métodos que se aplicaran en el desarrollo del modelo objetivo en este documento.

#### **1.2.4 MODELOS ARIMA(p,d,q)xARIMA(P,D,Q)s**

El análisis de los métodos paramétricos invariantes de series temporales o metodología Box-Jenkins, se caracterizan porque especifican la estructura estocástica de la población que, se supone, genera la serie.

Se dice que un proceso estocástico es una familia de variables aleatorias  $\{y_t\}$  donde  $t = -\infty \dots +\infty$  señala el tiempo- tal que para cada serie finita de elecciones de t, esto es,  $t_1, t_2, \dots, t_n$  se define una distribución de probabilidad conjunta para las correspondientes variables aleatorias. Un proceso estocástico es estacionario en sentido estricto si la función de distribución conjunta es invariante respecto de un desplazamiento en el tiempo. Es decir, considerando que  $t_1, t_2, \dots, t_n$  corresponden a períodos sucesivos que denominamos como  $t, t+1, \dots, t+k$ , cuando

$$F(y_t, y_{t+1}, \dots, y_{t+k}) = F(y_{t+m}, y_{t+1+m}, \dots, y_{t+k+m}), \text{ para cualquier } t, k \text{ y } m.$$

Por otra parte la estacionariedad en sentido amplio o débil cuando es estacionario en los dos primeros momentos; esto es estacionario en media y en varianza.

A continuación se analizarán los modelos de medias móviles MA (q) y los modelos autorregresivos AR (p), los cuales componen al modelo ARIMA (p,d, q).

### 1.2.4.1 MODELOS DE MEDIAS MÓVILES MA (q)

Antes de contextualizar el modelo MA (q), definiremos en primer lugar el modelo MA (1), la cual está determinado por la siguiente ecuación:

$$y_t = \mu + u_t - \theta_1 u_{t-1}, \text{ o bien: } y_t = \mu + \theta(L)u_t$$

donde  $\theta(L) = 1 - \theta_1 L$

La esperanza matemática y la varianza del modelo MA(1) son iguales a :

$$E(y_t) = \mu$$

$$\gamma_0 = \sigma_u^2(1 + \theta_1^2)$$

#### La función de autocorrelación:

$$\rho_j = \begin{cases} -\frac{\theta_1}{1 + \theta_1^2}, \text{ para, } j = 1 \\ 0, \text{ para, } j > 1 \end{cases}$$

#### La función de autocorrelación parcial:

$$\phi_{jj} = \frac{-\theta_1^j(1 - \theta_1^2)}{1 - \theta_1^{2(j+1)}}$$

Como características más relevantes del modelo MA (1) podemos señalar las siguientes:

1. El modelo MA (1) siempre es estacionario.

2. Para que sea invertible (pueda llevarse a un modelo autorregresivo) debe cumplirse que  $|\theta_1| < 1$ .
3. La función de autocorrelación se anula para retardos superiores a uno (el orden del modelo).
4. El correlograma, representación gráfica de la función de autocorrelación, tendrá un solo pico distinto de cero, el correspondiente al primer retardo.
5. La función de autocorrelación parcial no se anula. Su representación gráfica presentará un comportamiento amortiguado hacia cero.

Generalizando los resultados para el proceso MA (q), tenemos que: una condición necesaria, aunque no suficiente, para que un modelo de medias móviles MA(q) sea invertible, es la siguiente:

$$\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_q < 1$$

La esperanza matemática y la varianza del modelo MA (q) son iguales a:

$$E(y_t) = \mu$$

$$\gamma_0 = \sigma_u^2(1 + \theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_q^2)$$

### La función de autocorrelación:

$$\rho_j = \begin{cases} \frac{-\theta_j + \theta_1\theta_{j+1} + \dots + \theta_{q-j}\theta_q}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_q^2}, & \text{para, } j = 1.2\dots q \\ 0, & \text{para, } j \neq q \end{cases}$$

### La función de autocorrelación parcial:

$$\phi_{11} = \rho_{11}$$

$$\phi_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2}$$

$$\phi_{33} = \frac{\rho_1^3 - \rho_1\rho_2(2 - \rho_2) + \rho_3(1 - \rho_1^2)}{1 - \rho_2^2 - 2\rho_1^2(1 - \rho_2)}$$

Como características más relevantes del modelo MA (q) podemos señalar las siguientes:

1. El modelo MA(q) siempre es estacionario.
2. Un modelo de medias móviles es invertible, esto es, puede escribirse como un modelo AR( $\infty$ ) siempre y cuando las raíces de la ecuación  $\theta(L) = 1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \dots - \theta_q L^q = 0$  caigan fuera del círculo unidad.
3. La función de autocorrelación se anula para retardos superiores a q (el orden del modelo).
4. La función de autocorrelación parcial no se anula. Su representación gráfica presentará un comportamiento amortiguado hacia cero.

### 1.2.4.2 MODELOS AUTORREGRESIVOS AR (p)

Antes de contextualizar el modelo AR (p), definiremos en primer lugar el modelo AR (1), la cual esta definido por la siguiente ecuación:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \delta + u_t, \text{ o bien: } \phi(L)y_t = \delta + u_t$$

donde  $\phi(L) = 1 - \phi_1 L$

La esperanza matemática y la varianza del modelo AR (1) son iguales a:

$$E(y_t) = \mu = \frac{\delta}{1 - \phi_1} \forall t$$

$$\gamma_0 = \frac{\sigma_u^2}{1 - \phi_1^2}$$

**La función de autocorrelación:**

$$\rho_j = \phi_1^j \text{ para } j \geq 1$$

**La función de autocorrelación parcial:**

$$\phi_{jj} = \begin{cases} \rho_1 = \phi_1, \text{ para, } j = 1 \\ 0, \text{ para, } j > 1 \end{cases}$$

Como características más relevantes del modelo AR (p) podemos señalar las siguientes:

1. El modelo AR (1) siempre es invertible.
2. El modelo AR(1) es estacionario siempre que se cumpla  $|\phi_1| < 1$
3. La función de autocorrelación no se anula.
4. La representación gráfica de la función de autocorrelación (correlograma), tendrá un comportamiento amortiguado hacia cero.
5. La función de autocorrelación parcial se anula para retardos superiores a uno.

Generalizando los resultados para el proceso AR (p), tenemos que: una condición necesaria, aunque no suficiente, para que un modelo de medias móviles MA(q) sea invertible, es la siguiente:

$$\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \dots + \phi_p < 1$$

La esperanza matemática y la varianza del modelo AR (1) son iguales a:

$$E(y_t) = \mu = \frac{\delta}{1 - \phi_1 - \dots - \phi_p} \forall t$$

$$\gamma_0 = \phi_1 \gamma_1 + \phi_2 \gamma_2 + \dots + \phi_p \gamma_p + \sigma_u^2$$

**La función de autocorrelación:**

$$\rho_j = \phi_1 \rho_{j-1} + \dots + \phi_p \rho_{j-p} \text{ para } j > 0$$

**La función de autocorrelación parcial:**

$$\phi_{jj} = \begin{cases} \rho_1, \text{ para } j = 1 \\ \frac{\phi_2((1-\phi_2)^2 - \phi_1^2)}{(1-\phi_2)^2 - \phi_1^2}, \text{ para } j = 2 \\ \begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \dots & \rho_p \end{vmatrix} \\ \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \dots & \rho_{p-1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \dots & \rho_{p-1} \end{vmatrix}}, \text{ para } j = p \\ 0, \dots, \text{ para } j > p \end{cases}$$

Como características más relevantes del modelo AR (p) se pueden señalar las siguientes:

1. El modelo AR (p) siempre es invertible.
2. Un modelo AR (p) estacionario debe satisfacer la condición de que las raíces de la ecuación  $\phi(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p = 0$  caigan fuera del círculo unidad.
3. La función de autocorrelación no se anula.
4. El correlograma típico de los modelos AR presenta siempre una tendencia amortiguada hacia cero, sin llegar a anularse.
5. La función de autocorrelación parcial se anula para retardos superiores al orden del modelo

Hemos visto cómo un proceso estacionario e invertible puede representarse en forma de medias móviles o autorregresiva. Sin embargo, un posible problema asociado a cualquiera de estas representaciones es que pueden contener demasiados parámetros, lo cual puede reducir la eficiencia en la estimación. Por ello, en la estructuración de un modelo puede ser necesario incluir términos tanto autorregresivos como de medias móviles. A este tipo de modelos se les denomina como modelos mixtos autorregresivos-medias móviles de orden p,q, o más abreviadamente ARMA(p,q) y su representación analítica es la siguiente:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \delta + u_t - \theta_1 u_{t-1} - \dots - \theta_q u_{t-q}$$

El modelo mixto más elemental, es el ARMA (1,1) y viene definido por:

$$\gamma_t = \phi_1 \gamma_{t-1} + \delta + u_t - \theta_1 u_{t-1}$$

Muy pocas de las series temporales son estacionarias, no son la excepción las de meteorología. No parece por ello conveniente suponer que aquellas series que no son estacionarias vengan generadas por cualquiera de los procesos anteriores en los cuales se han impuesto condiciones de estacionariedad. Afortunadamente, sin embargo, muchas de estas series temporales no estacionarias tienen la propiedad de convertirse en estacionarias al diferenciar una o más veces la serie original. A esta serie diferenciada se le denota  $W_t$  (donde  $W_t = y_t - y_{t-1}$ , para un tiempo t ). Por tanto un proceso ARIMA (p, d, q) se le denomina proceso autorregresivo de medias móviles integrado, si tomamos diferencias de

orden  $d$  ; esto quiere decir que aplicaremos  $d$  diferencias a la serie original, se obtiene un proceso estacionario  $W_t$  del tipo ARMA (p,q).

La especificación del modelo ARIMA (p, d, q) genérico es:

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + u_t - \theta_1 u_{t-1} - \dots - \theta_q u_{t-q}$$

Al analizar muchas de las series temporales, suele suceder que presentan una tendencia creciente o decreciente. La eliminación de esta tendencia (no estacionariedad en media) de la serie suele conseguirse mediante diferenciaciones implícitas en los modelos ARIMA. Ahora bien, en ocasiones se observa que existe una tendencia en la varianza, esto es, la dispersión de las observaciones no es constante a lo largo del tiempo, la cual no se elimina mediante esas diferenciaciones. Cuando se presenta este hecho la transformación adecuada puede consistir en tomar logaritmos neperianos.

Esta posibilidad de transformar la serie puede concretarse de forma más general mediante la transformación Box-Cox.

$$y_t^\lambda = \begin{cases} \frac{y_t^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{para } \lambda \neq 0 \\ \ln y_t, & \text{para } \lambda = 0 \end{cases}$$

Cuando se trabaja con series temporales referidas a períodos inferiores al año, es frecuente que los datos de dichas series temporales presenten patrones estacionales. Así, al trabajar con datos mensuales de lluvia puede ocurrir que en determinados meses se produzcan bruscos aumentos.

Parece entonces conveniente tener en cuenta el factor estacional en la elaboración de modelos estocásticos de series temporales, de manera que cuando la serie temporal recoja datos mensuales deberán analizarse las correlaciones entre meses, bimestres o trimestres, según el tipo de análisis que se requiera.

Los modelos estocásticos estacionales de series temporales pueden ser de dos tipos: puros y multiplicativos; y, al mismo tiempo, cada uno de ellos puede ser estacionario o no estacionario.

Se denomina por  $s$  el período estacionario, de manera que si los datos son mensuales  $s=12$ , el modelo estacional puro se caracteriza porque sólo existen relaciones entre las observaciones que distan entre sí  $s$  períodos o múltiplos de  $s$ .

Los modelos estacionales puros no van a ser, sin embargo, los que con más frecuencia nos van a servir para caracterizar una serie temporal estacionaria, y esto porque normalmente no se dan sólo relaciones entre las observaciones que distan de  $s$  (o múltiplos de  $s$ ) períodos, sino que lo habitual es que existan relaciones de tipo múltiple. En este caso, diremos que nos encontramos ante los modelos estacionales multiplicativos, los cuales a su vez podrán ser nuevamente tanto estacionarios como no.

En general un modelo estacional no estacionario homogéneo se le denomina ARIMA  $(P,D,Q)_s$ , concretamente, el modelo ARIMA  $(P,D,Q)_s$ , será:

$$w_t = \varphi_1 w_{t-s} + \varphi_2 w_{t-2} + \dots + \varphi_P w_{t-Ps} + \delta + u_t - \theta_1 u_{t-s} - \dots - \theta_Q u_{t-Qs}$$

Cuando se abordan modelos multiplicativos estacionales, se tiene que las observaciones que distan  $s$  (múltiplos de  $s$ ) períodos no solo están relacionadas con ellas mismas, sino que lo habitual es que dentro de períodos no estacionales también existan relaciones, por lo que se tiene la un modelo con efectos en la parte estacionaria  $(p,q)$  y otro efecto en la parte estacional  $(P,Q)_s$ , teniendo así el modelo ARIMA  $(p,d,q) \times \text{ARIMA}(P,D,Q)_s$ , que es el proceso más general considerado. En nuestro caso solo estaremos interesados en estudiar la parte estacionaria.

Algo muy importante que destacar, es que las series temporales se encuentran frecuentemente influenciadas por ciertos sucesos externos; en el área de la meteorología, se puede decir que la precipitación de la lluvia se ve influenciada por ciclones tropicales, fenómenos EL NIÑO-LA NIÑA, LA CANICULA (objeto de estudio). A estos sucesos externos los denominó Box y Tiao (1975) **intervenciones**. La técnica del análisis de intervención consiste en evaluar el efecto de las intervenciones en el proceso de comportamiento de una serie temporal. Para poder aplicar esta técnica, se tiene que tener la capacidad de identificar dos características de los modelos de intervención:

1. el período de comienzo de dichos sucesos externos (intervención), y

## 2. la forma general del impacto de dichas intervenciones

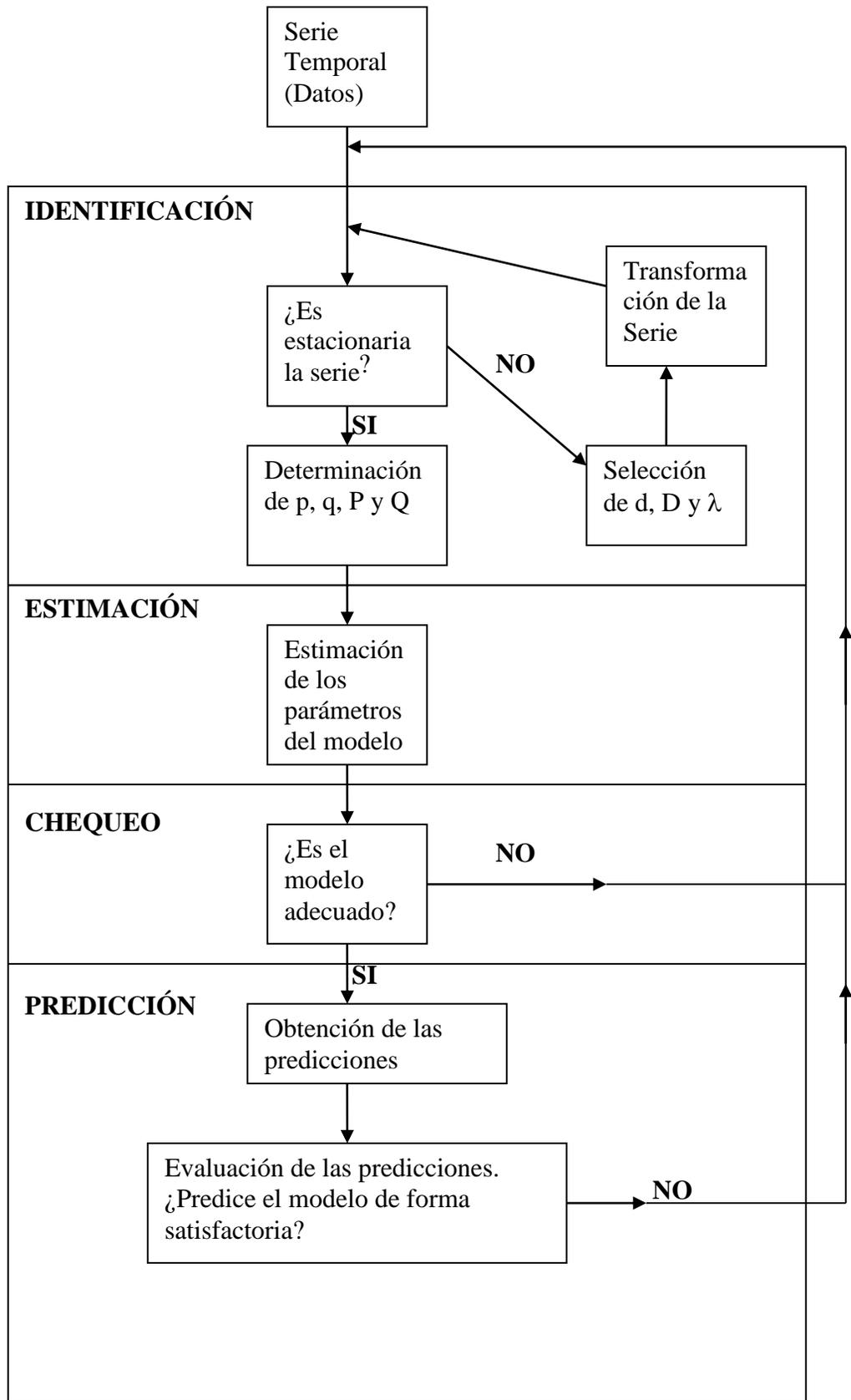
La situación más simple consiste en utilizar una variable dummy (cero/uno), que toma el valor uno en el período de intervención y cero en los restantes, la cual no es la única técnica.

El análisis de intervención se caracteriza porque a priori se sospecha que algún suceso externo ha podido influir considerablemente en la serie temporal objeto de predicción; por ello, el principio, el periodo de ocurrencia del suceso es conocido. Sin embargo aunque no sepamos de la existencia de estos sucesos y, por lo tanto, desconozcamos el período de comienzo de los mismos, su existencia puede ponerse de manifiesto al observar ciertos datos atípicos. Así, cuando el tiempo y la causa de ocurrencia de los sucesos externos se desconocen, se hablará de análisis de datos atípicos de series temporales.

### **1.2.5 ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE BOX- JENKINS**

Se considera que una serie temporal es una realización de un proceso estocástico específico  $ARIMA(p, d, q) \times ARIMA(P, D, Q)_s$  o bien, caso de que la serie no presente estacionalidad, de un proceso  $ARIMA(p, d, q)$ .

La aplicación de la metodología Box-Jenkins, considera que en la práctica dispondremos de una determinada serie temporal, debiendo por lo tanto, a partir de la misma averiguar que modelo  $ARIMA(p, d, q) \times ARIMA(P, D, Q)_s$  es susceptible de haber generado dicha serie, es decir, que modelo representa adecuadamente el comportamiento de la misma, con el fin de utilizarlo para obtener predicciones de valores futuros de las series en cuestión. Para ello se considerarán las etapas que constituyen la metodología de Box-Jenkins (1970-1976), el cual se presenta en el siguiente esquema gráfico:



Esquemáticamente estas etapas son:

1. Identificación
2. Estimación
3. Chequeo
4. Predicción

## **IDENTIFICACIÓN**

Los instrumentos fundamentales que utilizaremos para identificar el modelo son la función de autocorrelación (FAC) y la función de autocorrelación parcial (FACP), que pueden calcularse a partir de una serie temporal dada.

El primer requisito que debe de tenerse en cuenta en la etapa de identificación es el análisis de sí la serie temporal objeto de estudio es estacionaria o no. En este último caso, deberemos transformar la serie previamente hasta que pueda admitirse la estacionariedad de la misma, diferenciando sucesivamente (regularmente) la serie (determinación de  $d$ ), diferenciando estacionalmente la serie (determinación de  $D$ ) y/o transformando la serie

mediante la transformación Box-Cox,  $y_t^\lambda = \begin{cases} \frac{y_t^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{para } \lambda \neq 0 \\ \ln y_t, & \text{para } \lambda = 0 \end{cases}$  caso de que no haya

estacionariedad en varianza (Determinación de  $\lambda$ ). Una vez que esta serie transformada es estacionaria (en media y en varianza) se tratará de averiguar los posibles valores tanto de la parte regular del modelo (autorregresiva,  $p$ , y medias móviles,  $q$ ) como de la parte estacional (autorregresiva,  $P$ , y medias móviles,  $Q$ )

## **ESTIMACIÓN**

Una vez identificados los posibles modelos que han podido generar la serie temporal, se trata de cuantificar los parámetros de los mismos. Los dos problemas fundamentales a los que se enfrenta la estimación de los modelos ARIMA son el de los valores iniciales (de los parámetros de la serie y de los residuos) y el de no linealidad.

## **CHEQUEO**

Estimados los parámetros, en la etapa siguiente se procede a realizar la evaluación de la adecuación de los modelos previamente identificados y estimados. Esta etapa de validación o chequeo se centra fundamentalmente en analizar si los residuos del modelo ( $\hat{u}_t$ ) tienen un comportamiento similar a las perturbaciones del mismo ( $u_t$ ), esto es si puede afirmarse que son semejantes a un ruido blanco (residuos aleatorios). Adicionalmente, se tratará de comprobar la calidad de las estimaciones, así como el cumplimiento de las estimaciones de los parámetros de las condiciones de estacionariedad e invertibilidad que deben satisfacer los parámetros de estos modelos.

## **PREDICCIÓN**

Los modelos que superan la etapa de chequeo pueden ya ser utilizados para el fin básico, que es la obtención de predicciones (puntuales y/o por intervalo) de valores futuros de la serie temporal. Ahora bien, dado que solo puede entenderse que un modelo es útil cuando cumple adecuadamente el objetivo para el que ha sido planteado, una vez obtenidas las predicciones del modelo se tratan de volver a chequear la adecuación del mismo pudiendo utilizar para ello tanto métodos no paramétricos (como el error cuadrático medio) como paramétricos (estadísticos de contenido informativo, exactitud y corroboración).

Cumplidas estas cuatro etapas, se procederá a la implementación de los modelos; para tal fin se plantea la elaboración de un programa que permitirá a SNET, la aplicación práctica del pronóstico de la magnitud canicular.

### **1.3 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION.**

La vida ha prosperado en la tierra durante cuatro mil millones de años y desde antes los fenómenos naturales han estado presentes, volviéndose parte ya de la vida humana,

aunque los efectos que éstos causan son de mayor incidencia cada vez y provocan en la población grandes pérdidas.

Por mucho tiempo el hombre ha tratado de comprender y al mismo tiempo explicar las causas originales de éstos fenómenos pero ha sido difícil la predicción de estos por las características que cada uno tiene cada vez que se presentan.

Tal es el caso de las lluvias que provocaron inundaciones en el país en 1974 y 1998, las cuales redujeron significativamente la producción de los granos básicos. El fenómeno atmósfera – océano “EL NIÑO” contribuye a la intensidad o prolongación de la canícula. Por ejemplo El Niño 1997-1998, catalogado como el más fuerte del siglo pasado, afectó la producción de la caña de azúcar, las estimaciones que se tenían para 1998 sobre la producción de café en oro sufrieron una disminución del 17.1% después de observado tal fenómeno. También los pastizales fueron secados y las muertes de ganado aumentó en porcentaje por falta de alimentos; de la misma forma, la pesca no fue exceptuada, pues 7 cooperativas artesanales marinas publicaron una disminución del 16.3 % en la producción para 1997.

Todo lo descrito anteriormente son algunos efectos que en los últimos decenios dejaron los fenómenos naturales que han impactado en todo Centroamérica como: el huracán FIFI (1974), el huracán MITCH (1998), el NIÑO apareciendo repetidas veces, la sequía en el 2001 y 2002, etc.

Todos los análisis, estudios, foros, y proyectos que hasta la fecha se han realizado, persiguen de diferentes formas explicar y proponer estrategias que estén disponibles para que instituciones nacionales y gubernamentales brinden sus experiencias ó técnicas utilizadas para permitir mejorar los resultados obtenidos año con año.

Al recordar, que el propósito de este trabajo es estudiar la intensidad de la canícula en la zona Oriental del país, encontramos que los estudios realizados por el Dr. Abel Centella Artola (1998), Lic. Luis A. García, Walter Fernández y Tomas Rivas Pacheco (2002), están

altamente relacionados, pues describen la influencia que hacen los Océanos (Atlántico tropical norte y Pacífico tropical este) favoreciendo o inhibiendo el fenómeno la canícula.

El 18 de Octubre de 2001 se creó por decreto El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), entre sus funciones se encuentra la de informar a la población en general el estado del tiempo y el clima, previniendo así muchos efectos que pudiera ocasionar el exceso o déficit de las lluvias. Los modelos de predicción constituyen una herramienta muy útil para el SNET, porque de esta manera podrá mejorar sus predicciones climáticas, entre ellas la del fenómeno de la canícula, para uso de los sectores socio económico y ambiental

La elaboración del proyecto “Desarrollo de un Modelo Estadístico de Predicción en la zona Oriental del país, sobre la magnitud de LA CANICULA en la época lluviosa “, nace de la necesidad que el SNET cuente con modelos de predicción climática, para aumentar sus herramientas de análisis. Retomando lo anterior y con la perspectiva de aplicar nuestros conocimientos de estadísticas a la meteorología nos disponemos a la ejecución del proyecto que tanto urge en la sociedad.

Hoy en día, varios países de Latinoamérica se han visto en la necesidad de investigar más acerca del comportamiento climático y sobre todo la relación que los dos océanos (Pacífico y Atlántico) tienen sobre los fenómenos climáticos, la cual ha sido una tarea muy compleja, más aun en la construcción de un Modelo de Predicción.

Con el apoyo de la Universidad de El Salvador y del Servicio Nacional de Estudios Territoriales se desarrollará un nuevo modelo con sus propias características y metodología de desarrollo. El modelo a desarrollar estará a disposición del SNET, la comunidad de investigadores y la población en general para monitorear y anticiparse hacia el futuro.

## **1.4 IMPORTANCIA DEL PROYECTO**

La zona oriental del país, es de las más afectadas por los fenómenos naturales como **LA CANICULA** (ver anexo) y por ser una zona principalmente agrícola, las pérdidas, debidas a las sequías asociadas a la canícula, en los diferentes cultivos reflejan cuantiosas pérdidas económicas. Por ello, es necesario el desarrollo de un modelo estadístico como el presente para beneficio de los sectores afectados y de las comunidades en general.

Además, servirá como una fuente de información para ampliar conocimientos sobre los fenómenos meteorológicos que afectan la zona geográfica en estudio, específicamente lo relacionado a la canícula; y también como apoyo práctico a los dedicados a estudiar series temporales.

Por otra parte teniendo en cuenta que el SNET es una institución comprometida a la precisión de pronósticos meteorológicos y encaminada al desarrollo científico, le es de suma importancia tener a su disposición un modelo práctico y competente que responda en gran medida a la predicción del fenómeno canicular en dicha zona.

## **1.5 LA UTILIDAD DEL MODELO**

Los modelos de pronóstico son una herramienta básica e indispensable que poseen los investigadores, ya que les permite hacer proyecciones en el tiempo y ayudar así a determinar alternativas futuras y los niveles de riesgo a los que se exponen determinadas regiones; basados en la información recopilada en un período de tiempo.

Para SNET, es de mucha importancia contar con un buen modelo de predicción para alertar anticipadamente a la población de la Zona Oriental de nuestro país para que se tomen medidas también anticipadas para prevenir o mitigar los impactos al prolongarse el período canicular y convertirse en sequías.

## 1.6 FACTIBILIDAD

Para el desarrollo de un modelo de predicción de series temporales en el área meteorológica, contamos en primer lugar con personas idóneas y responsables como asesores tanto en área de estadística como en el área de meteorología; además contamos con los recursos técnicos adecuados y disponibles como: computadoras, programas estadísticos, bibliografías completas y eficientes en ambas áreas, datos reales recopilados a través del tiempo sobre la cantidad de lluvia precipitada; siendo éstos proporcionados por El SNET. Todo lo anterior a nuestra disposición, forma un conjunto sólido de recursos y herramientas que unidos a nuestros propósitos hacen factible la elaboración del trabajo de investigación descrito.

## 1.7 PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS

### HIPOTESIS GENERAL.

Ho: “La variable cantidad de lluvia precipitada mensualmente, es una variable aleatoria con distribución conjunta invariante respecto a desplazamientos en el tiempo”.

### HIPOTESIS ESPECÍFICAS.

1. Ho: “La variable cantidad de lluvia precipitada mensualmente se espera que tenga la estructura estocástica de un modelo

ARIMA(p, d, q)

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + u_t - \theta_1 u_{t-1} - \dots - \theta_q u_{t-q} ”$$

2. Ho: “Las estructuras estocásticas que generan las series temporales para las cuatro estaciones meteorológicas de la zona oriental en estudio, son diferentes”.

## **1.8 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.8.1 GENERAL**

Desarrollar un modelo teórico de series temporales para cada una de las estaciones meteorológicas de la zona oriental que cumpla con las expectativas que tiene SNET, para suplir la necesidad de pronosticar con bastante certeza la magnitud canicular

### **1.8.2 ESPECIFICOS**

- Aplicar adecuadamente cada etapa de la metodología Box-Jenkins en todo el proceso del desarrollo de nuestro modelo
- Elaborar un documento en donde se describa ampliamente la estación lluviosa
- Identificar con precisión la canícula para cada una de las estaciones meteorológicas.
- Proveer a SNET los modelos de predicción teóricos para ser llevados a la práctica a través de programas informáticos.

## **CAPITULO II. LA CANICULA EN LA ZONA ORIENTAL**

### **2.1 INTRODUCCION**

En el presente capitulo se enfoca el fenómeno canicular, su evolución y su comportamiento desde las épocas: Precolombina, colonial y en los siglos XVIII, XIX y XX; además se plantea la ubicación geográfica y el clima de El Salvador.

Otro aspecto abordado es el de La Canícula, su definición, causas y efectos; las zonas del país mas afectadas por dicho fenómeno, haciendo especial énfasis en la Zona Oriental.

Aquí se encuentra la creación de Instituciones que surgieron con la finalidad de buscarle interpretación y solución a estos fenómenos naturales; entre estas Instituciones tenemos El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), de quien se tiene datos muy precisos.

### **2.2 MARCO HISTORICO.**

#### **2.2.1 EPOCA PRECOLOMBINA.**

En la época precolombina, los indígenas americanos, como pueblos agricultores dependían mucho del régimen de lluvias para levantar sus cultivos. En este campo algunos pueblos como los mayas y los aztecas, lograron considerables adelantos, gracias a la observación cuidadosa del régimen climático.

#### **2.2.2 EPOCA COLONIAL**

Ya para finales de los años 1500 y 1600 los españoles y otros europeos se habían interesado en las situaciones climáticas de la Provincia de “La Nueva España” y sus alrededores.

En 1586 Fray Alonso Ponce recorrió las tierras de la “Provincia de la Nueva España”; en sus notas sobre los hechos acontecidos en su viaje por las tierras de lo que es El Salvador, específicamente Ahuachapán, llama la atención sobre la habilidad de un indio

que le acompañaba para predecir los aguaceros. “Llevaba un indio de a pie del cual aunque con alguna duda anuncio luego el agua que quería venir. Andada como media legua cayo un aguacero y tras aquel otro y otro y otros y era tan cierto el indio en conocer la venida del agua que como el decía así sucedía”.

Los europeos que viajaban a América se interesaron por registrar aspectos del clima de las regiones en que vivían o visitaban. “Hacia 1693 Fray Francisco Vásquez era guardián del convento de San Antonio en San Salvador. En su crónica de la Provincia del Dulcísimo Nombre de Jesús de Guatemala” hace una detallada descripción de la ciudad de San Salvador y su clima: “El temperamento de la ciudad toca en caliente pero sin molestia de los que la habitan; es húmedo en proporción, sus horizontes son claros y desabochornados, y su clima generoso y benigno. Los aires son puros aunque a veces soplan con vehemencia que han observado curiosos, que los fuertes de los vendavales no pasan al cuarto día, y que el indicio de verle dentro de cuatro horas es el coronarse el volcán de unas doradas nubecillas”.

### **2.2.3 EL CLIMA EN EL SIGLO XVIII**

A inicios del siglo XVIII, siempre se presentaron fenómenos climáticos de variada intensidad con respecto a los daños provocados en la agricultura como en otras áreas de carácter socioeconómico; entre los “temporales” mas intensos del siglo XVIII fue el de San “Dionisio” de él dan cuenta varios autores. Jorge Larde y Larín señalan que dicho fenómeno acaecido los días 8 y 9 de octubre de 1762 tuvo efectos muy graves “Este copioso temporal causo la ruina de Petapa, inundada por el río Tulaja; en Sonsonate, después de 16 horas de intensas lluvias, el río Julupe rebasó su profundo cauce y sus caudales inundaron la Iglesia de Santo Domingo y mientras el Cenzunat o río Grande, a pesar de correr por un lecho muy hondo, subió en tales términos que sus aguas pasaron y arrasaron un alto puente de mampostería.”El mismo temporal causó el deslave de un cerro en el pueblo de Santa Cruz Panchimalco situado a 18 kilómetro al sur de San Salvador. El derrumbe destruyó una parte del pueblo y causó la muerte de varios vecinos. Más de un siglo después, los vecinos del lugar conservaron recuerdos del suceso. “El pueblo fue destruido por haber venido El Chulo (Hoy Puerta del Diablo) que era entero y entonces se partió, que se elevo el cauce y solo quedaron vivos los que se ampararon en la Iglesia”.

El 15 de octubre de 1781 se dio un diluvio que destruyó las Haciendas de “Paredes” y otros muchos sitios en cuya vez se desmoronó parte de la montaña al lado del Rincón Grande, hoy pueblo de Guadalupe de Santa Lucia de Zacatecoluca.

#### **2.2.4 EL CLIMA EN EL SIGLO XIX.**

La meteorología durante las épocas anteriores no tuvo mucho auge, ya que hasta cierto punto los fenómenos climáticos eran tomados como algo normal, no es hasta finales del siglo XIX que comienza a tener vida institucional.

En 1889 se inicia la historia institucional de La Meteorología en El Salvador con el Dr. Darío González que realiza las primeras observaciones sistemáticas en el Instituto Nacional de Segunda Enseñanza. Poco tiempo después se fundó El Observatorio Astronómico y Meteorológico.

Halfkens (Holandés) entró a El Salvador por Ahuachapan y lo consideró de “tierras calientes” aunque hizo notar que otros lo consideraban templado, por encontrarse a unos 800 kilómetros sobre el nivel del mar.

Hay información que sugiere que 1846 fue un año excepcionalmente malo para la agricultura. Para entonces la base de La Economía Nacional era el Añil, el cual era muy importante.

En ese año se combinaron varias irregularidades. El verano fue extraordinariamente caluroso; la estación lluviosa comenzó tarde y con un temporal. Por ultimo en septiembre hubo un fuerte temporal que afectó la cosecha del Añil.

Entre 1854 y 1861 por iniciativa de Ignacio Gómez se hizo un estudio estadístico, que en buena medida era el mismo que se propuso en 1829. Para su realización se envió un instructivo a los Gobernadores Departamentales y a los Secretarios Municipales; cada Alcalde debía redactar un informe siguiendo el modelo enviado por el Ejecutivo. Vale decir que este procedimiento no siempre dio buenos resultados; en varias ocasiones los Gobernadores se quejaron de la poca colaboración recibida de los funcionarios Municipales. Aunque se requería información sobre El Clima la falta de aparatos imposibilitó que se dieran datos precisos. En general se hacían comentarios como “La temperatura es calida pero agradable” o “El clima es frío y sano”. Solo en unos pocos casos aparecen mediciones hechas

con termómetros. Por ejemplo Teodoro Moreno Gobernador Político del Departamento de Santa Ana informó que en la Cabecera Departamental la temperatura ordinaria está entre los 14 y 25 grados de termómetro de Reamur.

Para finales de 1850 por lo menos los Gobernadores Departamentales tenían acceso a termómetros y otro tipo de aparatos – o conocían las observaciones hechas por otros. Lastimosamente pasó mucho tiempo sin que se hiciera otro trabajo como el impulsado por Gómez.

Hacia finales de la década de 1860 Manuel Fernández resaltaba la regularidad climática de El Salvador.

Fernández señalaba que en la estación lluviosa las precipitaciones, en general siguen las principales fases de la luna, las cuales son: conjunción, los cuartos de creciente, menguante y la luna llena. En cada uno de éstos tiempos sobrevienen días consecutivos dos, tres o más aguaceros y enseguida pasan en seco otros tantos días. Agrega la existencia del “**Veranillo de San Juan**”, en un período en el cual deja de llover desde ocho hasta quince días y se produce en el mes de junio. También destaca la “**Canícula**” que va de mediados de julio a mediados de agosto, en la que los aguaceros son borrascosos. “La regularidad” climática hace referencia al inicio y al final de las estaciones y a los cambios de temperaturas, los temporales, canículas y veranillos eran vistos como normales, dado que en cierta medida respondían a un patrón acostumbrado.

Rafael Reyes en, 1888, señala que los meses de mayor precipitación lluviosa son julio y agosto, pero también destaca: “Durante la estación lluviosa hay dos épocas de corta duración en los cuales no llueve, el tiempo se serena y el cielo se despeja; esas épocas son llamadas La Canícula y El Veranillo de San Juan.

La Gaceta del Salvador, dio cuenta de un temporal en Octubre que ha sido uno de los mas intensos del siglo XVIII, del cual se da cuenta en los siguientes términos: “Un temporal espantoso ha tenido en continua alarma a la población durante tres días y tres noches seguidas”. Según la misma nota los daños en San Salvador fueron cuantiosos. “El Acelhuate, salido de madre había tomado las dimensiones de un río caudaloso y la rapidez de un torrente.

El diluvio del 16 de Octubre de 1852 inundó toda la costa destruyendo los ganados, bestias, etc. En este último desde la punta del volcán casi en su cima, bajó una enorme creciente

abriendo un cauce o barranca en todo su curso de más de 50 varas de ancho; este fenómeno afectó seriamente los cultivos de granos básicos.

Los informes de algunos alcaldes para 1860 sobre los efectos que tuvieron las sequías en algunos pueblos de La Zona Oriental, reportaron que las cosechas de granos básicos fueron devastados totalmente y la población lamentan lo ocurrido.

Se supone que para 1865, ya se tenían estudios meteorológicos en El Salvador, puesto que en un periódico de la época (El Faro Salvadoreño) se mencionaban aspectos de estudio realizados sobre observaciones atmosféricas, no precisándose quienes realizan dichas observaciones. Lo más seguro es que hayan sido efectuados por viajeros o por capitanes de barcos que fondeaban en las costas Salvadoreñas.

Por lo menos para 1858 algunos gobernadores departamentales habían hecho sus propias observaciones. Aunque no se tengan registros es posible pensar que también otras personas las estaban haciendo.

Para inicios de 1880 ya existía en El Salvador un grupo de individuos muy interesados en la meteorología. David Joaquín Guzmán fue uno de los que hizo más registros, pero muchos de los datos que presenta le fueron proporcionados por otras personas.

Entre los hombres que hicieron las primeras observaciones meteorológicas tenemos a David J. Guzmán, Jose Maria Cáceres, Esteban Castro, Teodoro Moreno y otros. Eran profesionales miembros de academias, docentes de La universidad o funcionarios de gobierno. En un prólogo Leopoldo decía: “La utilidad de ésta ciencia es cosa que ya no se puede poner en duda, pues además de darnos a conocer la climatología de cada país, sirve de guía al agricultor, conociendo con anticipación los huracanes, el tiempo lluviosos o seco, etc. Para el año de 1889, el Observatorio Meteorológico fue fundado.

Ya para 1889 se realizan observaciones meteorológicas más sistemáticas en las instalaciones del Instituto de Segunda Enseñanza, bajo la dirección del Dr. Darío González. El 25 de octubre de 1890 se decretó oficialmente la fundación del observatorio, nombrando al peruano Carlos Meyer como Director. En 1891, se nombra Director al Dr. Alberto Sánchez y su ayudante Leopoldo A. Rodríguez quien publicó un libro de texto titulado: “Nociones de meteorología que impreso por encargo del Gobierno, con el objetivo de poner en manos de particulares conocimientos técnicos que los capacitara para hacer sus propias observaciones meteorológicas; después de muchos inconvenientes el 21 de mayo de 1895 fue aprobado “El

Reglamento interior del Observatorio Nacional, cuyo autor fue el Dr. Alberto Sánchez”, que después de su muerte en 1896, el Observatorio entro en una etapa de decadencia.

El 3 de noviembre de 1896 el Observatorio pasó a ser dependencia de La Universidad de El Salvador (UES), teniendo como nuevo Director al Dr. Julián Aparicio. A partir de esta fecha hasta 1911 el Observatorio cae en un estancamiento.

### **2.2.5 EL CLIMA EN EL SIGLO XX**

La situación del Observatorio Meteorológico, después de caer en una fase de descuido por parte del Estado y personas investigadoras de fenómenos naturales en forma evidente es retomada años después por el interés de estudiosos de dichos fenómenos apoyándose en el Observatorio.

Pedro Fonseca fungió como Director del Observatorio desde 1917 hasta 1930, inició en 1919 la publicación de los “Anales del Observatorio Meteorológico, puntualizando en el la falta de continuidad de las observaciones y la carencia de rigurosidad en el registro y conservación de la información. Según Pedro Fonseca y Darío González el Estado Salvadoreño nunca se interesó seriamente por fomentar el fortalecimiento de la meteorología. Los avances logrados hasta esta fecha se habían debido más que todo al interés de un grupo reducido de hombres enamorados de la ciencia.

En 1941, siendo Director del Observatorio el Ing. José Mejía Pérez. Reapareció la publicación con el titulo “Anales del Observatorio Nacional Meteorológico de San Salvador”. En ellos aparecen los medios y totales de los principales elementos meteorológicos desde 1912 hasta 1941. Los registros abarcan temperaturas a la sombra, humedad relativa, evaporación a la sombra, velocidad del viento, lluvia y otros. Los avances habidos en el siglo XX han sido más bien producto de la cooperación internacional o del interés individual de salvadoreños y extranjeros radicados en el país, como el caso del Sr. Lesmman.

Luís Romano del Centro de prevención de desastres, en su libro “Efectos Económicos y Sociales da las sequías”, destaca que entre 1857 y 1997 ocurrieron en el país unas 10 sequías a raíz de las cuales se redujo la producción de alimentos y destaca que debido a esto la agricultura se extendió a más tierras no aptas para el cultivo, lo que aceleró la erosión de los suelos; además destaca que en El Salvador La Canícula o sequía debería ocurrir cada 3 años,

atacando con mas fuerzas las partes bajas de Usulután, San miguel, La Unión, Morazán, Ahuachapán y Santa Ana. Sin embargo los campesinos, en el oriente, dicen que ocurren todos los años. El señor Orlando Cachón de Recursos Naturales, asegura que la canícula se acentúa con el fenómeno de El Niño y los daños que provocan están relacionados con la época en que ocurren” (julio y agosto) cuando los cultivos demandan mayores cantidades de agua.

## **2.3 EL SALVADOR**

### **2.3.1 UBICACION GEOGRAFICA DE EL SALVADOR.**

El Salvador esta ubicada entre las latitudes norte:13° y 14° las longitudes Oeste 87° 30' y 90°00', al norte del istmo centroamericano, con una extensión de 20,600.00 kilómetros cuadrados, siendo entonces el más pequeño del istmo y además el más densamente poblado. Al occidente el río Paz es la frontera natural con Guatemala, al Norte, parte del río Lempa y el Sumpul delimitan a Honduras y al oriente lo limita el río Goascoran también con Honduras.

Morfológicamente se reconocen una área montañosa y volcánica a 30 kilómetros de la costa y otra área montañosa al norte del país, el valle interior se compone de planicies y cerros, en las dos ultimas áreas mencionadas se concentra la cuenca alta y media del Río más caudaloso El Lempa, donde se ubican los sistemas de riego más grandes y las represas hidroeléctricas mas importantes del país. Es al oriente del país donde se encuentran las planicies costeras y las llanuras más extensas donde un buen porcentaje de estas zonas rurales son utilizadas por los productores para fines agropecuarios.

### **2.3.2 CLIMA DE EL SALVADOR.**

Centroamérica es una región que se ubica en una zona geográficamente de alto riesgo a los desastres, en particular a los asociados a la variabilidad climática. Además en los últimos 30 años ha sido azotada por eventos importantes como El Niño 1982-1983 y 1997-1998, el huracán Mitch a finales de 1998, las sequías en los años 2000 y 2001, los cuales han ocasionado cuantiosas pérdidas en vidas humanas y económicas.

La zona montañosa de la vertiente caribeña de Centro América provoca un ascenso forzado del aire produciendo lluvias, mientras el aire sin humedad llega al lado del Pacífico de la región, observándose en El Salvador cielos despejados, ambiente caluroso, aumentando la evapotranspiración e incidiendo negativamente en las plantas; las precipitaciones se ven afectadas por las variaciones en los campos de temperatura superficial del mar (TSM) de los Océanos Atlántico y Pacífico Tropical adyacentes y que las anomalías resultantes de los campos de precipitación deben ser analizados tomando en cuenta las condiciones de los campos de la temperatura superficial en los dos océanos.

El Salvador ubicado al noroccidente de Centro América es el que posee menor extensión territorial, además es el único de la región con una sola frontera en el Océano Pacífico, de allí que la variación estacional del clima depende de los sistemas sinópticos cuasiestacionarios y de los migratorios tanto de las latitudes altas como del mismo trópico, a ello debe sumarse la interacción de los sistemas diurnos modificados por el Océano Pacífico vecino.

El régimen lluvioso interanual es bimodal y generalmente presenta los valores máximos en septiembre y en Junio, con una disminución importante entre Julio y Agosto, llamada Canícula; fenómeno de la vertiente pacífica de Centro América que no se comporta uniforme y no es continuo en el espacio y si bien se presenta todos los años, su duración y severidad experimenta fluctuaciones de año con año, que la convierte en un riesgo climático que no debe ser descuidado en el desarrollo agropecuario.

El período seco de Julio típicamente es mas intenso que el de Agosto, aunque durante algunos eventos “El Niño” ambos periodos se intensifican pues se extienden, los que en ocasiones pueden formar una sola canícula que se traduce en sequía dependiendo de la

acumulación de lluvia durante Junio, afectando entonces al sector agrícola y provocando un problema económico-Social.

De acuerdo con el mapa de regiones climáticas pluviométricas (ver anexos, fig.1), la región I es la mayormente afectada por el fenómeno EL NIÑO, debido a la mas alta ocurrencia de escenarios secos en años en los que se presenta este fenómeno, es por esta razón que los principales cultivos como el maíz, sorgo, frijol y arroz se ven afectados tanto en rendimiento como en producción ( y la región I es donde se cultiva básicamente maíz y frijol), afectándose estos en mayor grado, principalmente en valles interiores y planicies sur occidental sur oriental y central, por ser áreas relativamente extensas de dichos cultivos. El frijol y el arroz por otro lado se ven menos afectados porque el área de cultivo es menor y no porque el fenómeno no afecte. También el café se cultiva en buena parte del occidente de dicha región pero por ser un cultivo anual aparentemente se afecta poco.

El patrón atmosférico más conocido que modula el fenómeno EL NIÑO es el fortalecimiento de la alta presión semiestacionaria en el Océano Atlántico Norte y la aparición en ocasiones de otra alta presión en el Golfo de México, los que aceleran el flujo Alisio en el Caribe.

Un factor que condiciona el clima es la orografía pues la cadena montañosa al norte origina que la mayor parte del país se localice a sotavento del flujo del este o vientos alisios, restando inyección de humedad en la estación seca, por ello las lluvias disminuyen mucho mas comparadas con los países que tienen costas en las vertientes del caribe.

Desde el punto de vista meteorológico, la sequía se mide en términos de la disminución de la lluvia precipitada y el tiempo de duración de esos periodos de días secos consecutivos, será sequía moderada si el periodo es de 11 a 15 días y fuerte si el periodo es mayor de 15 días.

Desde el punto de vista agrícola, la sequía depende de la diferencia entre la demanda de agua de las plantas y el agua disponible en el suelo, específicamente en una delgada capa del suelo de unos 20 centímetros. En este caso los factores como, la demanda hídrica de cada especie de plantas, el desarrollo, las condiciones meteorológicas y físicas de suelo, hacen complejo la definición de la sequía agrícola.

Centroamérica, sin exceptuar El salvador es afectada climáticamente por eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones y sequías) asociados a la variabilidad climática que ocasionan grandes pérdidas económicas y sociales. La intensidad, duración y frecuencia de sistemas como huracanes, frentes fríos, tormentas tropicales, lluvias abundantes, canícula y otros, están influenciadas por el fenómeno ENOS (El Niño – Oscilación Sur).

Originalmente, el nombre El Niño se acuñó hacia finales del siglo XVIII, por parte de los pescadores que ejercían sus tareas cerca de las costas del Perú y Ecuador, para referirse a una calida corriente marina del suroeste, que desplazaba la corriente fría que fluye del norte, en la cual usualmente pescaban. Típicamente, esta corriente calida aparecía cerca de la navidad y, por ello, el nombre se refiere al nacimiento del Niño Dios.

### **2.3.3 ESTACION LLUVIOSA.**

Estación Lluviosa es aquel periodo en donde la precipitación excede a la evaporación e inicia en mayo y finaliza en octubre, con transiciones marcadas respecto a la época seca durante abril y noviembre. En medio de los seis meses de lluvias aparece un descenso acentuado de las precipitaciones en muchos lugares, es la que se le conoce como “Canícula”.

Los efectos de las anomalías de las lluvias en cuanto a la producción de maíz indican que las reducciones son notorias y documentadas por varias fuentes en 1972, 1976, 1987, 1991, 1994 y 1997 y están asociadas en todos los casos a eventos NIÑOS moderados, fuertes o muy fuertes y también en menor proporción a eventos fríos en el ATN.

## **2.3.4 CANICULA**

### **2.3.4.1 DEFINICIÓN.**

La canícula se define básicamente como una disminución significativa de las lluvias sobre todo en Julio y Agosto, en medio de la época lluviosa que es de mayo a octubre.

### **2.3.4.2 CAUSAS**

La causa principal observada que produce las canículas es el aceleramiento del flujo alisio y la ubicación de la vertiente pacífica de Centroamérica a sotavento del dicho flujo, por lo que además durante la época seca, entre noviembre y abril, en dicha vertiente las lluvias son casi nulas.

Las anomalías en la velocidad del viento alisio son el producto de alteraciones atmosféricas que van mas allá de la escala regional y tienen origen en alteraciones de la escala planetaria como el fenómeno del Niño, que se origina en las temperaturas frías del agua del océano Atlántico Tropical Norte, las que intensifican el anticiclón semipermanente en esa zona y desarrollan un sistema de alta presión en las capas bajas de la atmósfera en las cercanías del Golfo de México. Dicho sistema térmico causa un estiramiento en el sentido Este-Oeste del sistema de alta presión de las Azores comportándose como un bloqueo para el flujo del Este, acelerándolo y desarrollando sobre Centroamérica un viento que predomina del Noroeste más fuerte que el normal del período.

Hastenrath [ 1967] relaciona la canícula con la aparición en los niveles altos de la troposfera de una extensión del anticiclón semipermanente sobre el sur de los Estados Unidos o México y también con un flujo del norte sobre Centro América.

### 2.3.4.3 EFECTOS

La canícula afecta de manera más directa si su aparición la hace cuando los cultivos están en floración, sabiendo que esa etapa de cultivo es altamente sensible, provocando bajas en los rendimientos del cultivo.

La aparición de “Canículas” prolongadas, inclusive a partir de Junio afecta el desarrollo normal de cultivos anuales plantados en mayo, en ocasiones la primera siembra se pierde, el crecimiento de pastizales es reducido y los caudales de agua no recuperan su nivel normal para Junio.

El acortamiento del segundo periodo de lluvias limita la segunda siembra, la poca humedad disponible en el suelo, y las temperaturas mas altas en la estación seca se suman para reducir los niveles del estiaje de ríos, lagos y embalses por debajo del nivel normal al final de la estación. El déficit de humedad en el suelo reduce la disponibilidad de pastos y agua para los abrevaderos. Los bosques y áreas silvestres alcanzan niveles de sequedad que los hace susceptibles a arder.

En El Salvador dentro de el área de influencia de años con sequías se encuentran los embalses que producen la mayor parte de energía eléctrica, asentamientos humanos cuyo abastecimiento de agua potable se hace con acueductos que se surten de fuentes de recarga anual y en esas zonas también se desarrollan actividades agrícolas para la producción de granos básicos como maíz, frijol y sorgo, de allí la problemática generada por la canícula severa

Debido a los desastres socio-económicos provocados por la sequía en la región centroamericana se diseñaron sistemas de alerta temprana por El Niño y el mismo estudio propuso recomendaciones para mitigar sus efectos.

Algunos estudios reportan desde 1961 hasta 1991, diez sequías severas presentes en especial sobre la zona Oriental, identificando varios municipios afectados con cada sequía en los departamentos de: Ahuachapán, Santa Ana, La Paz, San Vicente, Usulután, San Miguel y la

Unión. En la década de los cincuenta se reportaron sequías severas en 1950, 1955 y 1965 que abarcaron todo el país, pero con mayor impacto en la zona Oriental, donde provocó pérdidas en los granos básicos, incremento de los precios y muertes de ganado.

En El Salvador se compararon rendimientos en años normales y años El Niño; que provocan sequías; produciéndose bajas en los rendimientos de los principales granos básicos: Maíz 14%, sorgo 9%, arroz 13% y frijol 8%, siendo más agudo el problema en la zona Oriental del país (Usulután, San Miguel, Morazán y la Unión), donde el rendimiento promedio se reduce en porcentajes aún más grandes.

Un año con sequía agrícola se presentó en 1997 como se muestra en el mapa de la figura 2.2, registrando sequía moderada las zonas bajas en el occidente y afectando de forma severa buena parte de la zona oriental del país, debida al nacimiento de un evento “El Niño”, el más fuerte del siglo.

Las sequías como las inundaciones provocan pérdidas en el sector agropecuario que traen hambre y luego migraciones. Además, se ven afectados otros sectores como la generación de energía hidroeléctrica, la salud humana, la vida silvestre, y finalmente la socioeconomía de un país.

## **2.4 ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR**

La zona Oriental de El Salvador, tiene sus propias características en cuanto al clima, por su ubicación geográfica adyacente al Océano Pacífico, sufre las mayores consecuencias de la canícula, lo cual la vuelve centro de atención para los investigadores de épocas pasadas, como de la época actual.

**El SNET**, es la institución encargada en el siglo XXI, de realizar los estudios correspondientes a estas y otras áreas relacionadas con fenómenos naturales.

En la Zona Oriental de El Salvador se encuentran ubicados los departamentos de:

**Usulután**, situado en el suroeste del país. Limita al norte y al este con el departamento de San Miguel, al oeste con el río Lempa, que sirve de límite con el departamento de San Vicente y al sur con el Océano Pacífico, donde la franja costera, baja y cenagosa, está constituida por la

península de San Juan del Gozo, la Bahía de Jiquilisco y numerosas Islas. El territorio esta formado en el norte por la Cadena Volcánica Costera, donde se encuentra el volcán de Tecapa, mientras que al sur corresponde una zona llana que junto al clima calido y húmedo, favorece las plantaciones de café, azúcar y tabaco. Posee industrias agroalimentarias y se encuentra bien comunicada a través de la carretera Panamericana, un aeropuerto y un puerto. Allí se encuentra el parque Nacional de Nancuchiname. Su cabecera departamental es Usulután. Su superficie, 2130Km<sup>2</sup>.

**San Miguel**, esta localizado al este del país. Al norte del departamento el río Torola forma frontera con Honduras; al sur limita con el pacífico. El territorio esta formado al sur por la llanura costera interrumpida por las montañas de Jucuarán; a continuación se extiende la cadena volcánica donde se localiza el volcán san Miguel, mientras al norte hay una extensa meseta en que sobresalen algunas estribaciones de la sierra madre. Esta drenada por los ríos Sesory, Tamarindo, Lempa y Grande de San Miguel, donde se localiza la Laguna de Jocotal, de interés Nacional. Sobresale por su riqueza económica, basada en los cultivos tropicales, ganadería, minas de oro, plata, azufre, hulla e industria agroalimentaria. Su cabecera departamental es san Miguel. Su superficie, 2077km<sup>2</sup>.

**Morazán**, Se encuentra ubicado en el noroeste del país, limita al norte con Honduras, al oeste y al sur con el departamento de San Miguel y al este con la Unión. El territorio presenta un claro contraste entre el norte accidentado, formado por las estribaciones de las sierras de Nahuaterique y Cacahuatique y el sur, al que le corresponde una llanura drenada por los ríos Seco y Cañas, afluentes del Grande de San Miguel. Su clima calido y húmedo favorece el cultivo del henequén en la zona montañosa y de café, cacao y caña de azúcar, en la llanura del sur. La industria se centra en la elaboración artesanal del henequén (cuerdas, sacos, etc.) Su cabecera departamental es San Francisco Gotera. Su superficie, 1477km<sup>2</sup>.

**La Unión**, se encuentra ubicado en el este del país; limita al norte y al este con Honduras por medio del río Goascoran, al Oeste con los departamentos de Morazán y San Miguel, y al sur con el Océano Pacífico, donde se encuentra la Bahía de La Unión, localizada en el golfo de Fonseca, compartido con Honduras y Nicaragua. El territorio esta formado por una llanura en el sureste, en tanto que el resto corresponde a un relieve montañoso con la sierra de Corobán en el norte y la cordillera de Conchagua, que culmina en el volcán homónimo, en el sur. El clima calido y húmedo condiciona una economía ganadera en las zonas montañosas y cultivos tropicales, caña de azúcar y café, en la llanura. Cuenta con minas de oro y plata y

recursos forestales y salinas. Su industria es de transformación de productos agropecuarios. Su cabecera departamental es La Unión. Su superficie es de 2074km<sup>2</sup>.

En esta zona del país SNET puntualiza 4 estaciones meteorológicas:

- El Papalón en el departamento de San Miguel
- Santiago de María en el departamento de Usulután
- San Francisco Gotera en el departamento de Morazán y
- La Unión en el departamento de La Unión.

De estas estaciones meteorológicas se han tomado datos de lluvias precipitadas en milímetros por cada mes desde 1961 hasta el 2001, los cuales son la base para realizar este estudio. (Ver cuadros de anexos).

## **2.5 SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES.**

### **2.5.1 FUNDACIÓN DE SNET.**

Según el diario oficial. Tomo número 353 del 18 de octubre de 2001; según decreto número 96 se decreta la creación del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

En su artículo I se refiere a la creación del SNET como una unidad desconcentrada adscrita al Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el texto de este decreto se denominará el “SNET”, en cuyo esfuerzo organizativo se integran las áreas de geología, hidrología, Meteorología y Gestión de riesgos, apoyadas por un sistema de información para la referencia territorial y una de administración.

La vida, continuidad y reconocimiento social del SNET, está íntimamente ligado con el desarrollo de una fuerte y continua ligazón con los problemas y necesidades de la Sociedad Salvadoreña respecto del riesgo y los desastres, y donde lo realmente importante de la acción de producir información tiene relación con los mecanismos de vínculo social que sean desarrollados para que la misma se transforme en conocimientos y como tal, sean incorporadas al proceso de toma de decisiones en todos los ámbitos de vida social, económica y ambiental.

## 2.5.2 OBJETIVOS

- Contribuir a la prevención y reducción del riesgo de desastres
- Promover y facilitar el diseño y la implementación de políticas, estrategias, programas y proyectos que favorezcan y estimulen la concreción de las intervenciones que las organizaciones, instituciones y colectividades nacionales, públicas y privadas realicen en función del desarrollo, y en el cual, la reducción y control de riesgo constituyen actividades transversales e integradoras de los diferentes procesos.
- Brindar las referencias territoriales en cuanto a las amenazas, vulnerabilidades, capacidades y oportunidades, a fin de mejorar la toma de decisiones para el desarrollo sostenible y la seguridad humana.
- Coordinar el trabajo a través de comités técnicos conformados con la participación de aquellos actores que producen información en el campo del riesgo, los desastres y la seguridad humana.
- Conformar cada 2 años un comité técnico evaluador externo, constituido por profesionales de alto nivel internacional, encargado de evaluar la calidad de los procesos y productos del SNET.
- Validar y difundir la información de forma oportuna y eficiente a las autoridades y población en general, acerca de las amenazas y de las condiciones vulnerables cuya magnitud e importancia podrá traducirse en pérdidas y daños.
- Dimensionar la territorialidad del impacto de los fenómenos y procesos de amenazas, así como la naturaleza probable de las pérdidas y daños esperados.
- Promocionar y coordinar actividades de capacitación tendientes a mejorar el conocimiento existente sobre los diversos temas relacionados con la gestión del riesgo, dirigidas a quienes toman decisiones. Así como al sector privado y los organismos locales y comunitarios.
- Establecer los lineamientos en materia de prevención y reducción del riesgo, existente y futuro, a fin de que se incorporen en los planes, programas y proyectos de desarrollo, así como en su aplicación a escala nacional, regional, sectorial y local.

- Elaborar y actualizar la cartografía temática en climatología, hidrología, geología y geomorfología, en coordinación con el instituto geográfico nacional, Universidades y otras dependencias públicas y privadas a fines.
- Producir y actuar el Atlas Nacional de Riesgos de Desastres y el apoyo a las comunidades para la preparación de mapas de escenarios locales de riesgo y de sus respectivos planes de litigación.
- Proporcionar el soporte científico-técnico para el diseño, instalación y operación de los sistemas de alerta temprana, en forma coordinada con otras Instituciones y Organismos competentes.
- Evaluar y reconocer los daños provocados por el impacto de los fenómenos y procesos naturales, ambientales y territoriales con el fin de integrar un acervo informático que sirva de base para la estimación de los patrones de riesgo.
- Promover y dar continuidad a las relaciones y convenios de cooperaciones Nacional e internacionales.

### **2.5.3 METAS**

- Continuar con el desarrollo de las acciones de monitoreo, pronóstico y tecnológica, el desarrollo de la red de comunicaciones y el fortalecimiento de los centros de pronóstico y monitoreo.
- Continuar incrementando el grado de conocimiento sobre los procesos y fenómenos geológicos, hidrológicos, meteorológicos y Oceanográficos, así como la dinámica poblacional, de asentamientos humanos, uso de la tierra y transformación territorial mediante la investigación científica-técnica y los estudios especializados en torno a, confines de planificación territorial, gestión de riesgos y apoyo a las operaciones de emergencia.
- Consolidar el proceso de traspaso de los resultados de las investigaciones, estudios, monitoreo y alertas a las instancias de Gobierno responsables y población en general para que cada una ejecute las recomendaciones según su capacidad y competencia.

#### **2.5.4 ACCIONES**

\* El SNET ha venido promoviendo la prevención y reducción de riesgo fortaleciendo las capacidades locales dentro de los procesos de desarrollo, potenciando las capacidades de los estudiantes, de municipio, cantones y caseríos para que estos puedan coordinadamente ejecutar y construir el desarrollo sostenible. Esto se ha ejecutado considerando a los actores locales identificados como gobiernos locales, comités de desarrollo local, comités organizados de comunidades, juntas directivas comunales, cantonales y colonias.

\* Las actividades que se han desarrollado para fortalecer las capacidades de los actores locales y prevenir o reducir el riesgo de un desastre son las siguientes: Capacitación y concientización, promoción de una organización que maneje la gestión de riesgos desde el punto de vista de prevención intercambio de experiencias que promuevan la organización comunitaria frente a una amenaza o vulnerabilidad, el intercambio de metodologías y tecnologías para la reducción de riesgos, conocimientos de fortalezas y debilidades, ventajas y desventajas de sus capacidades como actores locales, como gestores de su seguridad, conocimiento de la importancia de la gestión de riesgo como elemento importante de la gestión de desarrollo; la construcción de escenarios y mapas de riesgo; promoción del flujo de información entre los actores locales. Se ha desarrollado información y estudios especializados par usos relacionados a la prevención y reducción de riesgos al nivel local, tanto en el campo de los desastres como en el desarrollo local y planificación territorial.

\* Se han promocionado programas de prevención y mitigación para la reducción del riesgo a partir de la participación de los actores sociales locales.

\*Se ha iniciado un proceso de Coordinación interinstitucionales locales de gestión del riesgo que impulsa y apoya la inclusión de la gestión del riesgo en los planes de desarrollo.

## **CAPÍTULO III: DESCRIPCION DE DATOS**

### **3.1 INTRODUCCION**

En este capítulo vamos a estudiar la descripción del conjunto de datos de la precipitación de lluvia (mm) correspondiente a las cuatro estaciones meteorológicas de la zona oriental

Con el fin de comprender la estructura de los datos y extraer la información que contienen, se hará un análisis gráfico para cada una de las estaciones, para hacer una limpieza de la serie de posibles datos atípicos, que son observaciones debidas a errores de medida u otras causas de heterogeneidad por ejemplo los fenómenos Niño/Niña; así como también cubrir la serie y estimar datos faltantes en el caso de que los haya, haciendo principal énfasis en los meses de julio y agosto.

Por otra parte se hará una exploración de los datos utilizando técnicas estadísticas muy conocidas y de amplia aplicación, como lo es el coeficiente de correlación lineal de Pearson y la función de correlación cruzada, las cuales servirán para estudiar el orden y significancia de las relaciones lineales entre las estaciones meteorológicas.

### **3.2 ANALISIS GRAFICO DE LOS DATOS**

En primer lugar al hacer un análisis gráfico de las cuatro estaciones se pone en evidencia que la canícula se mete en el mes de julio y/o agosto, para lo cuál se construyeron los gráficos del 3.1 al 3.4, en los cuales se ve reflejado que el inicio del invierno se da en el mes de mayo, en junio tiende a aumentar y luego hay una fuerte disminución entre los meses de julio y/o agosto, para que luego en septiembre se muestre un aumento significativo (gráficos que tienen la forma de una “M”). Por lo que es valedera la teoría al aseverar que el período invernal es bimodal al presentar aumentos de lluvia significativos en los meses de junio y septiembre y que hay disminuciones significativas en los meses de julio y/o agosto (en el ambiente meteorológico se le conoce con el nombre de canícula).

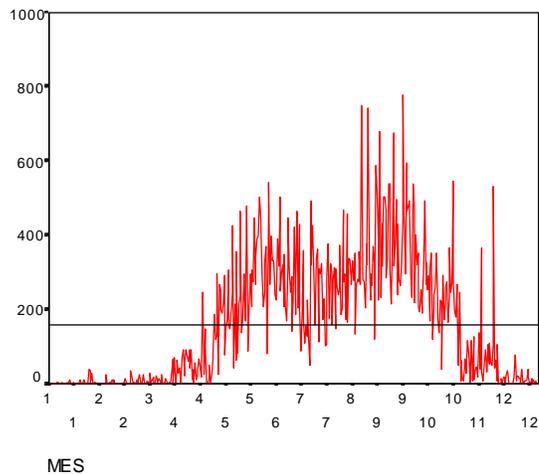


Gráfico 3.1: Distribución de precipitación de lluvia de la estación de Santiago de María

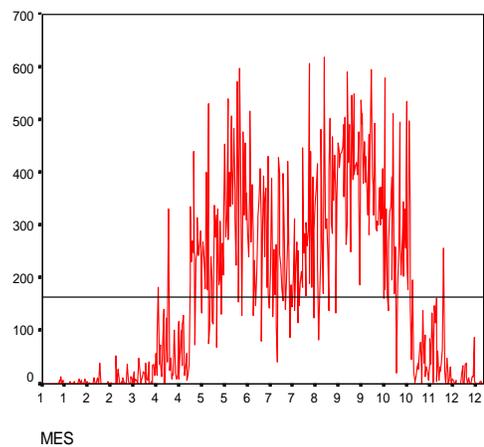


Gráfico 3.2: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de San Francisco Gotera

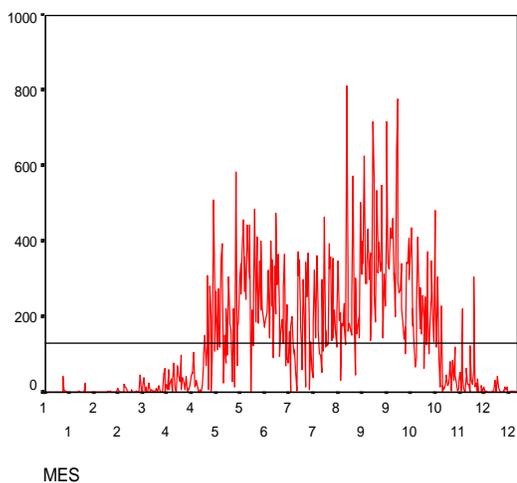


Gráfico 3.3: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de La Unión

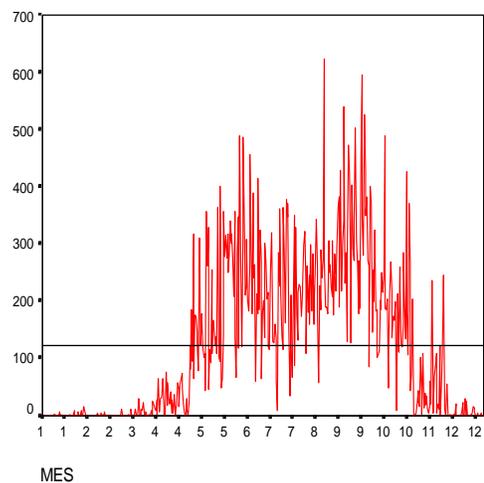


Gráfico 3.4: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de El Papalón

**\*. Observaciones:**

1. La línea horizontal que pasa por cada uno de los gráficos es el promedio histórico anual.
2. La rotulación numérica en el eje de las abscisas se refiere a los 12 meses del año, donde 1 es enero y 12 diciembre, es de señalar que se repiten algunos meses, pero es el formato de salida del SPSS.

En segundo lugar al hacer un análisis gráfico para cada estación, específicamente para los meses de julio y agosto que es donde se da particularmente la canícula, se encontró para el mes de julio, que la zona más problemática es La Unión, ya que en reiterados años ha tenido una precipitación cuasi-nula, teniendo una precipitación promedio de 172 mm con una desviación estándar de 113 mm., el promedio más bajo de las cuatro estaciones. Las demás estaciones tienen un comportamiento cuasi-estacionario, ya que la estación meteorológica de Santiago de María reporto un promedio de 258 mm y una desviación estándar de 108 mm, la de San Francisco Gotera de 245 mm y una desviación estándar de 96 mm; y la de El Papalón de 202 mm y una desviación estándar de 99 mm.; las cuatro presentan datos atípicos, tal es el caso de la información recopilada en el año 1977, que tuvo un promedio de precipitación entre las cuatro estaciones de 25 mm, fue un año que padeció las consecuencias de una sequía severa.

Para el mes de Agosto, se ve claramente la influencia de datos atípicos elevados, sobre todo en los años de 1988 y 1995. La precipitación promedio histórico de las estaciones presento para Santiago de María 304 mm y una desviación estándar de 126 mm; para San Francisco Gotera 310 mm y una desviación estándar de 133 mm; para La Unión de 224 mm y una desviación estándar de 145 mm, y finalmente El Papalón presento un promedio histórico de 238 mm y una desviación estándar de 84 mm.

En resumen se puede decir que la canícula se mete más en julio que en Agosto; por otra parte en Agosto hay estaciones que en algunos años han alcanzado una acumulación mensual mayor de 600 mm. . Para más información ver gráficos 3.5 al 3.12.

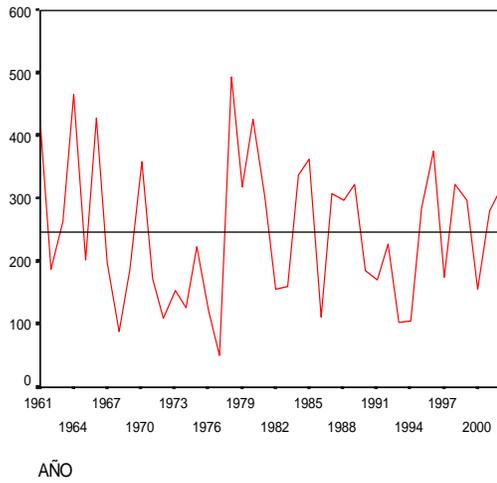


Grafico 3.5: Distribución de precipitación de lluvia de la estación de Santiago de María. Mes de Julio

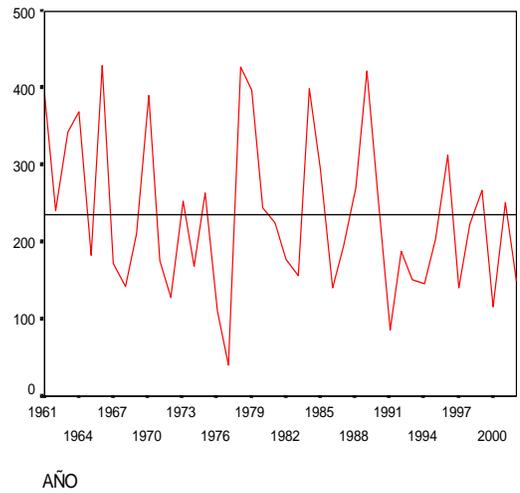


Grafico 3.6: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de San Francisco. Mes de Julio

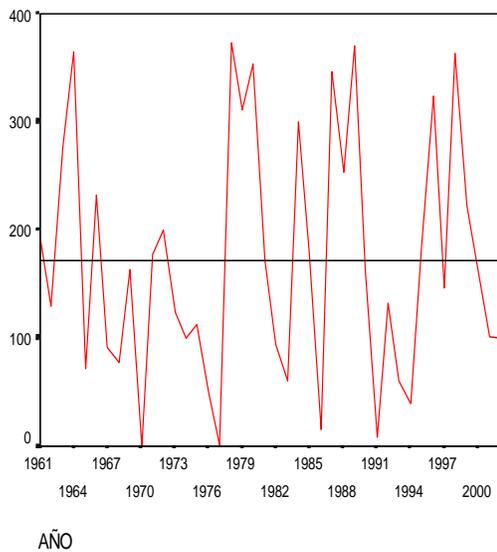


Grafico 3.7: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de La Unión. Mes de Julio

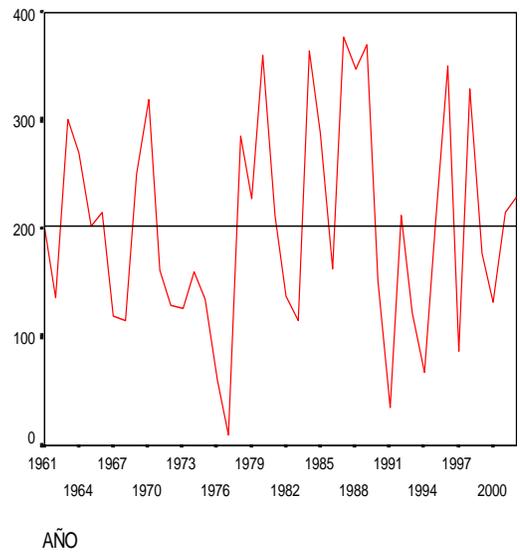


Grafico 3.8: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de El Papalón. Mes de Julio

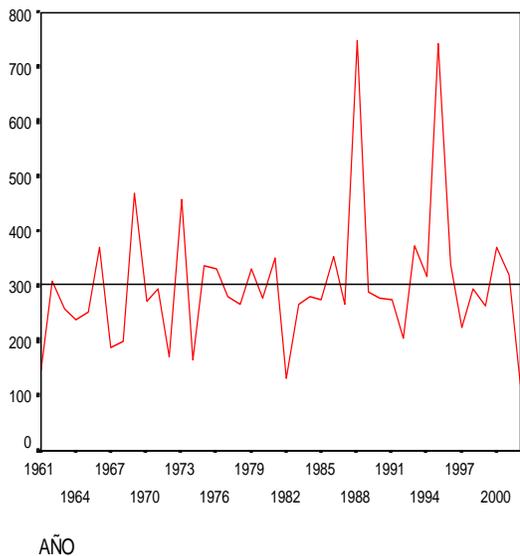


Grafico 3.9: Distribución de precipitación de lluvia de la estación de Santiago de María. Mes de Agosto

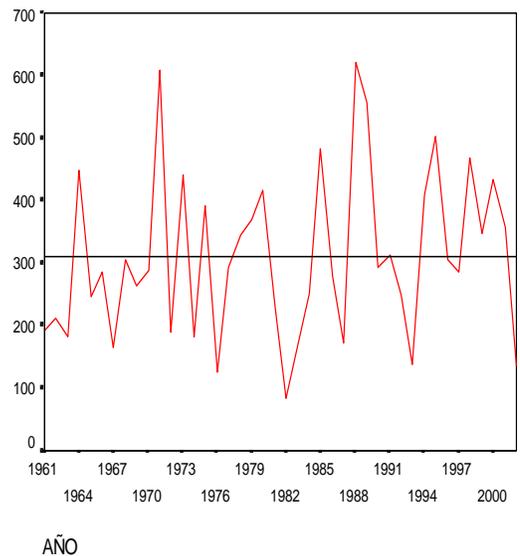


Grafico 3.10: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de San Francisco Gotera. Mes de Agosto

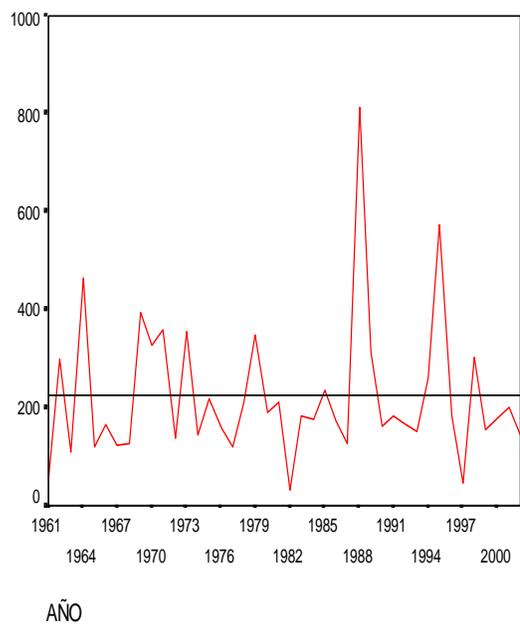


Grafico 3.11: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de La Unión. Mes de Agosto

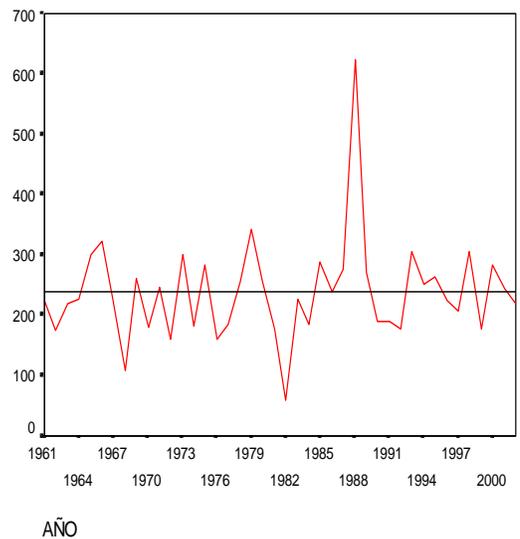


Grafico 3.12: Distribución de la precipitación de lluvia de la estación de El Papalón. Mes de Agosto

### 3.3 CONTRASTE DE HIPOTESIS

Antes de iniciar con la metodología de Box-Jenkins, se hará hincapié en los siguientes dos puntos:

1. Debido a que la cantidad de datos es menor de 50, se decidió trabajar con toda la información disponible, la cual es de 42 años (1961 hasta el 2002) y se harán intervalos de confianza para las predicciones.
2. Ya que el objeto principal del estudio es la canícula, y ya que esta se da principalmente en los meses de julio y agosto, se desarrollaran 2 modelos de predicción para cada estación meteorológica, desarrollando un total de 8 modelos.

Retomando el segundo punto es necesario contrastar la hipótesis específica:

**Ho: “Las estructuras estocásticas que generan las series temporales para las cuatro estaciones meteorológicas de la zona oriental en estudio, son diferentes”.**

Para contrastar dicha hipótesis estadística se hará uso del coeficiente de correlación simple y la función de correlación cruzada.

Las correlaciones tanto para el mes de julio como para agosto resultaron significativas teniendo una fuerte correlación en el rezago cero, lo que demuestra que el coeficiente de correlación simple explica bastante bien las relaciones lineales entre las estaciones (ver tabla 3.1, 3.2 y gráficos 3.13 y 3.14).

Se necesitará desarrollar un modelo autoproyectivo para julio y otro para agosto, utilizando la metodología de Box & Jenkins, de tal manera de poderlos utilizar para el pronóstico de las demás estaciones en las cuales se utilizaran modelos de regresión lineal, ya que las correlaciones simples resultaron significativas y adecuadas para desarrollar ese tipo de modelos.

Después de realizar algunas pruebas con las series de cada estación, se decidió escoger la estación de San Francisco Gotera ubicada en Morazán para desarrollar los modelos autoproyectivos, ya que al hacer el análisis de los gráficos de autocorrelación y autocorrelación parcial, el patrón de conducta resulto muy claro en comparación a los gráficos de el resto de estaciones, evidenciando de esta forma los posibles modelos que estaban generando dichas series.

**Tabla 3.1: Correlaciones de las cuatro estaciones para el mes de julio.**

		SANTIAGO DE MARÍA	GOTERA	LA UNIÓN	EL PAPALÓN
SANTIAGO DE MARÍA	Pearson Correlation	1.000	.811**	.718**	.762**
	Sig. (1-tailed)	.	.000	.000	.000
	N	42	42	42	42
GOTERA	Pearson Correlation	.811**	1.000	.636**	.679**
	Sig. (1-tailed)	.000	.	.000	.000
	N	42	42	42	42
LA UNIÓN	Pearson Correlation	.718**	.636**	1.000	.759**
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	.	.000
	N	42	42	42	42
EL PAPALÓN	Pearson Correlation	.762**	.679**	.759**	1.000
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	.000	.
	N	42	42	42	42

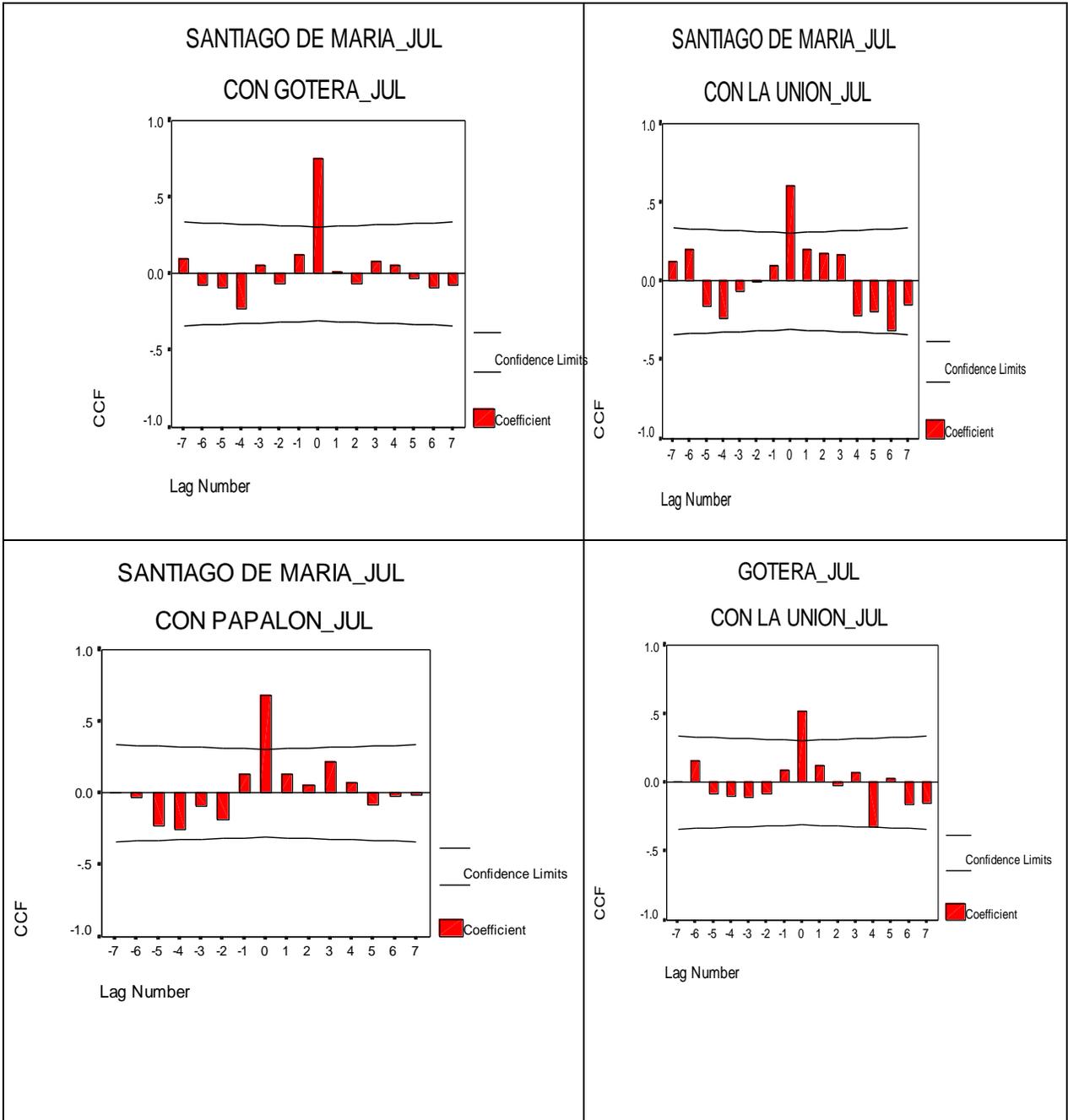
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

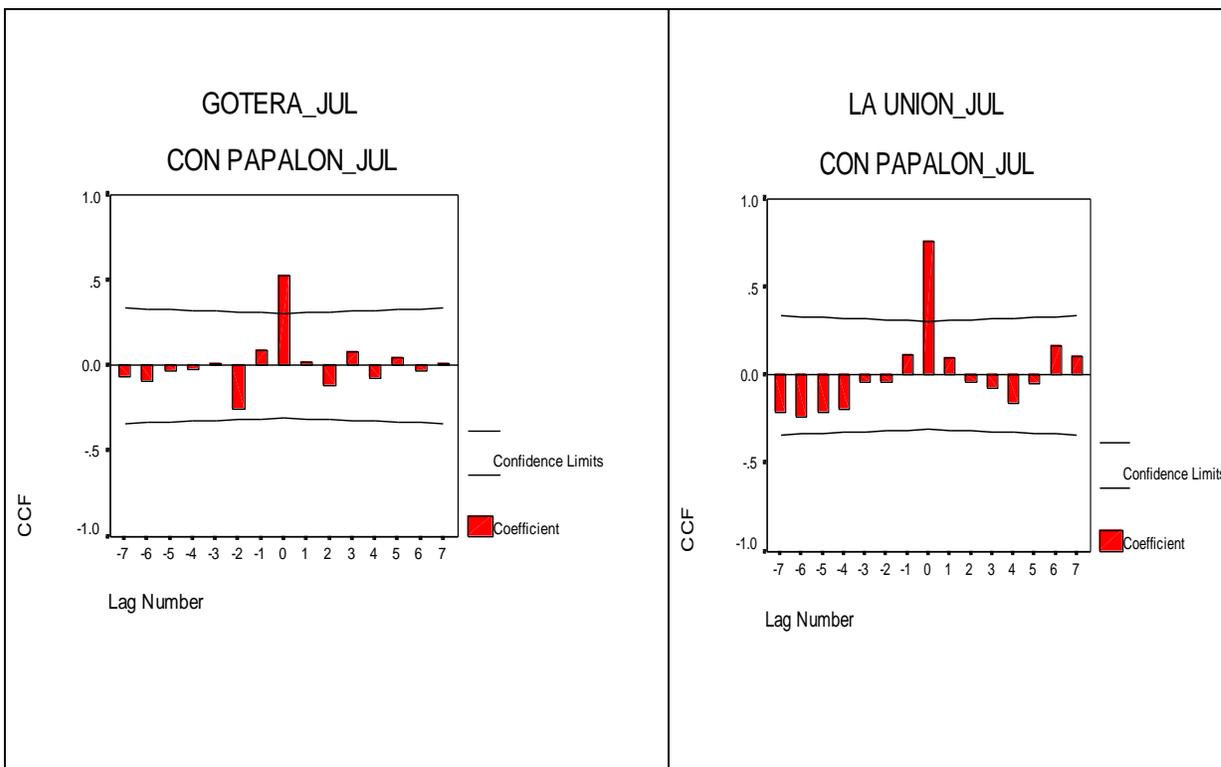
**Tabla 3.2: Correlaciones de las cuatro estaciones para el mes de agosto.**

		SANTIAGO DE MARÍA	GOTERA	LA UNIÓN	EL PAPALÓN
SANTIAGO DE MARÍA	Pearson Correlation	1.000	.535**	.791**	.667**
	Sig. (1-tailed)	.	.000	.000	.000
	N	42	42	42	42
GOTERA	Pearson Correlation	.535**	1.000	.701**	.565**
	Sig. (1-tailed)	.000	.	.000	.000
	N	42	42	42	42
LA UNIÓN	Pearson Correlation	.791**	.701**	1.000	.667**
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	.	.000
	N	42	42	42	42
EL PAPALÓN	Pearson Correlation	.667**	.565**	.667**	1.000
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	.000	.
	N	42	42	42	42

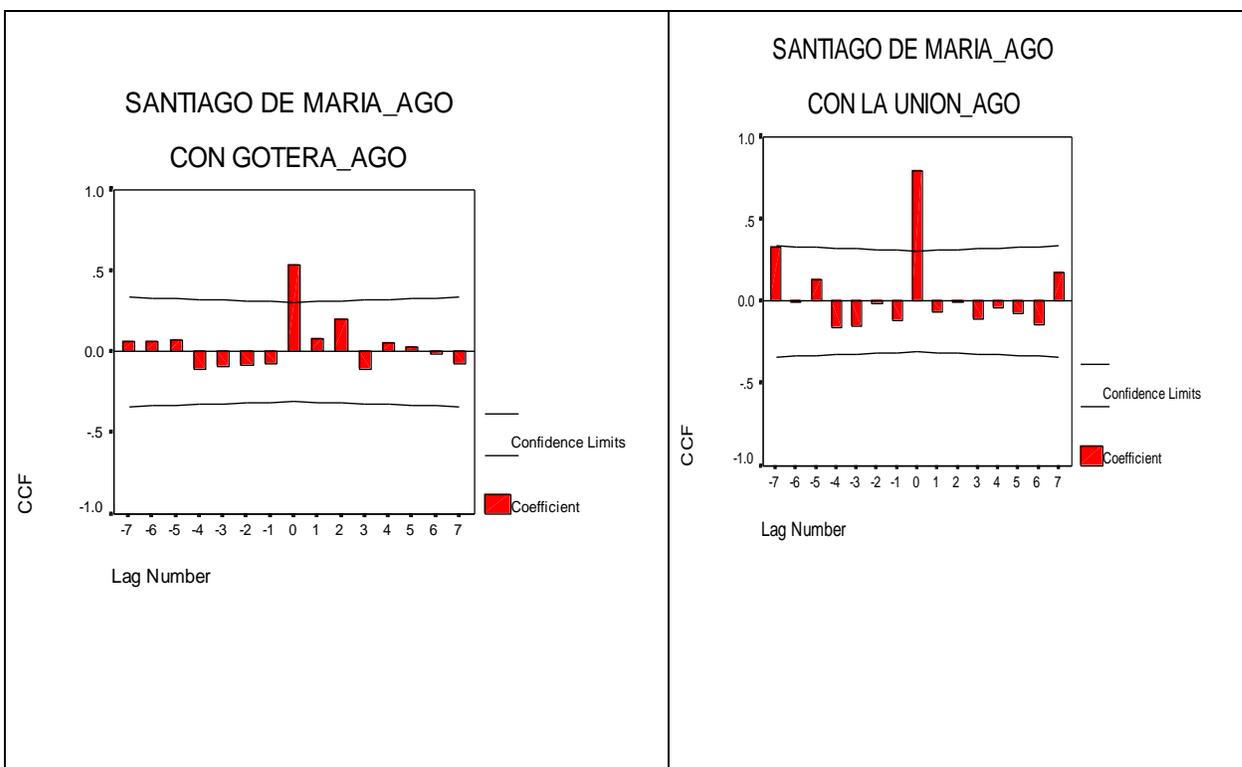
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

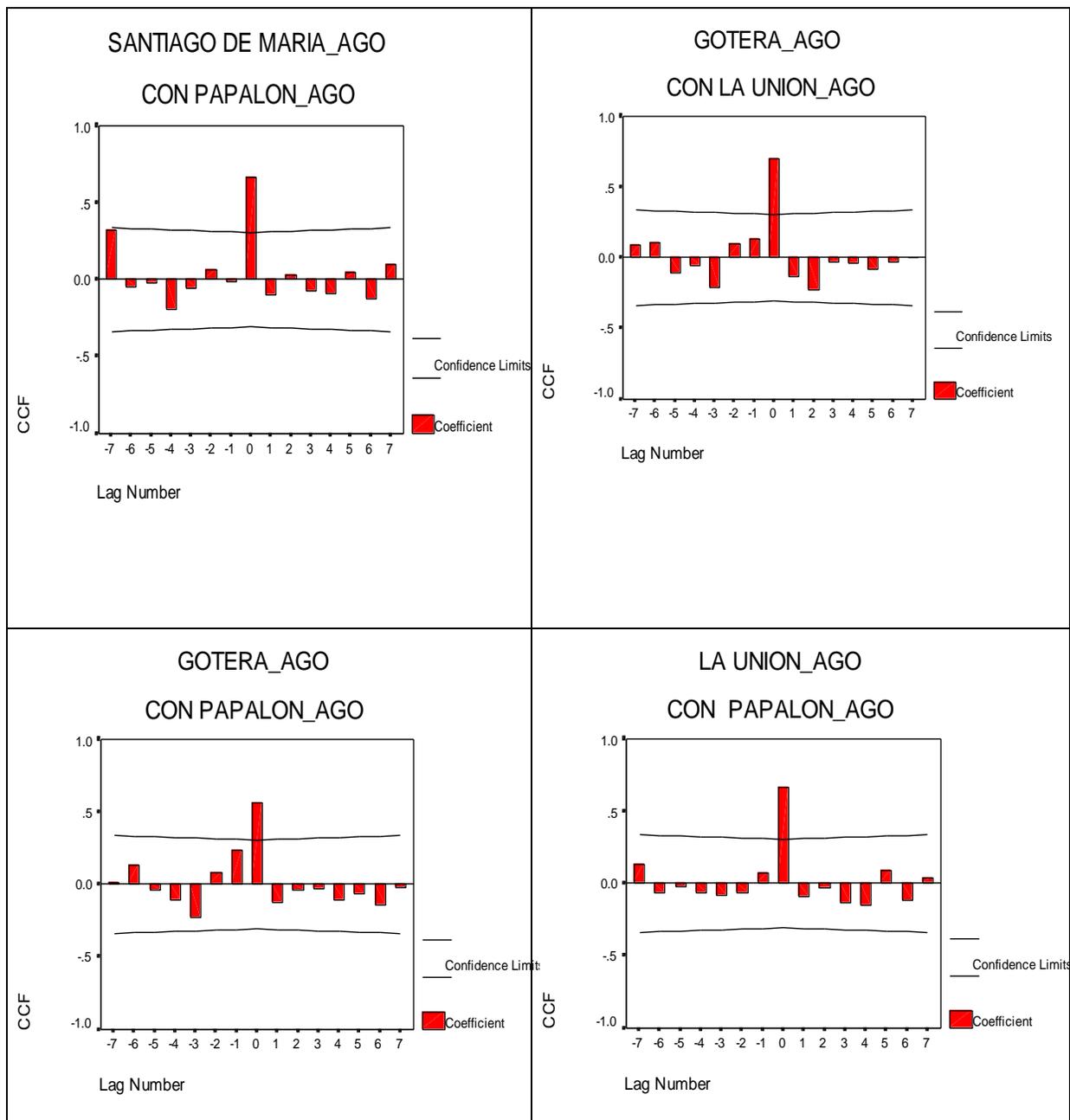
**Gráficos 3.13: Correlaciones cruzadas entre las estaciones. Mes de Julio**





**Gráficos 3.14: Correlaciones cruzadas entre las estaciones. Mes de Agosto**





Para trabajar en el desarrollo de los modelos se hizo una limpieza de las bases de datos, lo que comprende cubrimientos y estimaciones de datos atípicos para julio y para agosto, las cuáles se presentan en la tabla 5 de los anexos del capítulo III.

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo trata de aplicar paso a paso cada una de las etapas de la metodología de Box-Jenkins, cuyo enfoque estocástico de series temporales univariantes contempla tener una serie de datos a través del tiempo a la cuál se tratará de averiguar qué modelo  $ARIMA(p,d,q)$ , es susceptible de haber generado dicha serie; es decir, qué modelo representa adecuadamente el comportamiento de la misma, con el fin de utilizarlo para obtener predicciones de valores futuros de la serie en cuestión. Esto implica que la serie tiene que pasar una serie de etapas, las cuales son:

- i) Identificación
- ii) Estimación
- iii) Chequeo y
- iv) Predicción

Los instrumentos estadísticos que utilizamos para identificar el modelo fueron: el correlograma de la función de autocorrelación muestral (FACM) y la función de autocorrelación muestral parcial(FACMP), las cuáles se calculan a partir de una serie temporal dada; éstas nos ayudaron a establecer si la serie es estacionaria o no. En este último caso tuvimos que diferenciar las series hasta lograr estacionariedad, al mismo tiempo de poder encontrar modelos sencillos susceptibles de haber generado la serie.

Para el mes de Julio de la estación de San Francisco Gotera se encontró que la serie presentaba un comportamiento  $IMA(1,1)$ , para el mes de Agosto un  $ARI(1,1)$ .

Para la etapa de estimación utilizamos el modulo  $ARIMA$  de series temporales del paquete estadístico SPSS, que arroja valores de significancia para cada una de las estimaciones de los parámetros del modelo

Para la etapa de chequeo, se recurrió al análisis de los residuos para garantizar que estos tuvieran un comportamiento semejante a un ruido blanco, de tal manera de validar la adecuación del modelo escogido y así poder utilizarlo con el fin básico de obtener predicciones (puntuales y/o por intervalo) que es la última etapa de la metodología.

## 4.2 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA BOX-JENKINS. MES DE JULIO

### 4.2.1 IDENTIFICACIÓN

Analizando las estructuras estocásticas de los modelos de julio para San Francisco Gotera (ver Gráfico 3.6) se observa que no hay estacionalidad, más bien se observa que la serie oscila alrededor de su media, por lo que la serie parece presentar estacionariedad en media y en varianza, por lo que se decide analizar la función de autocorrelación (FAC) y autocorrelación parcial (FACP) (ver anexos 4.1). En dichos gráficos se muestra que no hay rezagos significativos, por lo que tendremos que aplicar una transformación a la serie, para lo cual aplicaremos en primera instancia una diferenciación de primer orden ( $y_t - y_{t-1}$ ). La serie diferenciada se presenta en el siguiente gráfico de líneas:

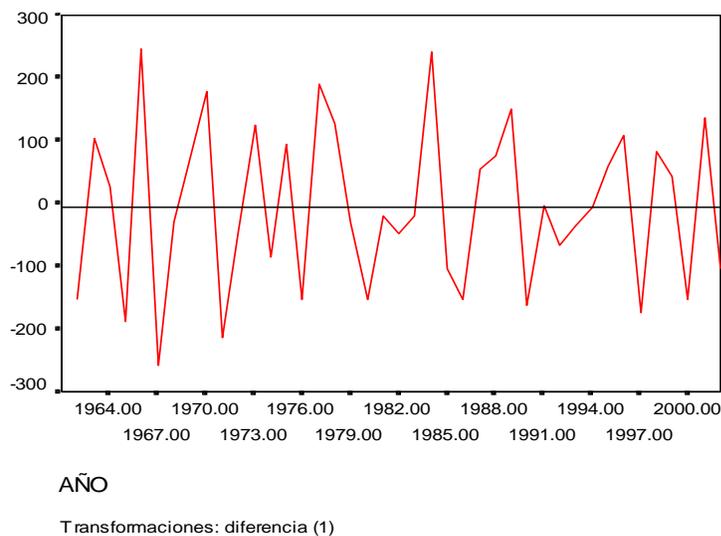


Gráfico 4.1: Serie diferenciada para la estación de San Francisco Gotera.

Teniendo este gráfico de líneas que presenta estacionariedad en media y en varianza y analizando los correlogramas de la serie (ver anexos 4.2), llegamos a la conclusión que hay cuatro modelos propensos a ser seleccionados para esta serie diferenciada, los cuáles son un modelo de medias móviles de orden uno MA(1), y uno de orden dos MA(2), un autorregresivo de orden 1 (AR(1)) y un autorregresivo que es afectado por un factor de medias móviles (ARMA(1,1)).

Cada uno de estos modelos pasará a ser analizados en la siguiente etapa que trata sobre la estimación de los parámetros, el cuál se tratará de escoger el modelo cuyos parámetros sean significativos.

#### **4.2.2 ESTIMACIÓN**

En los anexos 4.3 se presentan las salidas de las estimaciones de los cuatro modelos, resultando significativos los parámetros de los modelos MA(1) y el AR(1), ya que el nivel de significancia es menor que 0.05; los cuales pasarán a la etapa de chequeo.

#### **4.2.3. CHEQUEO**

Superada la etapa de estimación en el cual se selecciono el modelo MA(1) y el AR(1), ya que los parámetros de los otros modelos resultaron ser no significantes, nos encontramos en este momento en garantizar que la bondad del ajuste de nuestros modelos es buena, para lo cual recurrimos al análisis de los residuos, garantizando que estos cumplen con ser un ruido blanco.

##### **4.2.3.1 ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS**

Como señalan Box y Jenkins(1976), si el modelo es adecuado puede demostrarse que a medida aumenta el tamaño muestral de la serie, los residuos  $\hat{u}_t$  se aproximan a los ruidos blancos  $u_t$ . En consecuencia, se tratará de averiguar si los residuos de los modelos

estimados cumplen las características propias de una serie de ruido blanco, para poder concluir que dicho modelo resulta adecuado. En concreto, los residuos deberán tener :

- a) Media Cero
- b) Varianza constante
- c) Incorrelación para cualquier retardo y adicionalmente
- d) Algunos autores(véase Hipel, McLeod y Lennox, 1987, y Peña, 1991) añaden distribución normal

**a) Media Cero**

Para analizar si la media de los residuos es cero, podemos comenzar representando gráficamente la serie de los residuos, el cual se presenta a continuación.

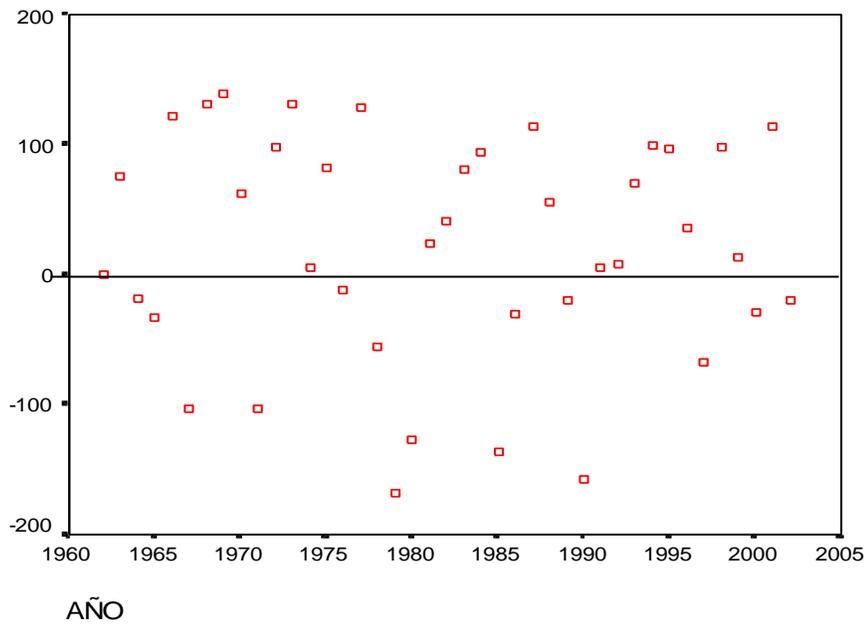


Gráfico 4.2: Residuales vs. tiempo para el Modelo MA(1)

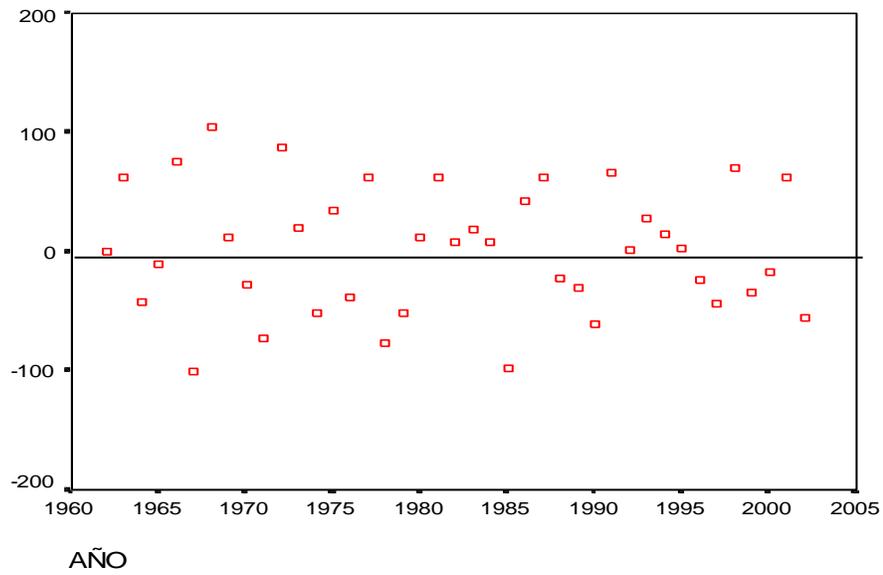


Gráfico 4.3: Residuales vs. tiempo para el Modelo AR(1)

En estos gráficos podemos observar que los valores giran alrededor de cero, por lo que se tiene una cierta evidencia respecto al cumplimiento de este primer requisito.

Para ratificar este resultado más formalmente, haremos un contraste de la significatividad de la media de los residuos, calculando el cociente entre la media muestral de los residuos y su desviación típica, de tal manera, que si el valor del mismo no excede de 2, adoptando un nivel de significancia ( $\varepsilon = 0.05$ ), concluiremos que podemos aceptar que la media no difiere significativamente de cero. Los resultados se presentan a continuación:

Modelo MA(1)

$$\text{Media (residuos)} = 20.54 \longrightarrow (\text{media/desv. Típ}) = (20.54/86.17) = 0.2383$$

$$\text{Desv. típ (residuos)} = 86.17$$

Modelo AR(1)

$$\text{Media (residuos)} = -7.3458 \longrightarrow (\text{media/desv. Típ}) = (7.3458/119.45) = -0.06$$

$$\text{Desv. típ (residuos)} = 119.45$$

Por tanto, tenemos que dichos cocientes son menores que 2, por lo que concluiremos que podemos aceptar que la media no difiere significativamente de cero.

## **b) Varianza Constante**

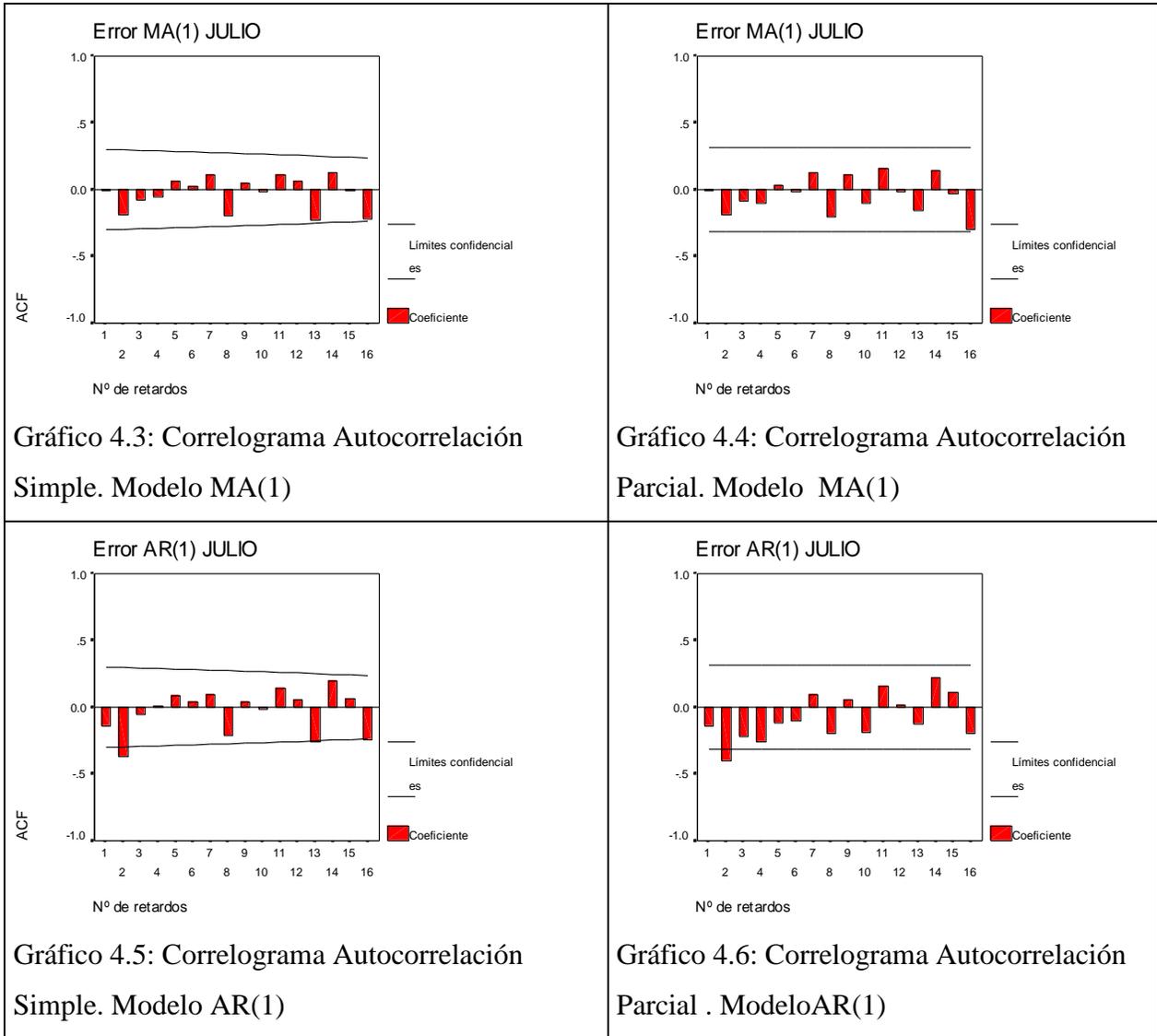
Al hacer el análisis del gráfico de los residuos (Gráfico 4.2 y 4.3), se observa que la dispersión de los mismos es constante a lo largo del tiempo, por lo que no hay elementos suficientes para demostrar que no hay varianza constante.

## **c) Incorrección**

Si la incorrección entre los residuales es certera, tendremos que los coeficientes (retardos) de las funciones de autocorrelación(ACF) y autocorrelación parcial (ACF Parcial )

no sobrepasan las bandas de confianza, o lo que es lo mismo, no hay significancia de los retardos.

Los gráficos se muestran a continuación:



Para el modelo AR(1) no se cumple la propiedad de incorrelación, además de presentar un AIC<sup>4</sup> y SBC alto en comparación al modelo IMA(1); por lo que el modelo AR(1) queda descartado, entonces tenemos que el modelo de medias móviles de orden 1 MA(1), pasará a la siguiente etapa del ajuste y predicción de la serie.

<sup>4</sup> AIC. Criterio de información de Akaike. Estadístico que permite decidir el orden de un modelo. El AIC toma en consideración tanto el grado en que el modelo se ajusta a la serie observada como el número de parámetros utilizados en el ajuste. Busca el modelo que presenta el menor AIC. (Tomado de ayuda del SPSS).

#### d) Normalidad

El gráfico de prueba de normalidad (Gráfico P-P) para el modelo MA(1) muestra que los puntos siguen la trayectoria de una línea recta, por lo que la normalidad se cumple.

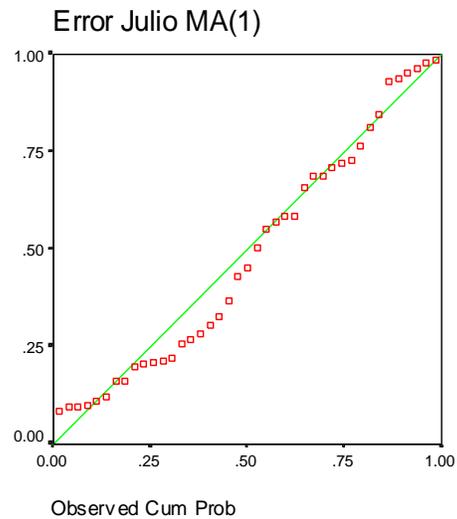


Gráfico 4.7: Gráfico P-P para los residuales del modelo MA(1)

En conclusión, tenemos que los residuales tienen un comportamiento semejante a los ruidos blancos, ya que superaron todas las etapas del chequeo para el caso del modelo MA(1), para lo cual estamos preparados para la siguiente etapa, la cual es la obtención de predicciones.

## 4.2.4 PREDICCIÓN

### 4.2.4.1 AJUSTE DE LAS PREDICCIONES

Antes de llevar la serie diferenciada a la serie original (cuya variable es la precipitación de lluvia) presentaremos el gráfico 4.8 que muestra el ajuste de las predicciones con la serie original, en este se observa un ajuste bastante bueno, ya que en general se definen muy bien las crestas de la serie.

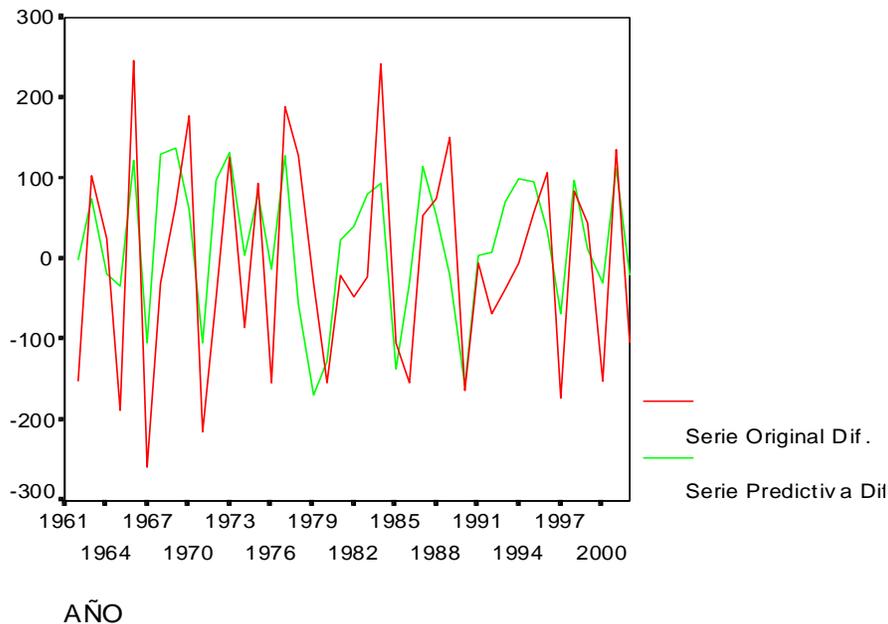


Gráfico 4.8: Gráfico Lineal de Ajuste de las predicciones

### 4.2.4.2 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO

A pesar de que para aplicar la metodología Box-Jenkins hemos debido transformar la serie original, obteniendo la serie  $W_t$  diferenciada una vez, y ya que las predicciones suelen

centrarse en la serie original; es por ello que debemos de llevar la serie  $W_t$  a una forma en ecuaciones en diferencias como sigue:

Tenemos para el modelo MA(1):  $W_t = -\theta_1 u_{t-1} + u_t$  con  $\theta_1 = 0.9283$

Donde  $W_t = (1-L)y_t$ , donde L indica el retardo de orden 1. Entonces para obtener las predicciones puntuales deberemos comenzar escribiendo el modelo en la forma de ecuaciones diferencias, es decir:

$$\theta(L) = 1 - 0.9283L$$

En consecuencia el modelo MA(1), en forma de ecuaciones en diferencia, podría expresarse como:

$$y_t = y_{t-1} - 0.9283u_{t-1} + u_t$$

Donde:

$Y_t$  = Predicción puntual en el tiempo t

$Y_{t-1}$  = Información de precipitación del tiempo t-1

$u_t$  = Error de predicción en el tiempo t, donde  $E(u_t) = 0$ ,

$u_t = Y_t - \hat{Y}_t$ , donde  $\hat{Y}_t$  es la predicción en el período t.

$u_{t-1}$  = Error de predicción en el tiempo t-1,

$u_{t-1} = Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-1}$ , donde  $\hat{Y}_{t-1}$  es la predicción en el período t-1

Por tanto, ya tenemos una ecuación para poder predecir valores puntuales, es de recalcar que nuestro modelo tiene sus limitaciones, es decir que para valores que están fuera del marco de nuestra base de datos, las predicciones no son muy certeras.

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2003, tomando como base informativa  $I_{2002} = (y_{2002}, y_{2001}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que  $u_{2002} = Y_{2002} - \hat{Y}_{2002} \Rightarrow u_{2002} = 149 - 227.85 = -82.85$ , donde  $u_{2002}$  es el error de predicción que proporciona el SPSS, se tiene:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{2002}(1) &= E(y_{2003} | I_{2002}) = E(y_{2002} - 0.9283u_{2002} + u_{2003} | I_{2002}) \\ &= y_{2002} - 0.9283u_{2002} \\ &= 149 - 0.9283(-82.85) \\ &= 225.91 \end{aligned}$$

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2004, tomando como base informativa  $I_{2003} = (y_{2003}, y_{2002}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que

$$u_{2003} = Y_{2003} - \hat{Y}_{2003} \Rightarrow u_{2003} = 251 - 225.91 = 25.1, \text{ se tiene:}$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_{2003}(1) &= E(y_{2004} | I_{2003}) = E(y_{2003} - 0.9283u_{2003} + u_{2004} | I_{2003}) \\ &= y_{2003} - 0.9283u_{2003} \\ &= 251 - 0.9283(25.1) \\ &= 227.7 \end{aligned}$$

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2005, tomando como base informativa  $I_{2004} = (y_{2004}, y_{2003}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que

$$u_{2004} = Y_{2004} - \hat{Y}_{2004} \Rightarrow u_{2004} = 210 - 227.7 = -17.7, \text{ se tiene:}$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_{2004}(1) &= E(y_{2005} | I_{2004}) = E(y_{2004} - 0.9283u_{2004} + u_{2005} | I_{2004}) \\ &= y_{2004} - 0.9283u_{2004} \\ &= 210 - 0.9283(-17.7) \\ &= 226.43 \end{aligned}$$

Por otra parte el intervalo de confianza para las predicciones estaría dado por la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}^+ - Z_{\alpha/2} * \sigma_u$$

donde:  $\hat{Y}$  = estimación puntual

$Z_{\alpha/2}$  = Valor de probabilidad normal = 1.96 con  $\alpha = 0.05$

$\sigma_u$  = Desviación típica de los errores de las predicciones

$$\hat{Y}^+ - 1.96 * 86.17 = \hat{Y}^+ - 168.89$$

Para que tengan validez los pronósticos, se tomará el acuerdo de hacer predicciones únicamente un año hacia delante, ya que se trata de un modelo MA(1), que por su estructura no es posible hacer pronósticos de mayor alcance; por lo que los intervalos de confianza serán los mismos, siempre y cuando el modelo sea válido; es decir satisface todos los puntos expuestos en la metodología de Box-Jenkins.

### **4.3 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA BOX-JENKINS. MES DE AGOSTO**

#### **4.3.1 IDENTIFICACIÓN**

Analizando las estructuras estocásticas de los modelos de agosto para San Francisco Gotera (ver Gráfico 3.10) se observa que no hay estacionalidad, más bien se observa que la serie oscila alrededor de su media, por lo que la serie parece presentar estacionariedad en media y en varianza, por lo que se decide analizar la función de autocorrelación (FAC) y autocorrelación parcial (FACP) (ver anexos 4.4). En dichos gráficos se muestra que no hay rezagos significativos, por lo que tendremos que aplicar una transformación a la serie, para lo cual aplicaremos en primera instancia una diferenciación de primer orden ( $y_t - y_{t-1}$ ). La serie diferenciada se presenta en el siguiente gráfico de líneas:

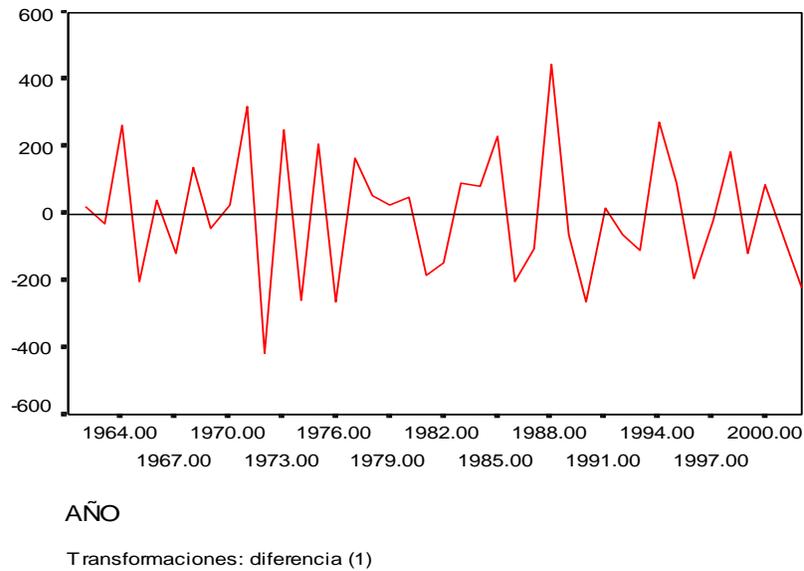


Gráfico 4.9: Serie diferenciada para la estación de San Francisco Gotera.

Teniendo este gráfico de líneas que presenta estacionariedad en media y en varianza y analizando los correlogramas de la serie (ver anexos 4.5), llegamos a la conclusión que hay tres modelos propensos a ser seleccionados para esta serie diferenciada, los cuáles son un modelo de medias móviles de orden uno  $MA(1)$ , un autorregresivo de orden 1 ( $AR(1)$ ) y un autorregresivo que es afectado por un factor de medias móviles ( $ARMA(1,1)$ ).

Cada uno de estos modelos pasara a ser analizados en la siguiente etapa que trata sobre la estimación de los parámetros, el cuál se tratará de escoger el modelo cuyos parámetros sean significativos.

### 4.3.2 ESTIMACIÓN

En los anexos 4.6 se presenta las salidas de las estimaciones de los tres modelos, resultando significativos los parámetros de los modelos MA(1) y el AR(1) dado que el nivel de significancia resulto ser menor que 0.05 los cuales pasarán a la etapa de chequeo.

### 4.3.3. CHEQUEO

Superada la etapa de estimación en el cual se selecciono el modelo MA(1) y el AR(1), ya que los parámetros de los otros modelos resultaron ser no significantes, nos encontramos en este momento en garantizar que la bondad del ajuste de nuestros modelos es buena, para lo cual recurriremos al análisis de los residuos, garantizando que estos cumplen con ser un ruido blanco.

#### 4.3.3.1 ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS

Como señalan Box y Jenkins(1976), si el modelo es adecuado puede demostrarse que a medida aumenta el tamaño muestral de la serie, los residuos  $\hat{u}_t$  se aproximan a los ruidos blancos  $u_t$ . En consecuencia, se tratará de averiguar si los residuos de los modelos estimados cumplen las características propias de una serie de ruido blanco, para poder concluir que dicho modelo resulta adecuado. En concreto, los residuos deberán tener :

- a) Media Cero
- b) Varianza constante
- c) Incorrelación para cualquier retardo y adicionalmente
- d) Algunos autores(véase Hipel, McLeod y Lennox, 1987, y Peña, 1991) añaden distribución normal

### a) Media Cero

Para analizar si la media de los residuos es cero, podemos comenzar representando gráficamente la serie de los residuos, el cual se presenta a continuación.

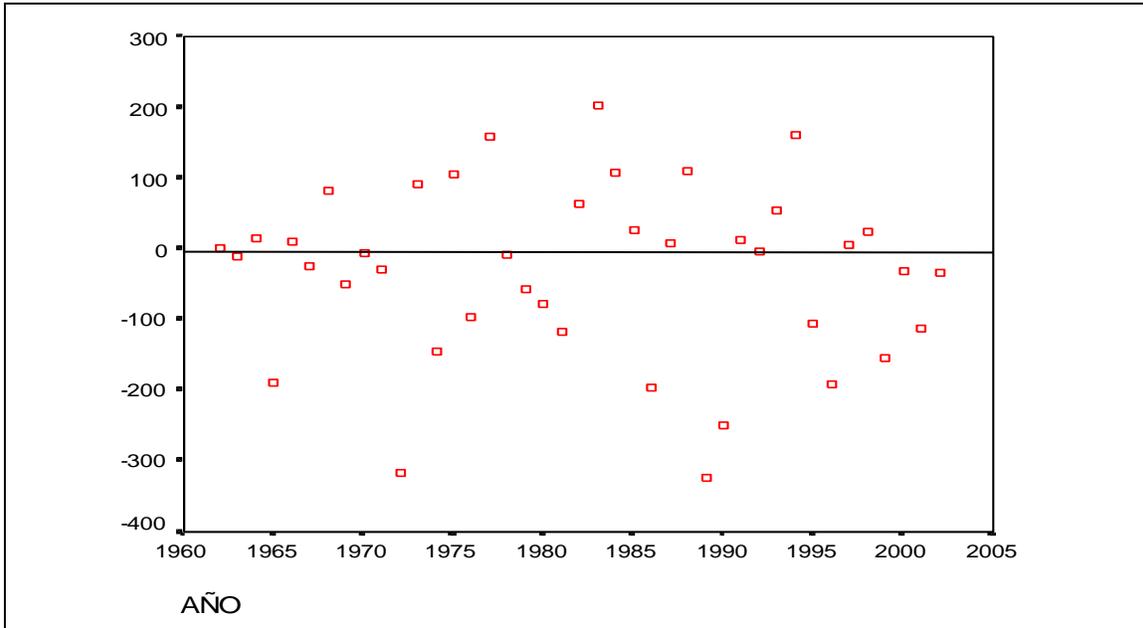


Gráfico 4.10: Residuales vs. tiempo para el Modelo MA(1)

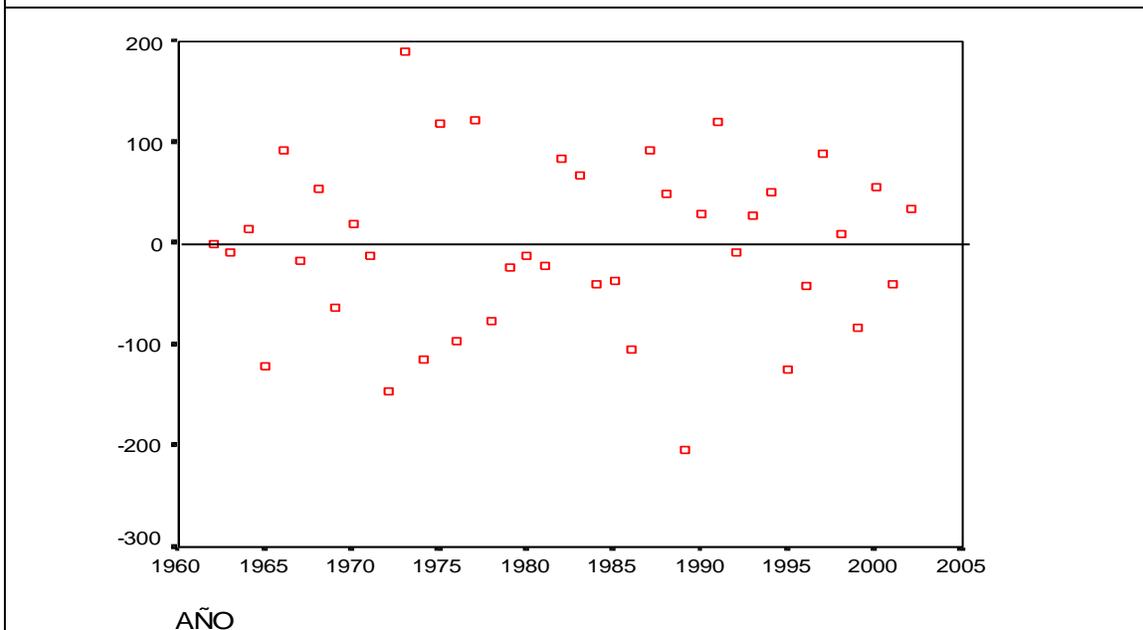


Gráfico 4.11: Residuales vs. tiempo para el Modelo AR(1)

En estos gráficos podemos observar que los valores giran alrededor de cero, por lo que se tiene una cierta evidencia respecto al cumplimiento de este primer requisito.

Para ratificar este resultado más formalmente, haremos un contraste de la significatividad de la media de los residuos, calculando el cociente entre la media muestral de los residuos y su desviación típica, de tal manera, que si el valor del mismo no excede de 2, adoptando un nivel de significancia ( $\varepsilon = 0.05$ ), concluiremos que podemos aceptar que la media no difiere significativamente de cero. Los resultados se presentan a continuación:

Modelo MA(1)

$$\text{Media (residuos)} = -31.50 \longrightarrow (\text{media/desv. Típ}) = (-31.50/121.77) = -0.2588$$

$$\text{Desv. típ (residuos)} = 121.77$$

Modelo AR(1)

$$\text{Media (residuos)} = 0.4110 \longrightarrow (\text{media/desv. Típ}) = (0.4110/166.36) = 0.00247$$

$$\text{Desv. típ (residuos)} = 166.36$$

Por tanto, tenemos que dichos cocientes son menores que 2, por lo que concluiremos que podemos aceptar que la media no difiere significativamente de cero.

### **b) Varianza Constante**

Al hacer el análisis del gráfico de los residuos (Gráfico 4.9 y 4.10), se observa que la dispersión de los mismos es constante a lo largo del tiempo, por lo que no hay elementos suficientes para demostrar que no hay varianza constante.

### **c) Incorrelación**

Si la incorrelación entre los residuales es certera, tendremos que los coeficientes(retardos) de las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (ACF Parcial) no sobrepasan las bandas de confianza, o lo que es lo mismo, no hay significancia de los retardos.

Los gráficos se muestran a continuación, en ambos modelos se puede observar que no existe ningún tipo de correlación, ya que todos los coeficientes se encuentran dentro de las bandas de confianza al 95%.

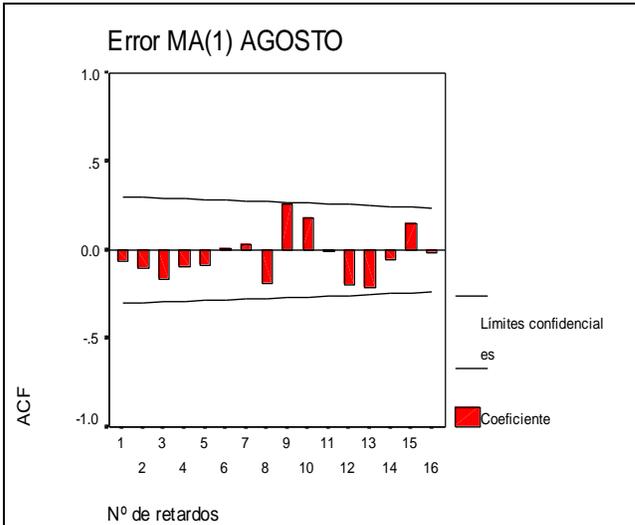


Gráfico 4.12: Correlograma Autocorrelación Simple. Modelo MA(1)

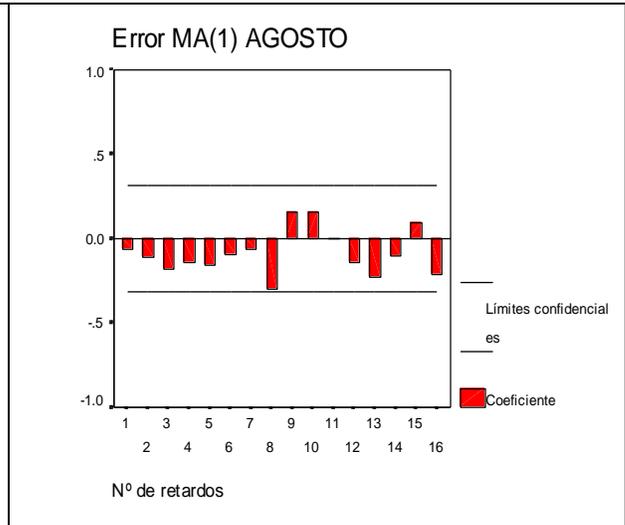


Gráfico 4.13: Correlograma Autocorrelación Parcial. Modelo MA(1)

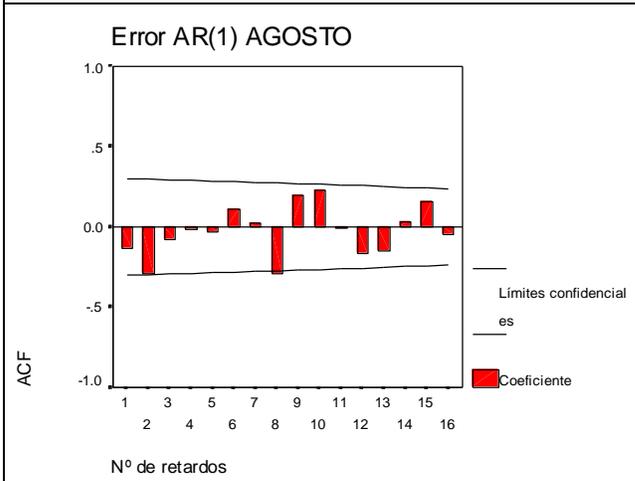


Gráfico 4.14: Correlograma Autocorrelación Simple. Modelo AR(1)

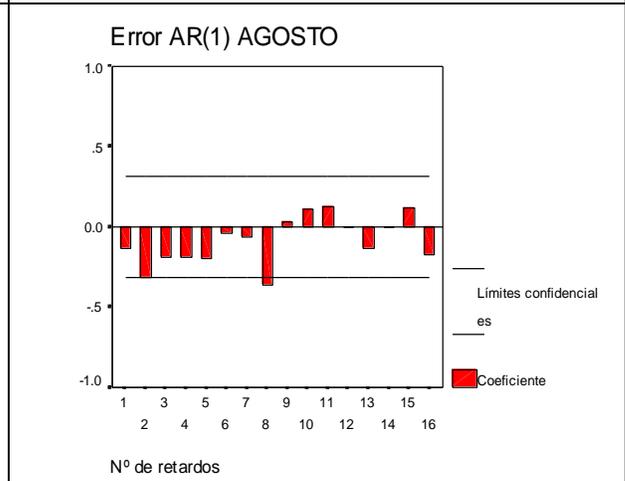


Gráfico 4.15: Correlograma Autocorrelación Parcial. Modelo AR(1)

#### d) Normalidad

El gráfico de prueba de normalidad (Gráfico P-P) para el modelo MA(1) y AR(1) muestra que los puntos siguen la trayectoria de una línea recta, por lo que la normalidad se cumple.

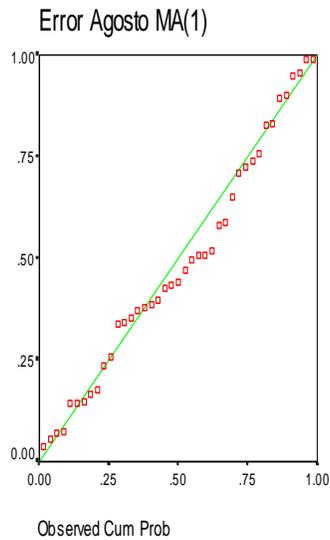


Gráfico 4.16: Gráfico P-P para los residuos del modelo MA(1)

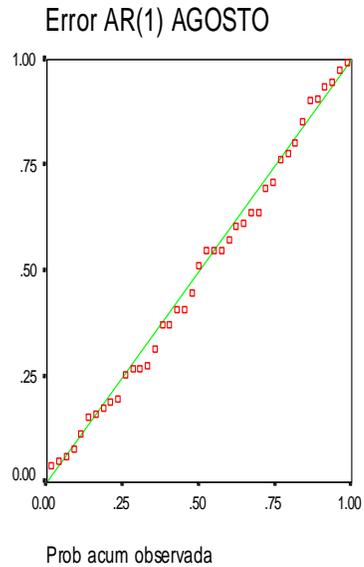


Gráfico 4.17: Gráfico P-P para los residuos del modelo AR(1)

En conclusión, tenemos que los residuales tienen un comportamiento semejante a los ruidos blancos, ya que superaron todas las etapas del chequeo para el caso de los modelo IMA(1) y ARI(1), lo cuál estamos preparados para la siguiente etapa, la cual es la obtención de predicciones.

## 4.3.4 PREDICCIÓN

### 4.3.4.1 AJUSTE DE LAS PREDICCIONES

Antes de llevar la series diferenciadas a la serie original (cuya variable es la precipitación de lluvia) presentaremos los gráfico 4.18 y 4.19 que muestra el ajuste de las predicciones con la serie original, en este se observa un ajuste bastante bueno, ya que en general se definen muy bien las crestas de la serie.

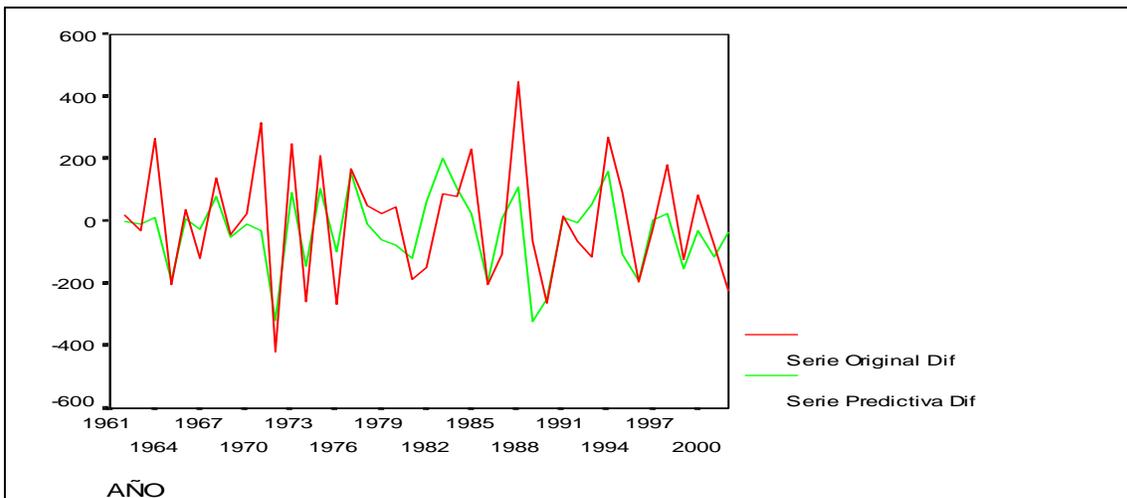


Gráfico 4.18: Gráfico Lineal de Ajuste de las predicciones. Modelo MA(1)

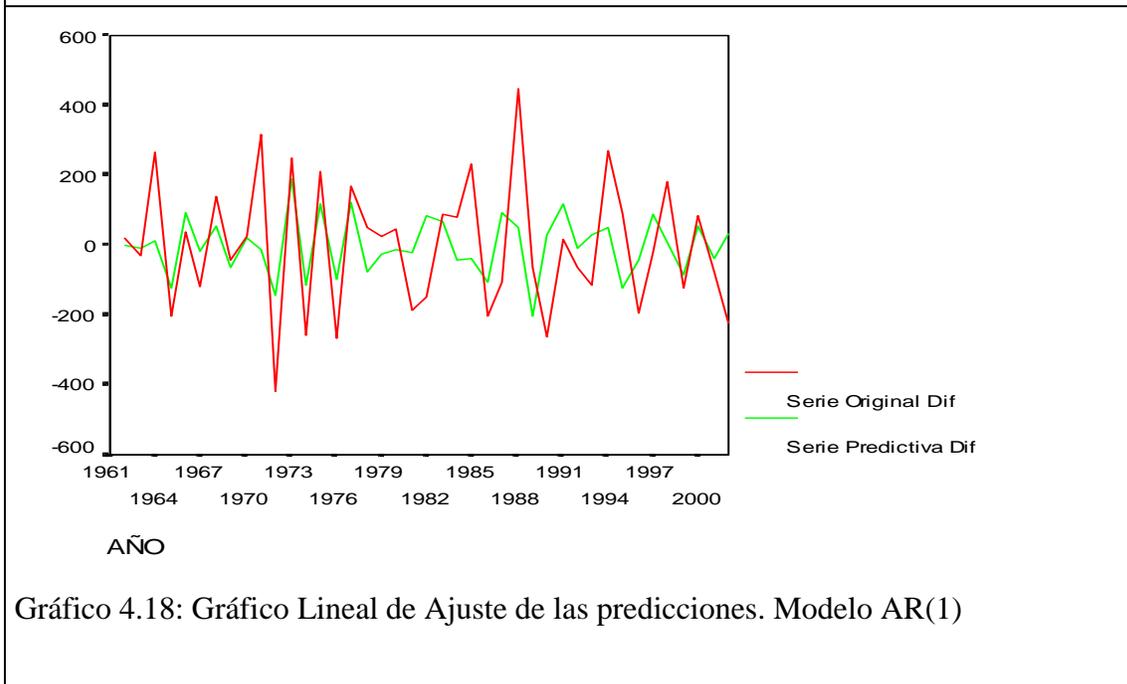


Gráfico 4.18: Gráfico Lineal de Ajuste de las predicciones. Modelo AR(1)

Ambos modelos están ajustando la serie muy bien, pero si se trata de elegir uno de los modelos tenemos que tener como parámetro algunos estadísticos de prueba, para lo cual utilizaremos los estadísticos AIC, SBC y el coeficiente de correlación, en nuestro caso el modelo MA(1) tiene menor AIC y SBC en comparación al AR(1) (ver anexos 4.3), lo que indica que el modelo MA(1) es el más adecuado; por otra parte el coeficiente de correlación del modelo MA(1) es mayor que el del AR(1) ( $r=0.69$  y  $r=0.459$  respectivamente) por lo que el modelo que utilizaremos para predecir sería el MA(1).

#### 4.3.4.2 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO

A pesar de que para aplicar la metodología Box-Jenkins hemos debido transformar la serie original, obteniendo la serie  $W_t$  diferenciada una vez, y ya que las predicciones suelen centrarse en la serie original; es por ello que debemos de llevar la serie  $W_t$  a una forma en ecuaciones en diferencias como sigue:

Tenemos para el modelo MA(1):  $W_t = -\theta_1 u_{t-1} + u_t$  con  $\theta_1 = 0.9685$

donde  $W_t = (1-L)y_t$ , donde  $L$  indica el orden del rezago. Entonces para obtener las predicciones puntuales deberemos comenzar escribiendo el modelo en la forma de ecuaciones diferencias, es decir:

$$\theta(L) = 1 - 0.9685L$$

En consecuencia el modelo MA(1), en forma de ecuaciones en diferencia, podría expresarse como:

$$y_t = y_{t-1} - 0.9685u_{t-1} + u_t$$

Donde:

$Y_t$  = predicción puntual en el tiempo t

$Y_{t-1}$  = Información de precipitación del tiempo t-1

$u_t$  = Error de predicción en el tiempo t , donde  $E(u_t) = 0$  ,

$u_t = Y_t - \hat{Y}_t$  , donde  $\hat{Y}_t$  es la predicción en el período t.

$u_{t-1}$  = Error de predicción en el tiempo t-1,

$u_{t-1} = Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-1}$  , donde  $\hat{Y}_{t-1}$  es la predicción en el período t-1

Por tanto, ya tenemos una ecuación para poder predecir valores puntuales, es de recalcar que nuestro modelo tiene sus limitaciones, es decir que para valores que están fuera del marco de nuestra base de datos, las predicciones no son muy certeras.

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2003, tomando como base informativa  $I_{2002} = (y_{2002}, y_{2001}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que

$u_{2002} = Y_{2002} - \hat{Y}_{2002} \Rightarrow u_{2002} = 135 - 322.54 = -187.54$ , que se obtiene de las salidas del SPSS al correr el modelo, por lo que se tiene:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{2002}(1) &= E(y_{2003} | I_{2002}) = E(y_{2002} - 0.9685u_{2002} + u_{2003} | I_{2002}) \\ &= y_{2002} - 0.9685u_{2002} \\ &= 135 - 0.9685(-187.54) \\ &= 316.65 \end{aligned}$$

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2004, tomando como base informativa  $I_{2003} = (y_{2003}, y_{2002}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que

$$\begin{aligned} u_{2003} &= Y_{2003} - \hat{Y}_{2003} \Rightarrow u_{2003} = 293 - 316.65 = -23.65, \text{ se tiene:} \\ \hat{y}_{2003}(1) &= E(y_{2004} | I_{2003}) = E(y_{2003} - 0.9685u_{2003} + u_{2004} | I_{2003}) \\ &= y_{2003} - 0.9685u_{2003} \\ &= 293 - 0.9685(-23.65) \\ &= 315.9 \end{aligned}$$

La predicción puntual del valor de la serie de lluvia para el período 2005, tomando como base informativa  $I_{2004} = (y_{2004}, y_{2003}, \dots, y_{1961})$ , sabiendo que  $u_{2004} = Y_{2004} - \hat{Y}_{2004} \Rightarrow u_{2004} = 250 - 315.9 = -65.9$ , se tiene:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{2004}(1) &= E(y_{2005} | I_{2003}) = E(y_{2004} - 0.9685u_{2004} + u_{2005} | I_{2004}) \\ &= y_{2004} - 0.9685u_{2004} \\ &= 250 - 0.9685(-65.9) \\ &= 313.82 \end{aligned}$$

Por otra parte el intervalo de confianza para las predicciones estaría dado por la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}^+ - Z_{\alpha/2} * \sigma_u$$

donde:  $\hat{Y}^+$  = estimación puntual

$Z_{\alpha/2}$  = Valor de probabilidad normal = 1.96 con  $\alpha = 0.05$

$\sigma_u$  = Desviación típica de los errores de las predicciones

$$\hat{Y}^+ - 1.96 * 121.77 = \hat{Y}^+ - 238.7$$

Para que tengan validez los pronósticos, se tomará el acuerdo de hacer predicciones únicamente un año hacia delante, ya que se trata de un modelo MA(1), que por su estructura no es posible hacer pronósticos de mayor alcance; por lo que los intervalos de confianza serán los mismos, siempre y cuando el modelo sea válido; es decir satisface todos los puntos expuestos en la metodología de Box-Jenkins.

## **CAPÍTULO V: PREDICCIONES POR REGRESIONES LINEALES**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En vista que en el capítulo III, en las tablas 3.1 y 3.2 y gráficos 3.13 y 3.14 se encontraron significancia en los coeficientes de correlación y que las funciones de correlación cruzada estuviesen relacionadas con el rezago cero, estos resultados nos motivaron a decidir utilizar regresiones lineales que permitirían obtener predicciones a partir de los resultados auto predictivos en la estación de San Francisco Gotera.

Los seis modelos formulados resultaron ser adecuados, superando las etapas del análisis de los residuos, teniendo de esta manera predicciones bastante precisas.

### **5.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA LOS MODELOS DEL MES DE JULIO Y AGOSTO**

Al hacer la estimación del parámetro que acompaña a la única variable explicativa en nuestros modelos, este resulto ser significativamente distinto de cero, ya que el valor probable(Sig.) resulto ser menor que nuestro valor de significancia asumido que fue de  $\alpha=0.05$ . (Ver anexos del Capítulo 5).

### **5.3 ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS.**

Para todos los modelos formulados se tiene que la media de los residuos es cero, los residuos con respecto al tiempo son aleatorios no presentan ninguna tendencia en particular, lo que demuestra que la varianza es constante respecto al tiempo. Por otra parte los gráficos P-P del test de normalidad muestra que los residuos tienen un comportamiento similar a una distribución normal, ya que las proporciones acumuladas de las variables de precipitación respecto a la distribución normal siguen una línea recta (ver anexos del capítulo 5)

## 5.4 PREDICCIONES PUNTUALES Y POR INTERVALO

En términos generales, los modelos son bastante precisos (ver gráficos de ajuste de predicciones de anexos del capítulo 5), y están listos para ser llevados a la práctica, recordando que sus predicciones dependen de lo acertado que sea las predicciones en la estación de San Francisco Gotera; además de enfatizar que los modelos tienen debilidades para las predicciones de valores atípicos extremos, ya sean estos altos o bajos, debidos por los fenómenos que atañen al país como lo son los fenómenos climáticos de El Niño y La Niña.

Las ecuaciones de predicción se dan a continuación, tanto para el mes de Julio como el de Agosto.

### **Mes de Julio:**

$$\text{Ec. 1.1: } E(Y_{\text{santiago de maría}} | X_{\text{san francisco gotera}}) = 0.841 * X + 51.478$$

$$\text{Ec. 1.2: } E(Y_{\text{la unión}} | X_{\text{san francisco gotera}}) = 0.642 * X + 33$$

$$\text{Ec. 1.3: } E(Y_{\text{el papalón}} | X_{\text{san Francisco gotera}}) = 0.544X + 68.625$$

### **Mes de Agosto:**

$$\text{Ec. 1.4: } E(Y_{\text{santiago de maría}} | X_{\text{san francisco gotera}}) = 0.201 * X + 220.14$$

$$\text{Ec. 1.5: } E(Y_{\text{la unión}} | X_{\text{san francisco gotera}}) = 0.407 * X + 74.14$$

$$\text{Ec. 1.6: } E(Y_{\text{el papalón}} | X_{\text{san Francisco gotera}}) = 0.196X + 168.42$$

Recurriendo a las ecuaciones Ec.1.1 a la Ec 1.6 y a las predicciones obtenidas para la estación de Gotera en el capítulo anterior se tienen las predicciones puntuales siguientes para los años de 2003, 2004 y 2005:

Tabla 5.1 Predicciones puntuales para el mes de julio

<b>Año</b>	<b>Estaciones. Mes de Julio</b>			
	<b>Gotera</b>	<b>Santiago</b>	<b>La Unión</b>	<b>El Papalón</b>
2003	225.91	241.47	178.03	191.52
2004	227.7	242.97	179.18	192.49
2005	226.43	241.91	178.37	191.80

Tabla 5.2: Predicciones puntuales para el mes de agosto.

<b>Año</b>	<b>Estaciones. Mes de Agosto</b>			
	<b>Gotera</b>	<b>Santiago</b>	<b>La Unión</b>	<b>El Papalón</b>
2003	316.65	283.79	203.02	230.48
2004	315.9	283.64	202.71	230.34
2005	313.82	283.22	201.86	229.93

Los intervalos de confianza para las predicciones están dadas por la siguiente formula:

$$\hat{Y} \pm Z_{\alpha/2} * \sigma_u$$

donde:  $\hat{Y}$  = estimación puntual

$Z_{\alpha/2}$  = Valor de probabilidad normal = 1.96 con  $\alpha = 0.05$

$\sigma_u$  = Desviación típica de los errores de las predicciones

Entonces para los intervalos de confianza para las estaciones en los meses de julio y agosto serían los siguientes:

<b>Estación</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
Santiago de María	Y +/- 71.53*1.96 =Y+/- 140.2	Y +/- 71.62*1.96 =Y+/- 140.38
La Unión	Y +/- 79.18*1.96 =Y+/- 155.19	Y +/- 78*1.96 =Y+/- 152.88
El Papalón	Y +/- 83.67*1.96 =Y+/- 164	Y +/- 51.81*1.96 =Y+/- 101.1

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Se desarrollaron ocho modelos y sus respectivas ecuaciones de predicción, utilizando la metodología Box-Jenkins para los modelos de Gotera, y regresiones lineales para los demás modelos; en este caso se aprovechó la alta relación lineal existente entre las estaciones
- Todos los modelos superaron satisfactoriamente las etapas de estimación, chequeo y predicción, es de señalar que la variabilidad de los errores no se pudo controlar totalmente; es por eso que se tienen intervalos de confianza un tanto amplios.
- Los modelos gozan de todas las características necesarias para servir a SNET como una herramienta para obtener predicciones de lluvia mensual bastante precisas en los meses de julio y agosto.
- Al analizar los errores de predicción, se observaron errores muy altos para el mes de agosto del año 2004 en las estaciones de El Papalón y Santiago de María (ver tablas 6.1 y 6.2), sin que estos se salgan de los intervalos de confianza; esto tiene una explicación lógica, ya que al comparar las precipitaciones con el valor histórico de cada una de las estaciones existían diferencias significativamente altas, sobre todo para la estación de El Papalón, que presentó una anomalía<sup>5</sup> de -1.86 y Santiago de María de -1.14; esto pone de manifiesto la vulnerabilidad de los modelos ante la presencia de valores un tanto atípicos.
- Se puede observar que las predicciones para Gotera tanto para julio como para agosto presentan estimaciones bastante parecidas, esto es debido únicamente al factor aleatorio, ya que los datos en cada año son diferentes y los errores de predicción dependen de las diferencias que se encuentren en las observaciones originales y sus respectivas predicciones.

---

<sup>5</sup> Anomalía: Valor estandarizado con respecto al promedio histórico.

**Tabla 6.1:** Errores en las predicciones para la estación de El Papalón

El Papalón	Julio			Agosto		
	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)
2003	157	191.52	-34.52	290	230.48	59.52
2004	206	192.49	13.51	82	230.34	-148.34

**Tabla 6.2:** Errores en las predicciones para la estación de Santiago de María

Santiago de María	Julio			Agosto		
	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)
2003	250.28	241.47	8.81	301.91	283.79	18.12
2004	245	242.97	2.03	160	283.64	-123.64

**Tabla 6.3:** Errores en las predicciones para la estación de La Unión

La Unión	Julio			Agosto		
	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)
2003	98	178.03	-80	209	203.02	6
2004	208	179.18	28.82	188	202.71	-14.71

**Tabla 6.4:** Errores en las predicciones para la estación de San Francisco Gotera

San Francisco Gotera	Julio			Agosto		
	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)	Yoriginal	Ypredicción	Ut(Yoriginal-Ypredicción)
2003	251	225.91	25.09	293	316.65	-23.65
2004	210	227.7	-17.7	250	315.9	-65.9

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con esta tesis se presento el enfoque de Box-Jenkins, una metodología bastante completa debido a su fuerte base teórica estadística, la cual permite tener un grado de confiabilidad bastante alto, pues estos métodos han sido desarrollados a lo largo de muchos años y tienen una base teórica sustentada.
- Los pronósticos obtenidos deben ser tomados en cuenta siempre y cuando las elevaciones o disminuciones de lluvia con respecto al promedio histórico de cada una de las estaciones meteorológica no sean significativamente altas en valor absoluto. En cuanto las condiciones cambien, los pronósticos se alejarán mas de los valores reales, tal el es el caso de las estaciones de El Papalón y Santiago de María en agosto del 2004.
- Se recomienda que se evalúen los modelos año con año para ver si cumplen con el objetivo principal por el que fueron concebidos, el cual es de obtener predicciones que se ajusten a la realidad de la zona oriental.
- Recomendamos revisar los convenios que el SNET tiene con la UES con el objetivo de incentivar al alumnado para que desarrolle proyectos encaminados a proponer soluciones a los diferentes problemas climáticos.
- Motivar a los estudiantes para que retome el seguimiento de este proyecto con metodologías similares (Series temporales) o las de tipo causales (Regresiones Multivariadas) con el objetivo de establecer comparaciones y depurar los modelos predictivos.

- Para motivar a los estudiantes a emprender proyectos de su área aplicados a diferentes campos del conocimiento se deben plantear estrategias bien delimitadas para alcanzar ese objetivo. Estrategias que nacen del espíritu o visión de la Licenciatura en Estadística y computación.
- Se recomienda que se evalúe el impacto de este proyecto y su producto para que en un futuro pueda ampliarse su ámbito de aplicación a áreas que no se tomaron en cuenta.
- Proyectos de esta índole no deben pasar desapercibidos, a pesar de su corto alcance, porque fomenta la generación de ciencia. De esta manera en un futuro prometedor pasaremos a ser productores y no consumidores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Carlos Gregorio López Bernal.**

La Meteorología en El Salvador (1986-119) de la curiosidad y la pasión científica a la indiferencia. [www.history.latech.edu/webre/6ccah\\_programa.html-74k](http://www.history.latech.edu/webre/6ccah_programa.html-74k)

- **Lic. Luís A. García Guirola, Licda. Lorena Soriano de Cruz, Ing. Tomas Pacheco e Ing. Erbin Sermeño Arias**

Mitigación de desastres en América Central

Estudio Técnico: Mejoramiento de la capacidad Técnica para mitigar los efectos de Futuros eventos de la variabilidad climática.

- **Diario Oficial.**

Tomó N° 353, 18 de Octubre del 2000. Decreto N° 96.

- **Lic. Luís A. García Guirola, Ing. Tomas Rivas Pacheco y Sr. Walter Fernández**

Curso practico de análisis de eventos meteorológicos extremos y sus impactos en América Central.

Estudio Técnico: Revisión Bibliográfica sobre la canícula, Condiciones Atmosféricas que la causan.

- **Antonio Aznar / Francisco Javier Trivez**

Métodos de Predicción en Economía II. Análisis de Series Temporales

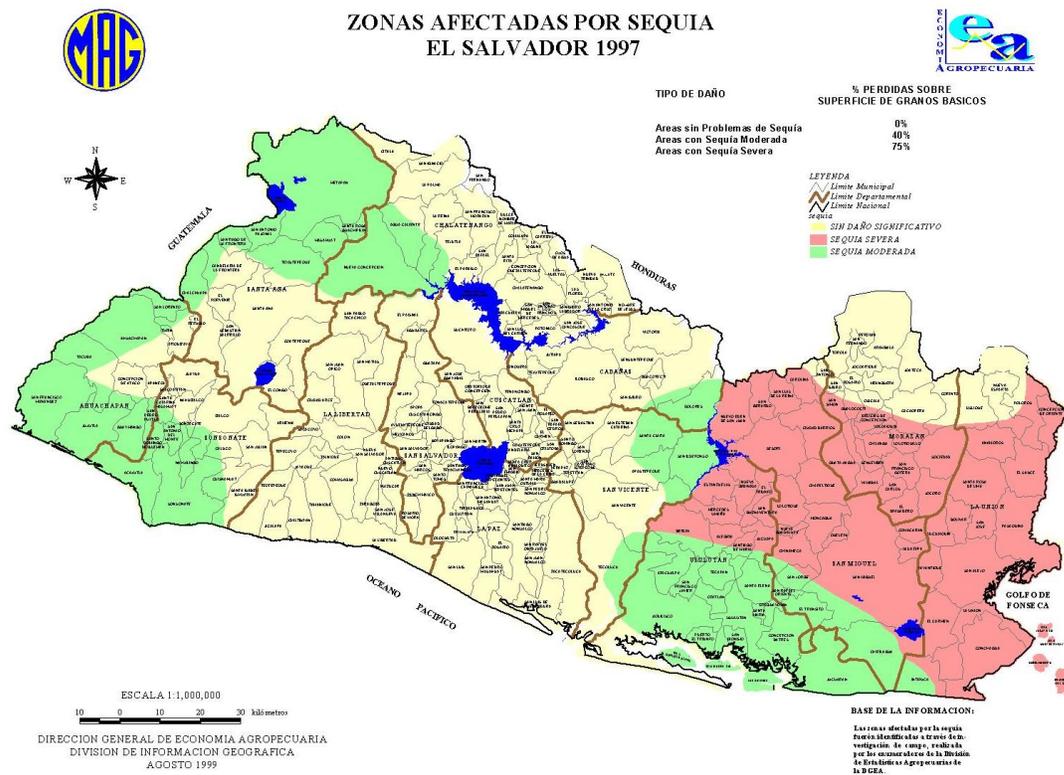
- **Daniel Peña Sánchez de Rivera**

Estadística, Modelos y Métodos. Modelos Lineales y Series Temporales

# ANEXOS.

## ANEXOS CAPITULO I.

Fig.1



## ANEXOS CAPITULO II.

ESTACION: Santiago de Maria

LATITUD NORTE: 13° 29'

INDICE: U-6

LONGITUD OESTE: 88° 28'

DEPARTAMENTO: Usulután

ELEVACION : 930msndm

CUADRO 1 precipitación en (mm)

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1961	1	36	35	30	70	275	423	147	587	319	215	4	2142
1962	1	0	20	68	86	448	188	311	518	353	49	0	2042
1963	0	28	4	3	187	268	264	260	392	207	248	1	1862
1964	0	0	4	70	120	342	466	240	226	192	6	14	1680
1965	0	0	0	1	134	390	203	254	678	254	62	4	1980
1966	0	2	0	35	295	398	429	372	234	190	19	17	1991
1967	0	3	11	65	26	505	199	188	434	224	6	16	1677
1968	0	1	0	29	268	445	88	200	317	298	55	1	1702
1969	4	0	9	42	250	422	189	470	505	493	67	24	2475
1970	2	0	26	4	198	287	360	273	505	267	28	35	1985
1971	0	0	2	1	189	209	174	296	468	327	117	2	1785
1972	1	0	1	71	219	247	110	172	286	254	82	0	1443
1973	0	0	0	90	293	328	155	458	334	293	17	1	1969
1974	5	0	26	21	78	369	126	165	540	168	3	0	1501
1975	1	0	0	55	155	81	225	338	538	312	116	0	1821
1976	0	0	0	90	174	462	120	333	305	353	7	1	1845
1977	0	0	0	74	308	543	50	282	214	120	126	18	1735
1978	0	23	7	60	158	266	494	269	400	205	12	77	1971
1979	0	0	4	91	147	398	320	332	676	239	36	7	2250
1980	3	0	0	41	195	330	427	279	318	257	45	19	1914
1981	0	3	29	93	247	337	302	351	369	352	19	22	2124
1982	9	2	2	12	426	328	157	133	495	216	30	14	1824
1983	0	4	11	39	42	239	160	268	241	176	138	15	1333
1984	1	10	16	0	215	224	337	283	428	137	39	0	1690
1985	0	0	0	55	62	236	363	275	280	227	367	37	1902
1986	3	11	0	12	357	390	112	356	263	217	32	0	1753
1987	0	0	22	24	81	317	309	268	322	37	8	2	1390
1988	0	0	12	35	216	503	297	750	446	294	53	7	2613
1989	0	0	5	67	235	250	324	289	779	173	90	8	2220
1990	0	1	13	46	464	299	185	280	446	217	91	11	2053
1991	0	0	6	16	137	321	171	276	295	258	33	37	1550
1992	0	0	0	43	175	209	228	205	594	274	104	20	1852
1993	11	0	24	248	297	347	103	375	464	166	53	0	2088
1994	1	1	0	24	282	209	105	319	475	231	109	4	1760
1995	0	0	0	147	169	170	286	743	494	367	58	15	2449
1996	1	3	7	100	479	312	377	341	322	246	50	0	2238
1997	10	14	15	5	144	447	176	224	307	272	106	10	1730
1998	0	0	6	0	89	309	324	296	233	547	533	1	2338
1999	1	0	0	13	210	247	298	265	539	280	41	8	1902
2000	0	0	0	50	297	289	157	371	467	196	63	0	1890
2001	0	0	3	5	209	141	282	322	218	179	8	0	1367
2002	39	1	0	24	308	226	315	121	402	268	107	0	1811
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.6</b>	<b>3.4</b>	<b>9.7</b>	<b>47.8</b>	<b>207.4</b>	<b>310.0</b>	<b>250.3</b>	<b>301.9</b>	<b>408.5</b>	<b>259.3</b>	<b>79.2</b>	<b>9.9</b>	<b>1890.0</b>

ESTACION: San Francisco Gotera

LATITUD NORTE: 13° 29'

INDICE: Z-2

LONGITUD OESTE: 88° 06'

DEPARTAMENTO: Morazán

ELEVACION : 250msndm

CUADRO 2 Precipitación en (mm)

<b>Año/Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>ANUAL</b>
1956	12	23	0	39	265	246	195	287	433	400	10	0	1910
1957	0	0	0	113	188	308	297	269	465	370	32	0	2042
1958	4	0	0	37	311	666	486	283	693	257	73	0	2810
1959	0	0	0	27	211	283	195	280	421	243	32	0	1692
1960	5	7	16	50	497	441	236	231	291	498	42	2	2316
1961	0	9	54	34	194	323	393	193	360	319	148	21	2048
1962	0	0	1	38	335	540	241	213	456	493	46	0	2363
1963	0	6	27	16	231	273	344	182	441	295	197	6	2018
1964	1	4	8	57	271	402	370	448	410	290	23	33	2317
1965	0	0	0	17	248	335	183	247	436	309	7	0	1782
1966	0	0	0	88	440	507	430	285	438	302	2	8	2500
1967	0	10	5	182	75	428	172	166	448	370	15	9	1880
1968	0	2	0	37	236	340	143	306	491	302	33	4	1894
1969	0	0	11	75	252	485	211	263	354	373	39	0	2063
1970	0	4	5	40	315	364	390	289	505	312	27	6	2257
1971	0	0	0	14	244	312	176	608	265	407	60	0	2086
1972	0	0	0	81	265	225	128	191	303	162	79	0	1434
1973	0	2	0	141	290	572	254	441	591	580	14	0	2885
1974	0	0	38	2	134	297	169	182	419	178	0	0	1419
1975	0	0	5	0	210	156	264	392	492	331	138	0	1988
1976	0	0	0	125	270	598	111	126	250	166	40	0	1686
1977	0	0	0	42	239	393	41	293	299	140	92	21	1560
1978	0	12	13	92	181	129	428	345	547	265	15	34	2061
1979	0	0	12	332	181	387	398	370	386	325	33	3	2427
1980	6	0	0	26	401	478	245	417	550	335	24	0	2482
1981	0	2	24	48	178	321	225	232	396	392	7	38	1863
1982	13	12	0	9	530	457	178	83	412	196	39	40	1969
1983	0	1	10	19	77	310	157	172	420	513	86	13	1778
1984	7	39	8	17	110	362	399	252	396	171	38	0	1799
1985	0	0	3	101	242	287	295	483	478	235	135	12	2271
1986	0	1	0	29	196	240	141	279	349	259	53	0	1547
1987	1	0	49	21	119	405	196	172	187	21	2	1	1174
1988	0	0	26	10	113	518	272	620	538	186	148	0	2431
1989	0	0	0	16	339	269	423	557	491	258	117	14	2484
1990	0	1	4	118	278	378	260	294	513	496	162	15	2519
1991	0	0	12	9	320	284	87	312	381	283	5	88	1781
1992	0	0	23	54	70	-	188	250	459	206	63	8	1321
1993	4	0	20	101	332	233	151	138	383	268	6	0	1636
1994	0	5	0	35	188	148	146	409	432	345	33	0	1741
1995	0	0	40	112	206	-	205	502	377	205	24	0	1671
1996	2	0	10	129	308	304	313	306	320	331	36	0	2059
1997	5	2	7	17	132	316	140	286	474	258	65	0	1702
1998	0	0	42	35	266	348	224	469	283	535	257	5	2464
1999	0	0	0	57	206	407	268	348	457	234	58	4	2039
2000	0	0	0	8	293	302	116	434	595	178	26	1	1953
2001	0	0	4	16	454	81	252	357	395	499	0	0	2058
2002	3	0	0	38	278	282	149	135	364	337	48	0	1634
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.3</b>	<b>3.0</b>	<b>10.1</b>	<b>57.5</b>	<b>249.3</b>	<b>349.8</b>	<b>240.1</b>	<b>306.3</b>	<b>422.2</b>	<b>307.0</b>	<b>55.9</b>	<b>8.2</b>	<b>1996.0</b>

ESTACION: La Unión(BFCIO.CALIFORNIA)

LATITUD NORTE: 13° 20'

INDICE: N-15

LONGITUD OESTE: 87° 53'

DEPARTAMENTO: La Unión

ELEVACION : 95msndm

CUADRO 3 Precipitación en (mm)

<b>Año/Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>ANUAL</b>
1961	0	26	21	48	78	385	193	54	503	272	95	0	1675
1962	0	0	13	65	100	458	129	298	314	341	14	0	1732
1963	0	0	12	0	152	266	277	108	403	222	228	0	1668
1964	0	0	0	20	72	360	365	466	341	187	0	18	1829
1965	0	0	0	8	128	245	72	118	626	142	16	0	1355
1966	0	0	0	61	309	442	232	164	290	171	8	14	1691
1967	0	0	0	8	7	359	92	122	288	101	17	2	996
1968	0	0	0	25	283	304	78	128	331	344	39	0	1532
1969	0	0	7	36	202	443	163	393	433	342	47	2	2068
1970	0	0	0	0	0	0	0	327	298	409	17	0	1051
1971	0	0	0	28	97	218	177	359	368	299	25	1	1572
1972	0	0	0	79	511	125	200	138	139	362	80	1	1635
1973	0	0	0	12	271	248	124	356	218	438	3	1	1671
1974	0	0	2	0	109	486	100	144	720	176	5	0	1742
1975	0	0	0	0	268	185	112	218	568	221	83	0	1655
1976	0	0	0	71	112	412	50	157	261	130	33	2	1228
1977	0	0	0	41	274	352	2	119	186	66	118		1158
1978	0	0	46	28	192	182	373	210	534	92	46	31	1734
1979	0	0	4	100	118	350	311	347	398	228	26	0	1882
1980	41	0	0	8	351	217	353	189	317	411	5	0	1892
1981	2	0	13	38	393	400	172	213	399	255	10	44	1939
1982	4	0	37	27	334	224	94	32	319	169	27	12	1279
1983	0	1	2	9	23	198	60	184	350	278	52	3	1531
1984	0	0	13	8	151	174	300	177	551	154	3	0	1336
1985	0	0	0	41	78	176	180	236	146	256	223	0	1336
1986	0	2	0	1	222	196	15	172	312	196	40	0	1156
1987	0	0	26	12	98	211	346	126	229	65	8	2	1123
1988	0	2	2	7	306	324	254	815	468	255	1	0	2434
1989	0	0	0	17	212	313	370	313	720	128	43	14	2130
1990	0	0	6	42	184	144	162	162	341	372	65	6	1484
1991	0	0	4	54	167	400	8	182	327	223	21	13	1399
1992	0	0	2	50	28	229	133	167	435	102	21	0	1167
1993	0	0	0	107	199	353	61	152	426	202	0	0	1500
1994	0	0	0	14	221	90	39	261	407	262	124	0	1418
1995	0	0	9	21	14	333	184	574	462	348	33	5	1983
1996	0	10	1	32	586	209	324	184	297	202	20	0	1865
1997	2	3	0	19	72	474	146	47	316	133	58	2	1272
1998	0	0	17	1	164	284	363	304	200	482	308	0	2123
1999	0	0	2	0	188	365	223	155	649	259	13	5	1859
2000	0	0	0	8	304	203	165	180	779	118	25	1	1783
2001	0	0	0	0	343	95	102	201	294	306	1	0	1342
2002	0	0	0	17	260	163	100	143	264	101	34	0	1082
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>	<b>5.7</b>	<b>27.7</b>	<b>194.8</b>	<b>276.1</b>	<b>171.5</b>	<b>223.7</b>	<b>386.4</b>	<b>233.8</b>	<b>48.5</b>	<b>4.4</b>	<b>1578.7</b>

ESTACION: El papalón

LATITUD NORTE: 13° 42'

INDICE: M-6

LONGITUD OESTE: 88° 06'

DEPARTAMENTO: San Miguel

ELEVACION : 250msndm

CUADRO 4 Precipitación en (mm)

año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1960	1	2	1	26	156	276	201	225	301	200	43	2	1434
1961	1	1	0	26	120	276	201	225	301	200	43	2	1396
1962	0	0	0	22	80	317	137	175	364	325	72	0	1492
1963	0	10	0	15	186	250	302	219	383	182	204	0	1751
1964	0	0	0	10	94	280	271	226	191	185	5	2	1264
1965	0	0	0	27	317	340	203	300	428	103	1	0	1719
1966	0	16	0	3	65	302	216	323	219	107	0	0	1251
1967	0	7	12	64	176	317	120	224	307	113	5	0	1345
1968	0	0	0	6	174	276	116	109	340	202	21	2	1246
1969	1	0	0	29	145	208	251	261	539	185	43	2	1664
1970	0	1	1	30	127	358	320	181	232	251	25	20	1546
1971	1	0	0	33	79	137	162	246	284	216	17	0	1175
1972	0	0	0	65	311	67	129	161	129	247	102	0	1211
1973	0	0	0	16	124	288	127	300	276	489	36	1	1657
1974	2	0	0	0	179	347	160	182	472	187	2	0	1531
1975	2	0	3	0	173	118	135	283	421	186	108	0	1429
1976	0	0	0	77	119	490	60	160	234	203	14	0	1357
1977	0	0	0	19	103	269	10	185	127	49	39	8	809
1978	0	1	12	57	110	121	286	256	403	97	18	24	1385
1979	0	0	0	33	44	313	228	343	293	212	34	3	1503
1980	8	0	0	22	358	487	361	257	271	270	12	0	2046
1981	0	1	1	41	262	365	212	178	344	219	4	30	1657
1982	2	4	0	4	330	212	138	59	502	136	17	1	1405
1983	0	0	11	28	47	230	115	226	308	175	60	26	1226
1984	0	0	1	4	115	308	365	186	264	166	20	0	1429
1985	0	0	0	38	92	202	289	289	179	198	237	0	1524
1986	0	5	0	0	254	184	163	240	271	199	38	0	1354
1987	1	0	29	4	109	266	377	276	188	9	4	2	1265
1988	0	2	1	22	168	457	348	623	452	213	70	0	2356
1989	0	0	0	59	146	315	370	272	595	112	87	5	1961
1990	0	7	11	47	124	179	152	191	345	259	108	16	1439
1991	1	0	9	16	140	390	35	190	281	224	4	14	1304
1992	0	0	23	55	108	241	212	178	527	126	20	6	1496
1993	2	0	2	65	364	264	122	305	428	120	11	0	1683
1994	0	1	0	74	102	60	68	251	350	162	124	1	1193
1995	0	0	7	48	96	214	205	264	382	285	0	5	1506
1996	2	1	1	20	402	178	350	224	272	193	42	0	1685
1997	10	1	1	4	48	415	88	208	263	135	110	0	1283
1998	0	0	2	0	65	186	330	306	86	427	246	0	1648
1999	0	0	1	31	138	325	178	177	402	186	28	4	1470
2000	0	0	0	12	357	272	132	283	370	106	11	0	1543
2001	0	0	9	0	278	65	216	245	145	371	1	0	1330
2002	8	1	0	26	316	180	230	219	256	270	56	0	1561
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.0</b>	<b>1.4</b>	<b>3.2</b>	<b>27.4</b>	<b>169.8</b>	<b>263.8</b>	<b>202.1</b>	<b>237.9</b>	<b>319.2</b>	<b>197.7</b>	<b>49.8</b>	<b>4.1</b>	<b>1477.4</b>

### ANEXOS CAPITULO III.

CUADRO 5: Precipitación en (mm.). Bases limpias

Año	Santiago de María		San Francisco Gotera		La Unión		El Papalón	
	Julio	Agosto	Julio	Agosto	Julio	Agosto	Julio	Agosto
1961	423.0	147.0	393.0	193.0	193.0	54.0	201.0	225.0
1962	188.0	311.0	241.0	213.0	129.0	298.0	137.0	175.0
1963	264.0	260.0	344.0	182.0	277.0	108.0	302.0	219.0
1964	466.0	240.0	370.0	448.0	365.0	466.0	271.0	226.0
1965	203.0	254.0	183.0	247.0	72.0	118.0	203.0	300.0
1966	429.0	372.0	430.0	285.0	232.0	164.0	216.0	323.0
1967	199.0	188.0	172.0	166.0	92.0	122.0	120.0	224.0
1968	88.0	200.0	143.0	306.0	78.0	128.0	116.0	109.0
1969	189.0	470.0	211.0	263.0	163.0	393.0	251.0	261.0
1970	360.0	273.0	390.0	289.0	154.5	327.0	320.0	181.0
1971	174.0	296.0	176.0	608.0	177.0	359.0	162.0	246.0
1972	110.0	172.0	128.0	191.0	200.0	138.0	129.0	161.0
1973	155.0	458.0	254.0	441.0	124.0	356.0	127.0	300.0
1974	126.0	165.0	169.0	182.0	100.0	144.0	160.0	182.0
1975	225.0	338.0	264.0	392.0	112.0	218.0	135.0	283.0
1976	120.0	333.0	111.0	126.0	50.0	157.0	60.0	160.0
1977	289.8	282.0	300.3	293.0	211.5	119.0	10.0	185.0
1978	494.0	269.0	428.0	345.0	373.0	210.0	286.0	256.0
1979	320.0	332.0	398.0	370.0	311.0	347.0	228.0	343.0
1980	427.0	279.0	245.0	417.0	353.0	189.0	361.0	257.0
1981	302.0	351.0	225.0	232.0	172.0	213.0	212.0	178.0
1982	157.0	133.0	178.0	83.0	94.0	32.0	138.0	59.0
1983	160.0	268.0	157.0	172.0	60.0	184.0	115.0	226.0
1984	337.0	283.0	399.0	252.0	300.0	177.0	365.0	186.0
1985	363.0	275.0	295.0	483.0	180.0	236.0	289.0	289.0
1986	326.5	356.0	141.0	279.0	270.0	172.0	163.0	240.0
1987	309.0	268.0	196.0	172.0	346.0	126.0	377.0	276.0
1988	297.0	298.3	272.0	620.0	254.0	193.3	348.0	244.8
1989	324.0	289.0	423.0	557.0	370.0	313.0	370.0	272.0
1990	185.0	280.0	260.0	294.0	162.0	162.0	152.0	191.0
1991	171.0	276.0	255.5	312.0	181.5	182.0	35.0	190.0
1992	228.0	205.0	188.0	250.0	133.0	167.0	212.0	178.0
1993	103.0	375.0	151.0	138.0	61.0	152.0	122.0	305.0
1994	105.0	319.0	146.0	409.0	39.0	261.0	68.0	251.0
1995	286.0	314.8	205.0	502.0	184.0	222.5	205.0	264.0
1996	377.0	341.0	313.0	306.0	324.0	184.0	350.0	224.0
1997	176.0	224.0	140.0	286.0	146.0	47.0	88.0	208.0
1998	324.0	296.0	224.0	469.0	363.0	304.0	330.0	306.0
1999	298.0	265.0	268.0	348.0	223.0	155.0	178.0	177.0
2000	157.0	371.0	116.0	434.0	165.0	180.0	132.0	283.0
2001	282.0	322.0	252.0	357.0	102.0	201.0	216.0	245.0
2002	315.0	121.0	149.0	135.0	100.0	143.0	230.0	219.0

## ANEXOS CAPITULO IV.

### Anexos 4.1: Gráfico de Auto correlación y Auto correlación parcial, serie original. Mes de julio.

Autocorrelations: San Francisco Gotera. Julio

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	.055	.149					↔*					.135	.713
2	-.090	.147					**↔					.507	.776
3	-.050	.145					*↔					.625	.891
4	-.046	.143					*↔					.730	.948
5	.101	.141					↔**					1.238	.941
6	-.048	.140					*↔					1.358	.968
7	.058	.138					↔*					1.537	.981
8	-.170	.136					***↔					3.101	.928
9	.053	.134					*↔					3.261	.953
10	-.083	.132					**↔					3.660	.961
11	.052	.130					↔*					3.822	.975
12	.047	.127					↔*					3.956	.984
13	-.222	.125					****↔					7.107	.897
14	.141	.123					↔****					8.414	.867
15	.002	.121					*					8.414	.906
16	-.116	.119					**↔					9.370	.897

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

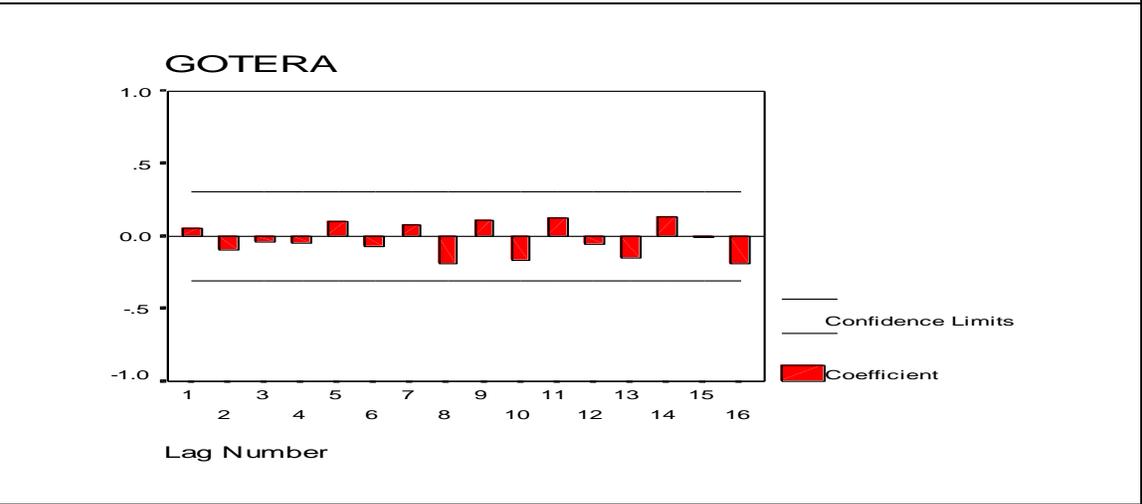
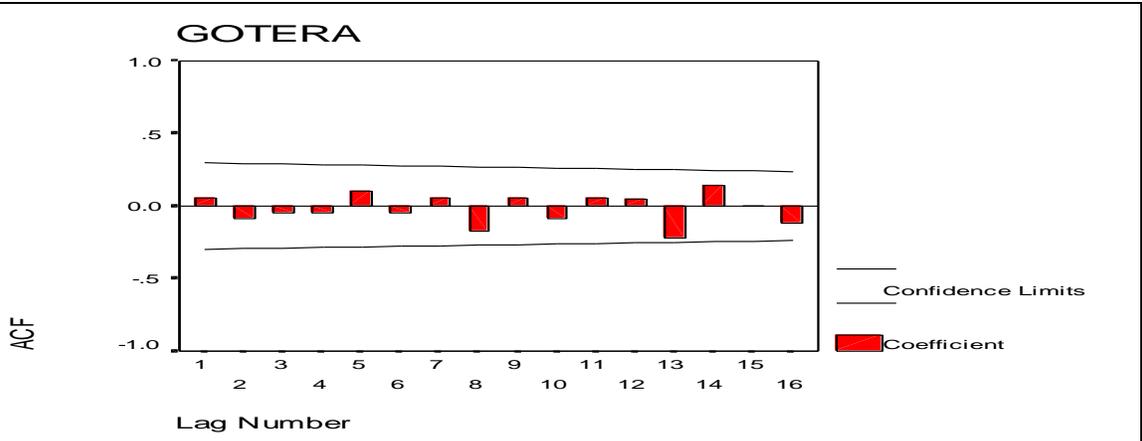
Total cases: 42 Computable first lags: 41

Partial Autocorrelations: San Francisco Gotera. Julio

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	.055	.154					↔*				
2	-.093	.154					**↔				
3	-.040	.154					*↔				
4	-.050	.154					*↔				
5	.100	.154					↔**				
6	-.072	.154					*↔				
7	.083	.154					↔**				
8	-.192	.154					****↔				
9	.110	.154					↔**				
10	-.164	.154					***↔				
11	.128	.154					↔***				
12	-.059	.154					*↔				
13	-.149	.154					***↔				
14	.137	.154					↔***				
15	-.012	.154					*				
16	-.186	.154					****↔				

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

Total cases: 42 Computable first lags: 41



## Anexos 4.2: Gráfico de Auto correlación y Auto correlación parcial, serie diferenciada. Mes de julio.

Autocorrelations: San Francisco Gotera Julio

Transformations: difference (1)

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	-.396	.151				**	*****					6.917	.009
2	-.146	.149				.	***					7.881	.019
3	.035	.147				.		*				7.938	.047
4	-.045	.145				.		*				8.035	.090
5	.096	.143				.			**			8.486	.131
6	-.060	.141				.		*				8.669	.193
7	.177	.139				.				****		10.288	.173
8	-.274	.137				.				*****		14.301	.074
9	.159	.135				.						15.685	.074
10	-.099	.133				.		**				16.247	.093
11	.099	.130				.			**			16.818	.113
12	.119	.128				.			**			17.675	.126
13	-.307	.126				.	*	*****				23.619	.035
14	.235	.124				.						27.231	.018
15	.011	.121				.		*				27.240	.027
16	-.158	.119				.		***				28.993	.024

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

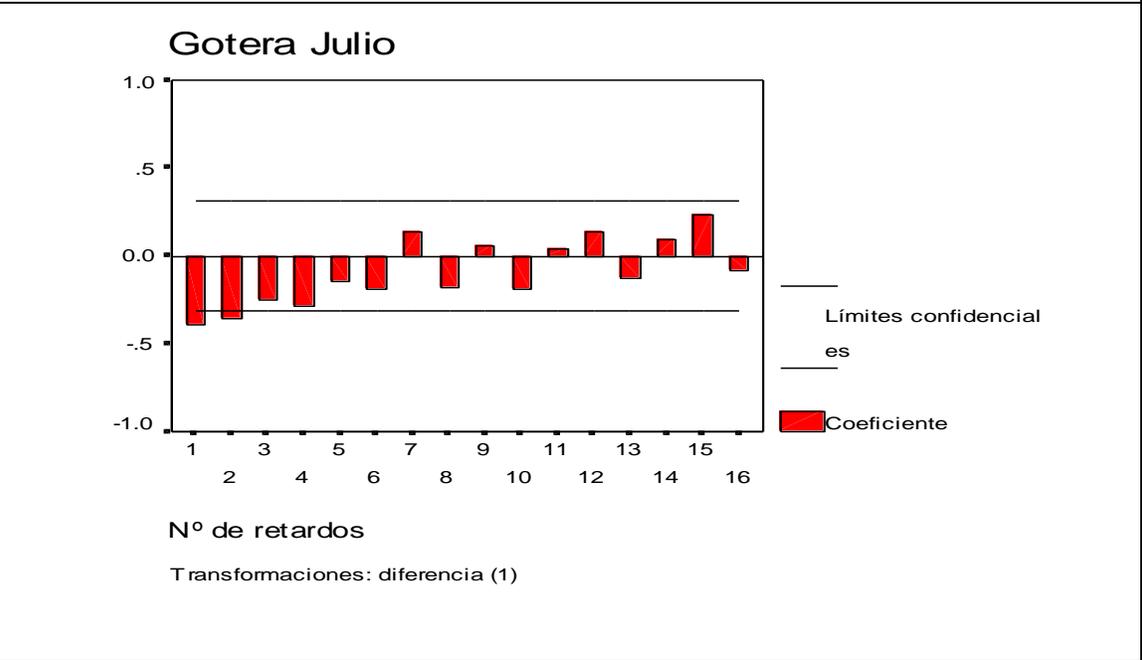
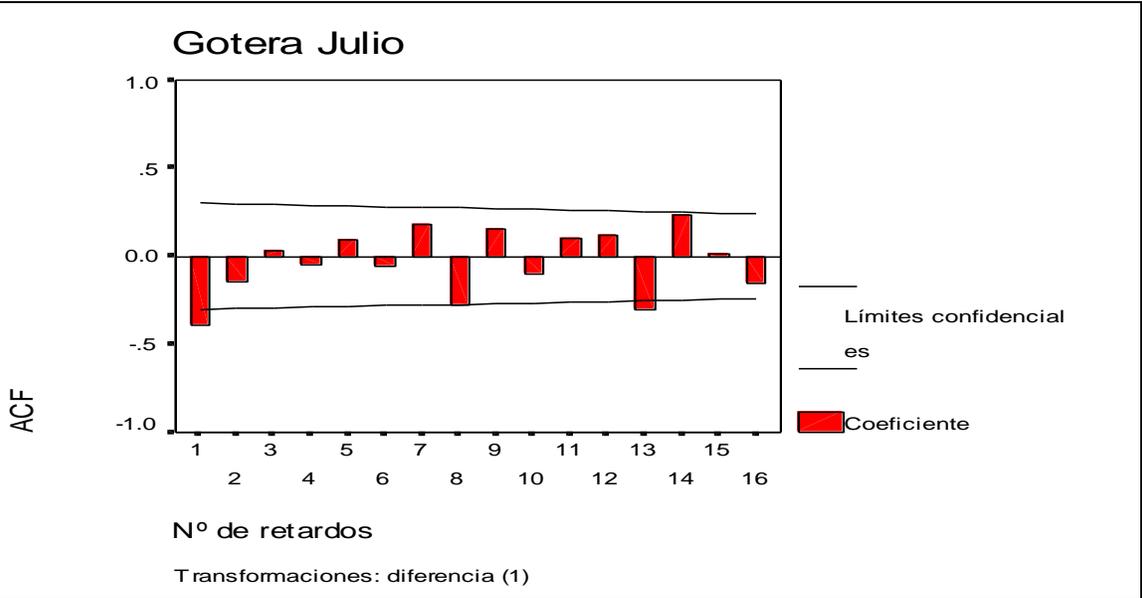
Total cases: 42 Computable first lags after differencing: 40

-

Partial Autocorrelations: San Francisco Gotera Julio

Transformations: difference (1)

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	-.396	.156				**	*****				
2	-.359	.156				*	*****				
3	-.253	.156				.	*****				
4	-.285	.156				.	*****				
5	-.142	.156				.		***			
6	-.185	.156				.		****			
7	.134	.156				.			****		
8	-.181	.156				.		****			
9	.053	.156				.			*		
10	-.187	.156				.		****			
11	.037	.156				.			*		
12	.136	.156				.			****		
13	-.129	.156				.		***			
14	.095	.156				.			**		
15	.230	.156				.			*****		
16	-.082	.156				.		**			



**Anexos 4.3: Salida de las estimaciones de los modelos del mes de Julio. Serie diferenciada**

**FINAL PARAMETERS. Modelo MA(1):**

Number of residuals 41  
Standard error 98.683005  
Log likelihood -246.93266  
AIC 495.86531  
SBC 497.57888

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	40	408771.59	9738.3355

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
MA1	.92828411	.11081226	8.3770882	.0000000

**FINAL PARAMETERS: Modelo MA(2)**

Number of residuals 41  
Standard error 99.776186  
Log likelihood -246.84549  
AIC 497.69099  
SBC 501.11813

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	39	407149.43	9955.2873

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
MA1	.86003873	.17185357	5.0044857	.00001242
MA2	.07072955	.16684668	.4239194	.67395372 <b>(NO ES SIGNIFICATIVO)</b>

Correlation Matrix:

	MA1	MA2
MA1	1.0000000	-.6910303
MA2	-.6910303	1.0000000

**FINAL PARAMETERS: Modelo AR(1)**

Number of residuals 41  
Standard error 119.28479  
Log likelihood -253.80638  
AIC 509.61276  
SBC 511.32633

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	40	571654.00	14228.861

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	-.40552527	.14487806	-2.7990800	.00784966

**FINAL PARAMETERS: Modelo ARMA(1,1)**

Number of residuals 41  
Standard error 99.775708  
Log likelihood -246.86241  
AIC 497.72482  
SBC 501.15197

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	39	407486.30	9955.1918

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	.06120346	.17993017	.3401512	.73556802 (NO ES SIGNIFICATIVO)
MA1	.93682858	.13035344	7.1868344	.00000000

Covariance Matrix:

	AR1	MA1
AR1	.03237487	.01033524
MA1	.01033524	.01699202

Correlation Matrix:

	AR1	MA1
AR1	1.0000000	.4406505
MA1	.4406505	1.0000000

## Anexos 4.4: Gráfico de Autocorrelación y Autocorrelación parcial, serie original. Mes de agosto

Autocorrelations: San Francisco Gotera. Agosto

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	-.001	.149					*					.000	.992
2	-.070	.147					*↔					.224	.894
3	-.142	.145					***↔					1.173	.759
4	-.052	.143					*↔					1.307	.860
5	-.052	.141					*↔					1.439	.920
6	.043	.140					↔*					1.534	.957
7	.020	.138					*					1.555	.980
8	-.184	.136					****↔					3.400	.907
9	.220	.134					↔*****					6.118	.728
10	.157	.132					↔***					7.541	.674
11	.021	.130					*					7.567	.751
12	-.170	.127					***↔					9.354	.672
13	-.155	.125					***↔					10.878	.621
14	-.042	.123					*↔					10.995	.686
15	.161	.121					↔***					12.775	.620
16	-.026	.119					*↔					12.824	.686

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

Total cases: 42 Computable first lags: 41

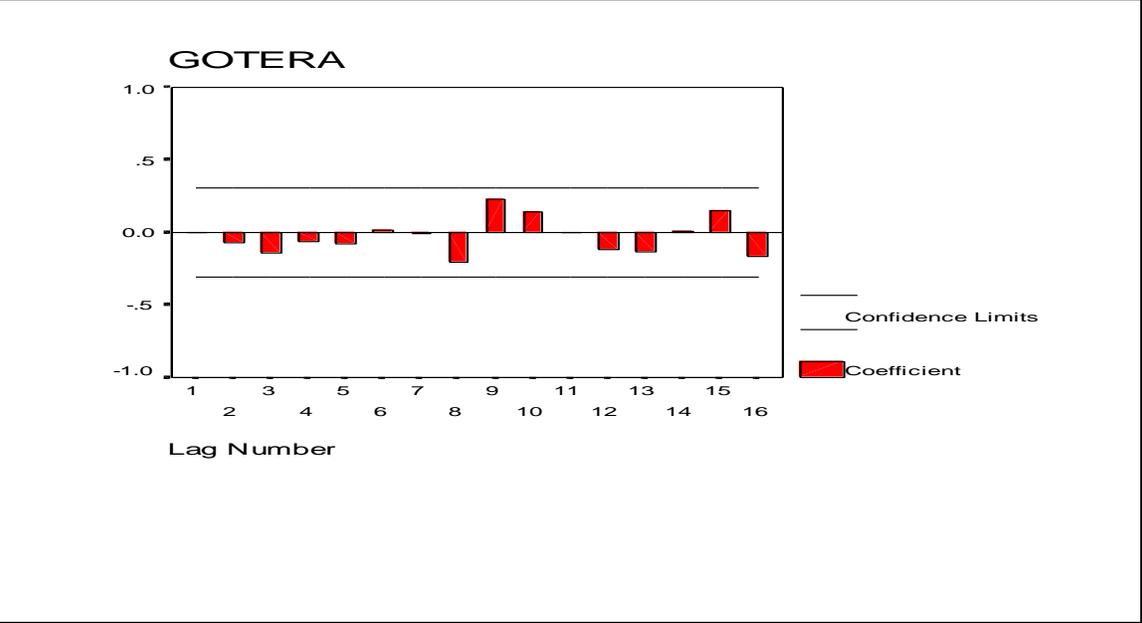
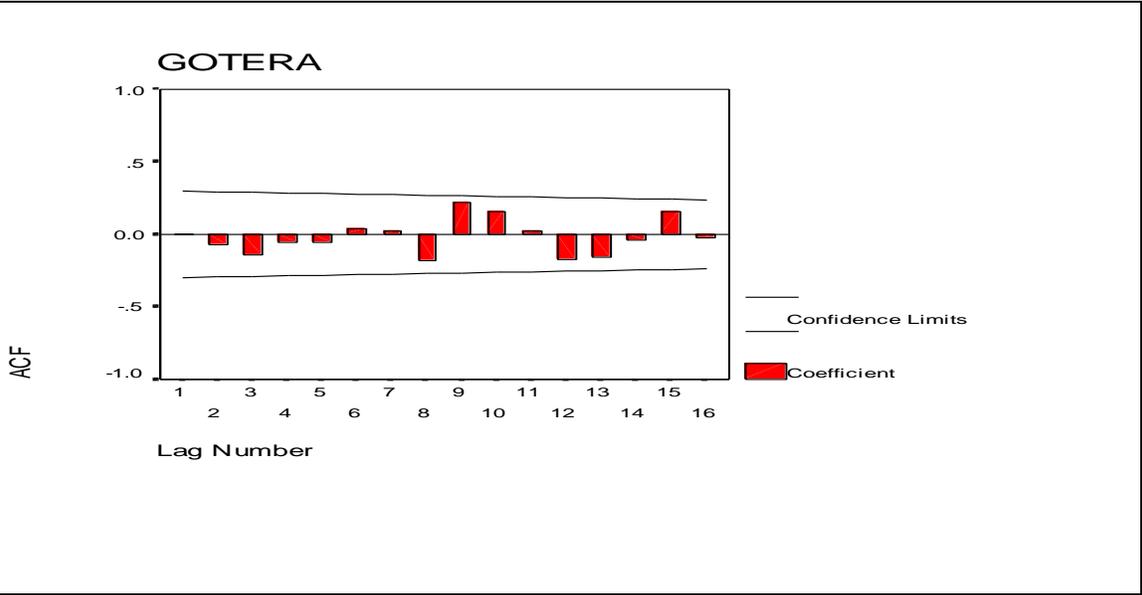
-

Partial Autocorrelations: San Francisco Gotera. Agosto

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	-.001	.154					*				
2	-.070	.154					*↔				
3	-.142	.154					***↔				
4	-.061	.154					*↔				
5	-.075	.154					**↔				
6	.012	.154					*				
7	-.005	.154					*				
8	-.208	.154					****↔				
9	.231	.154					↔*****				
10	.145	.154					↔***				
11	.001	.154					*				
12	-.120	.154					**↔				
13	-.133	.154					***↔				
14	.005	.154					*				
15	.147	.154					↔***				
16	-.162	.154					***↔				

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

Total cases: 42 Computable first lags: 41



## Anexos 4.5: Gráfico de Autocorrelación y Autocorrelación parcial, serie diferenciada. Mes de agosto

### Autocorrelations: San Francisco Gotera Agosto

Transformations: difference (1)

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung	Prob.
1	-.451	.151				***	*****					8.974	.003
2	.009	.149				.	*	.				8.978	.011
3	-.072	.147				.	*↔	.				9.216	.027
4	.044	.145				.	↔*	.				9.308	.054
5	-.068	.143				.	*↔	.				9.534	.090
6	.053	.141				.	↔*	.				9.677	.139
7	.130	.139				.	↔***	.				10.548	.160
8	-.329	.137				**	*****	↔	.			16.319	.038
9	.209	.135				.	↔****	.				18.729	.028
10	.078	.133				.	↔***	.				19.074	.039
11	.001	.130				.	*	.				19.074	.060
12	-.088	.128				.	**↔	.				19.546	.076
13	-.038	.126				.	*↔	.				19.638	.105
14	-.021	.124				.	*	.				19.667	.141
15	.123	.121				.	↔**	.				20.694	.147
16	-.093	.119				.	**↔	.				21.301	.167

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits .

Total cases: 42 Computable first lags after differencing: 40

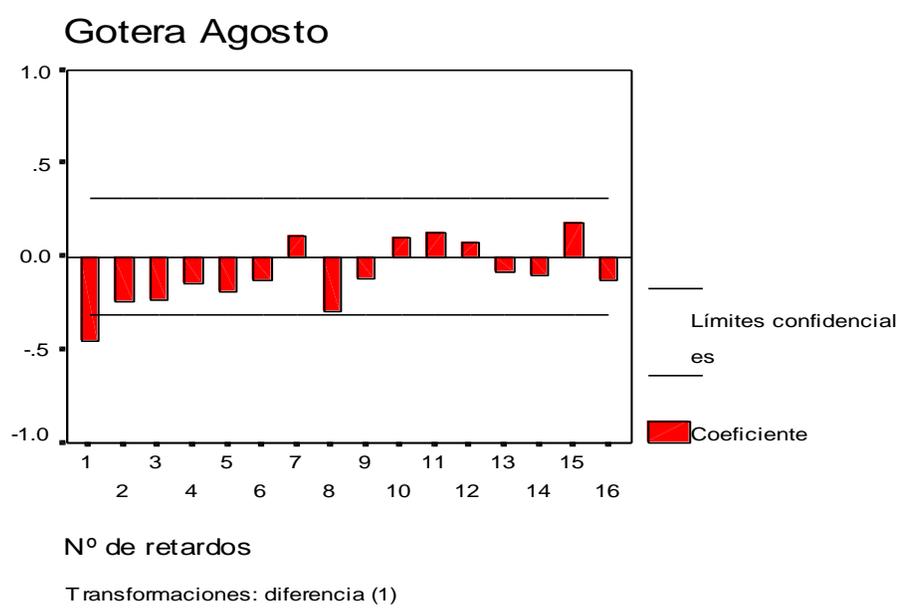
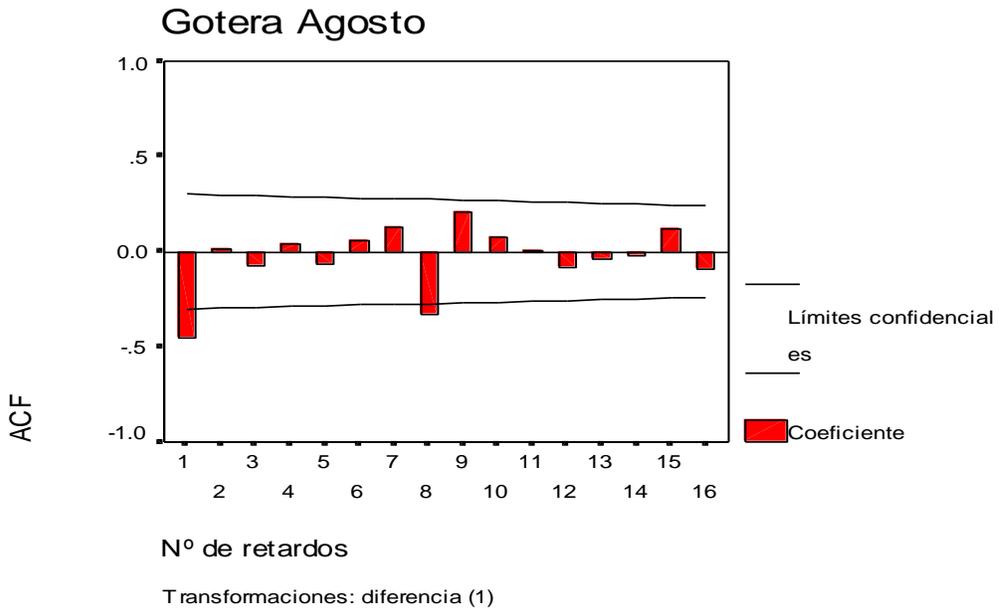
### Partial Autocorrelations: San Francisco Gotera Agosto

Transformations: difference (1)

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	-.451	.156				***	*****	↔	.		
2	-.244	.156				.	*****	↔	.		
3	-.236	.156				.	*****	↔	.		
4	-.146	.156				.	***	↔	.		
5	-.192	.156				.	****	↔	.		
6	-.127	.156				.	***	↔	.		
7	.111	.156				.	↔**	.			
8	-.299	.156				.	*****	↔	.		
9	-.123	.156				.	**	↔	.		
10	.105	.156				.	↔**	.			
11	.131	.156				.	↔***	.			
12	.071	.156				.	↔*	.			
13	-.080	.156				.	**	↔	.		
14	-.103	.156				.	**	↔	.		
15	.177	.156				.	↔****	.			
16	-.125	.156				.	***	↔	.		

Plot Symbols: Autocorrelations \* Two Standard Error Limits.

Total cases: 42 Computable first lags after differencing: 40



**Anexos 4.6: Salida de las estimaciones de los modelos del mes de agosto.  
Serie diferenciada**

**FINAL PARAMETERS: Modelo MA(1)**

Number of residuals 41  
Standard error 136.08253  
Log likelihood -260.48739  
AIC 522.97478  
SBC 524.68836

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	40	791374.71	18518.454

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
MA1	.96854021	.12236070	7.9154517	.0000000

**FINAL PARAMETERS: Modelo AR(1)**

Number of residuals 41  
Standard error 166.35602  
Log likelihood -267.47009  
AIC 536.94018  
SBC 538.65375

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	40	1113297.9	27674.326

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	-.45641671	.14257223	-3.2013015	.00268103

**FINAL PARAMETERS: Modelo ARMA(1)**

Number of residuals 41  
Standard error 137.70148  
Log likelihood -260.46752  
AIC 524.93505  
SBC 528.36219

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	39	791174.17	18961.698

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
AR1	.01733528	.17585203	.0985788	.92197764
MA1	.97209402	.14821771	6.5585551	.00000007

Covariance Matrix:

	AR1	MA1
AR1	.03092394	.01054171
MA1	.01054171	.02196849

Correlation Matrix:

	AR1	MA1
AR1	1.0000000	.4044489
MA1	.4044489	1.0000000

## ANEXOS. CAPÍTULO V

### Anexos 5.1.1: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de Santiago de María. Mes de Julio

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.748 <sup>a</sup>	.560	.549	72.4209

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	266740.6	1	266740.625	50.858	.000 <sup>a</sup>
	Residual	209791.4	40	5244.784		
	Total	476532.0	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	51.478	31.029		1.659	.105
	GOT_JUL	.841	.118	.748	7.131	.000

a. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	144.8798	413.3051	257.9107	80.6590	42
Residual	-110.2084	169.3648	1.827E-14	71.5322	42
Std. Predicted Value	-1.401	1.927	.000	1.000	42
Std. Residual	-1.522	2.339	.000	.988	42

a. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

## Anexos 5.1.2: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de La Unión. Mes de Julio

**Model Summary<sup>a</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.613 <sup>a</sup>	.376	.361	80.1713

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: LA UNIÓN

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	155049.8	1	155049.781	24.123	.000 <sup>a</sup>
	Residual	257097.5	40	6427.437		
	Total	412147.3	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: LA UNIÓN

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	33.006	34.349		.961	.342
	GOT_JUL	.642	.131	.613	4.912	.000

a. Dependent Variable: LA UNIÓN

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	104.2165	308.8677	190.3929	61.4955	42
Residual	-128.7061	187.2526	1.421E-14	79.1876	42
Std. Predicted Value	-1.401	1.927	.000	1.000	42
Std. Residual	-1.605	2.336	.000	.988	42

a. Dependent Variable: LA UNIÓN

### Anexos 5.1.3: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de El Papalón. Mes de Julio

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.529 <sup>a</sup>	.280	.262	84.7162

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: PAPALÓN

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	111585.9	1	111585.871	15.548	.000 <sup>a</sup>
	Residual	287073.3	40	7176.832		
	Total	398659.1	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: PAPALÓN

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	68.625	36.297		1.891	.066
	GOT_JUL	.544	.138	.529	3.943	.000

a. Dependent Variable: PAPALÓN

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	129.0361	302.6496	202.1429	52.1690	42
Residual	-222.0341	201.7032	9.474E-15	83.6767	42
Std. Predicted Value	-1.401	1.927	.000	1.000	42
Std. Residual	-2.621	2.381	.000	.988	42

a. Dependent Variable: PAPALÓN

## Anexos 5.2.1: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de Santiago de María. Mes de Agosto

**Model Summary<sup>c</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.349 <sup>a</sup>	.122	.100	72.5141

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29235.697	1	29235.697	5.560	.023 <sup>a</sup>
	Residual	210331.8	40	5258.296		
	Total	239567.5	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	220.146	28.760		7.654	.000
	GOT_AGO	.201	.085	.349	2.358	.023

a. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	236.8382	344.8334	282.6190	26.7033	42
Residual	-126.2958	196.9623	3.045E-14	71.6243	42
Std. Predicted Value	-1.714	2.330	.000	1.000	42
Std. Residual	-1.742	2.716	.000	.988	42

a. Dependent Variable: SANTIAGO DE MARÍA

## Anexos 5.2.2: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de La Unión. Mes de Agosto

**Model Summary<sup>a</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.569 <sup>a</sup>	.324	.307	78.9636

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: LA UNIÓN

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	119638.5	1	119638.476	19.187	.000 <sup>a</sup>
	Residual	249410.1	40	6235.252		
	Total	369048.5	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: LA UNIÓN

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	74.140	31.318		2.367	.023
	GOT_AGO	.407	.093	.569	4.380	.000

a. Dependent Variable: LA UNIÓN

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	107.9068	326.3725	200.5179	54.0186	42
Residual	-143.4925	211.8645	1.421E-14	77.9947	42
Std. Predicted Value	-1.714	2.330	.000	1.000	42
Std. Residual	-1.817	2.683	.000	.988	42

a. Dependent Variable: LA UNIÓN

### Anexos 5.2.3: Estimaciones del modelo de regresión lineal para la estación de El Papalón. Mes de Agosto

**Model Summary<sup>a</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.448 <sup>a</sup>	.201	.181	52.4543

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: PAPALÓN

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	27703.535	1	27703.535	10.069	.003 <sup>a</sup>
	Residual	110058.3	40	2751.457		
	Total	137761.8	41			

a. Predictors: (Constant), GOTERA

b. Dependent Variable: PAPALÓN

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	168.418	20.804		8.095	.000
	GOT_AGO	.196	.062	.448	3.173	.003

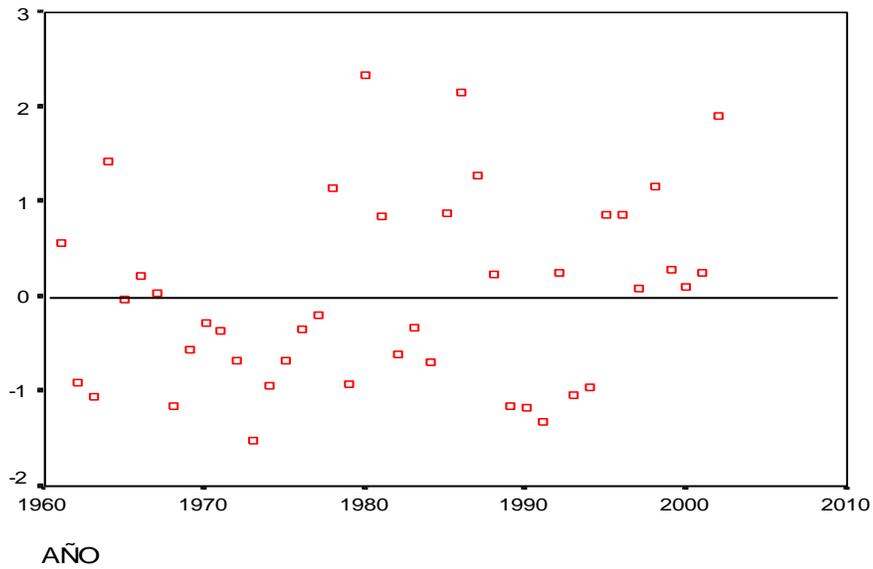
a. Dependent Variable: PAPALÓN

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

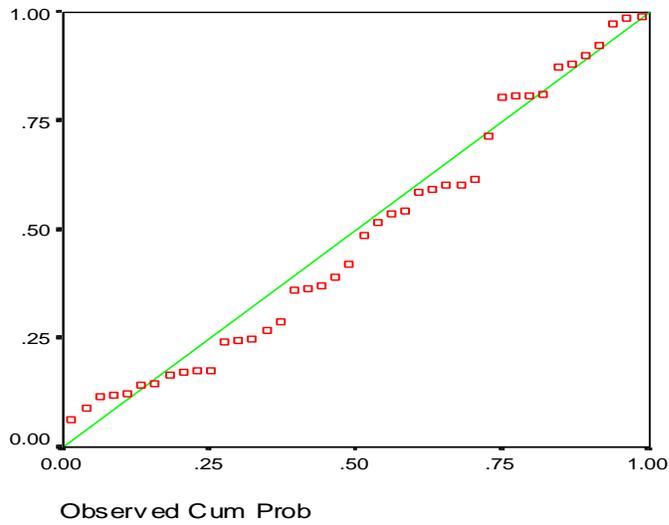
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	184.6670	289.7943	229.2321	25.9942	42
Residual	-125.6670	109.5658	6.090E-15	51.8107	42
Std. Predicted Value	-1.714	2.330	.000	1.000	42
Std. Residual	-2.396	2.089	.000	.988	42

a. Dependent Variable: PAPALÓN

### Anexos 5.3.1: Gráficos de los residuos estandarizados. Mes de Julio

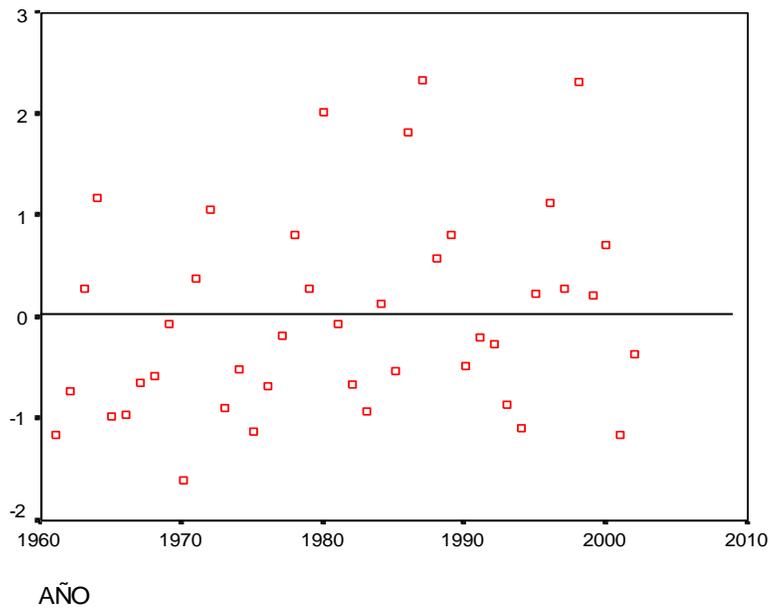


**Gráfico 53A.1: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación Santiago de María**

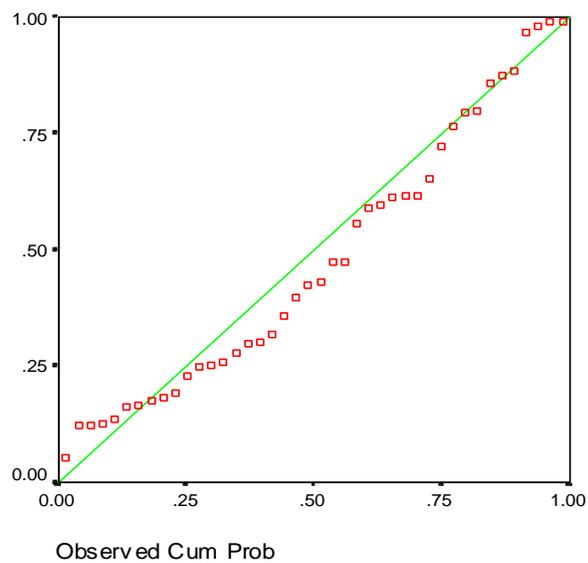


**Gráfico 53A.2: Gráfico P-P Normal Residuos estandarizados.**

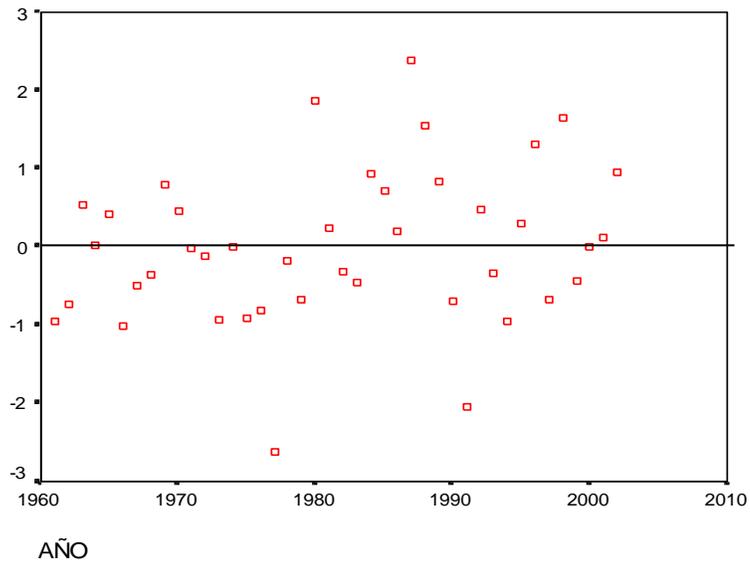
**Estación Santiago de María**



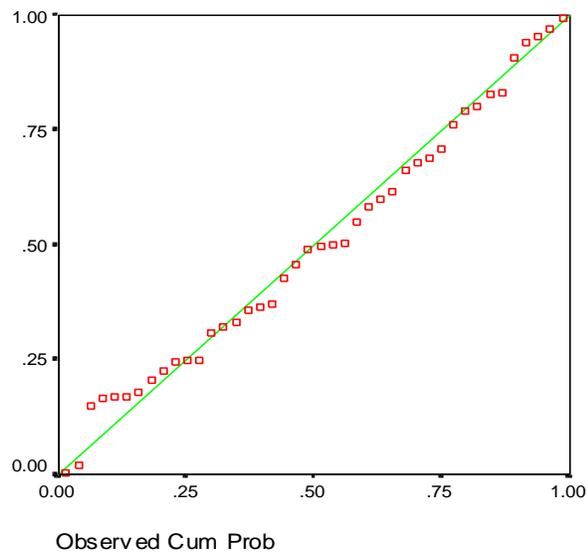
**Gráfico 53A.3: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación La Unión**



**Gráfico 53A.4: Gráfico P-P Normal residuos estandarizados. Estación La Unión**

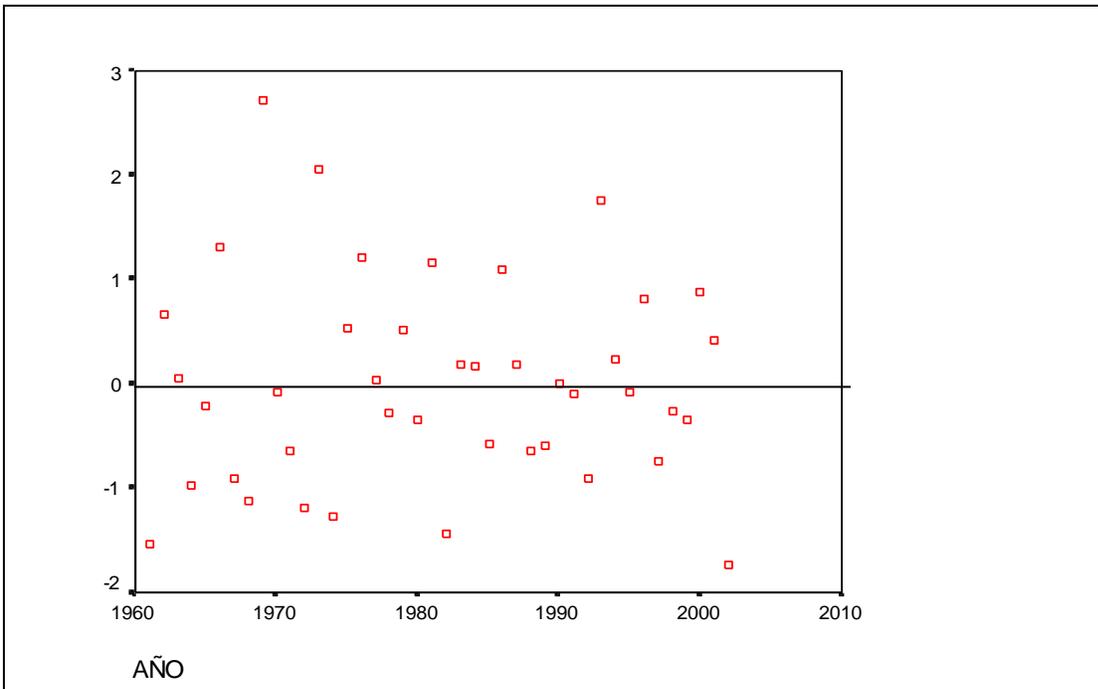


**Gráfico 53A.5: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación El Papalón**

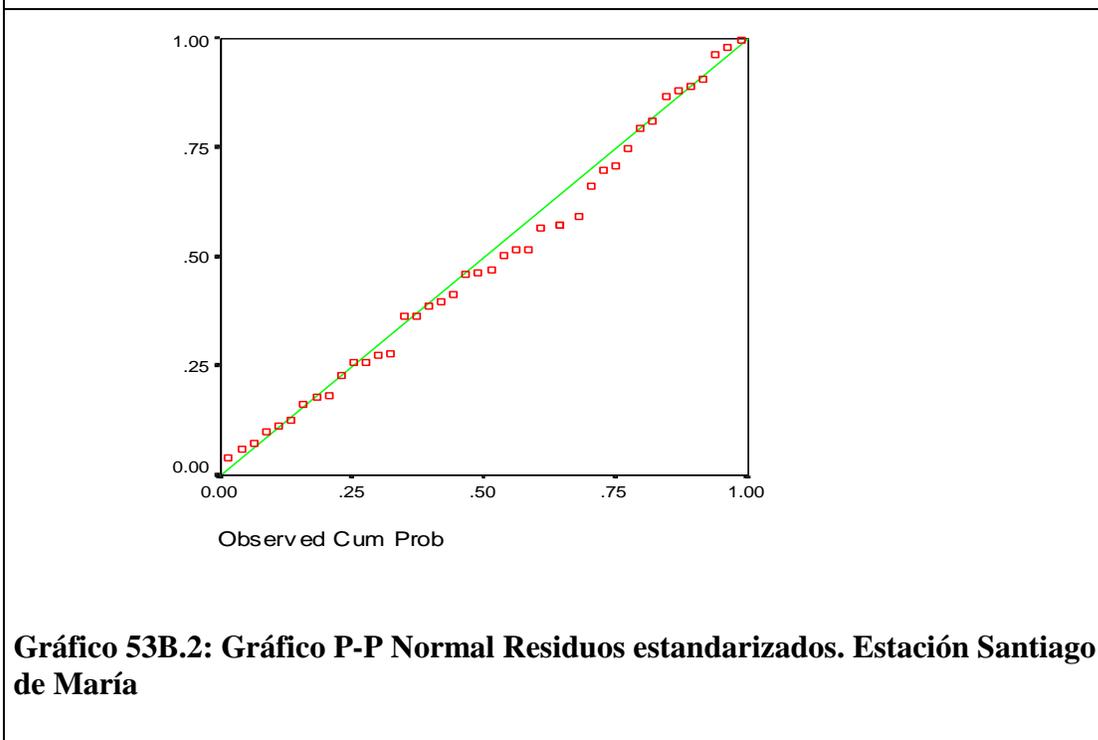


**Gráfico 53A.6: Gráfico P-P Normal Residuos estandarizados. Estación El Papalón**

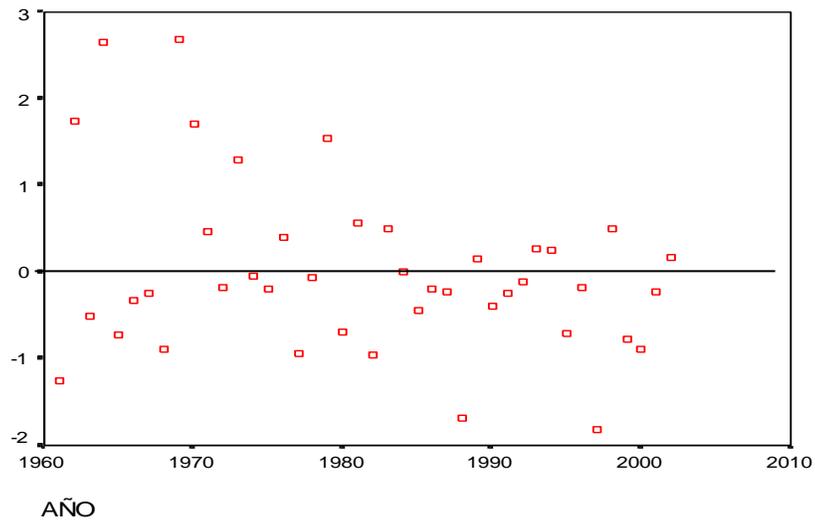
### Anexos 5.3.2: Gráfico de los residuos estandarizados. Mes de Agosto



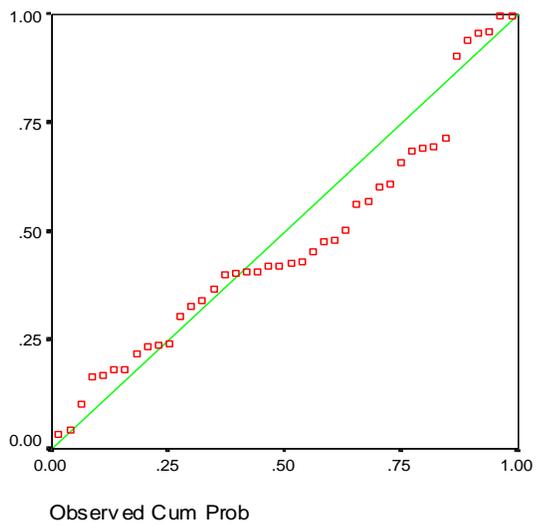
**Gráfico 53B.1: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación Santiago de María**



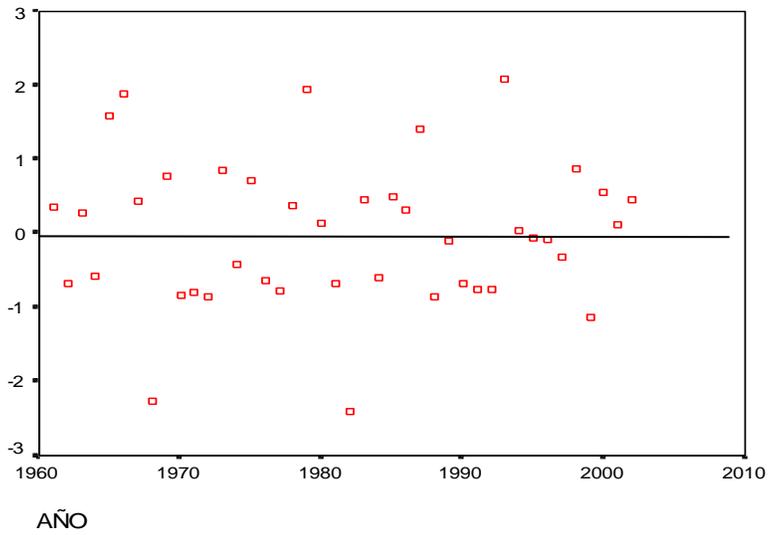
**Gráfico 53B.2: Gráfico P-P Normal Residuos estandarizados. Estación Santiago de María**



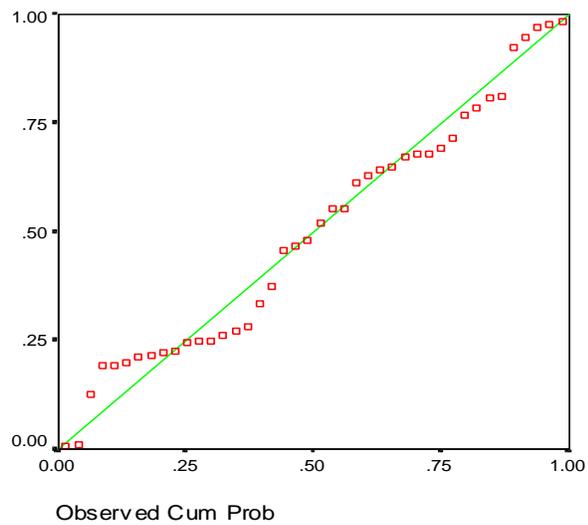
**Gráfico 53B.3: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación La Unión**



**Gráfico 53B.4: Gráfico P-P Normal residuos estandarizados. Estación La Unión**



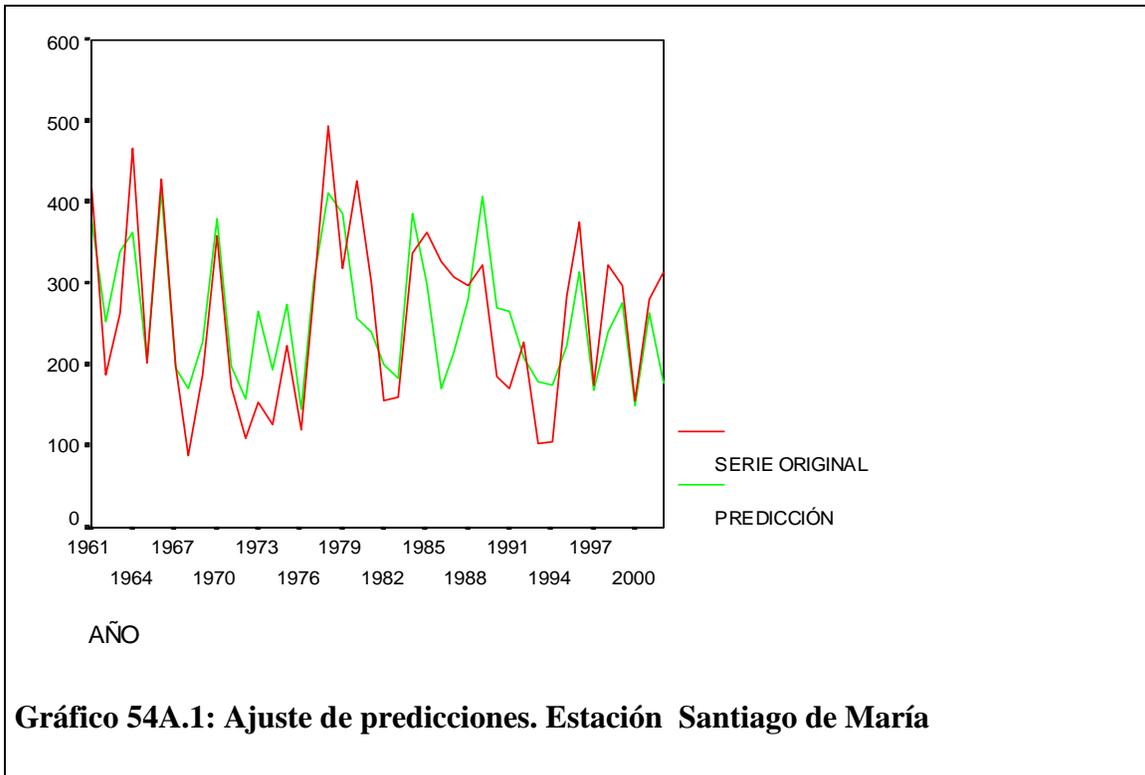
**Gráfico 53B.5: Residuos estandarizados vs. tiempo. Estación El Papalón**



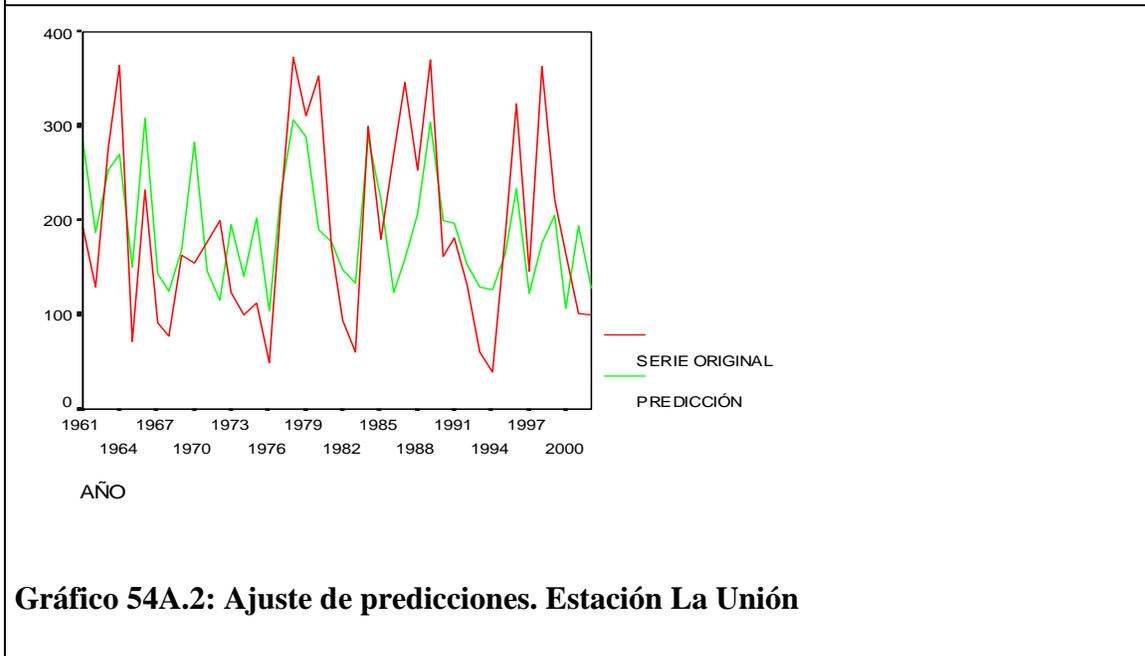
**Gráfico 53B.6: Gráfico P-P Normal Residuos estandarizados.**

**Estación El Papalón**

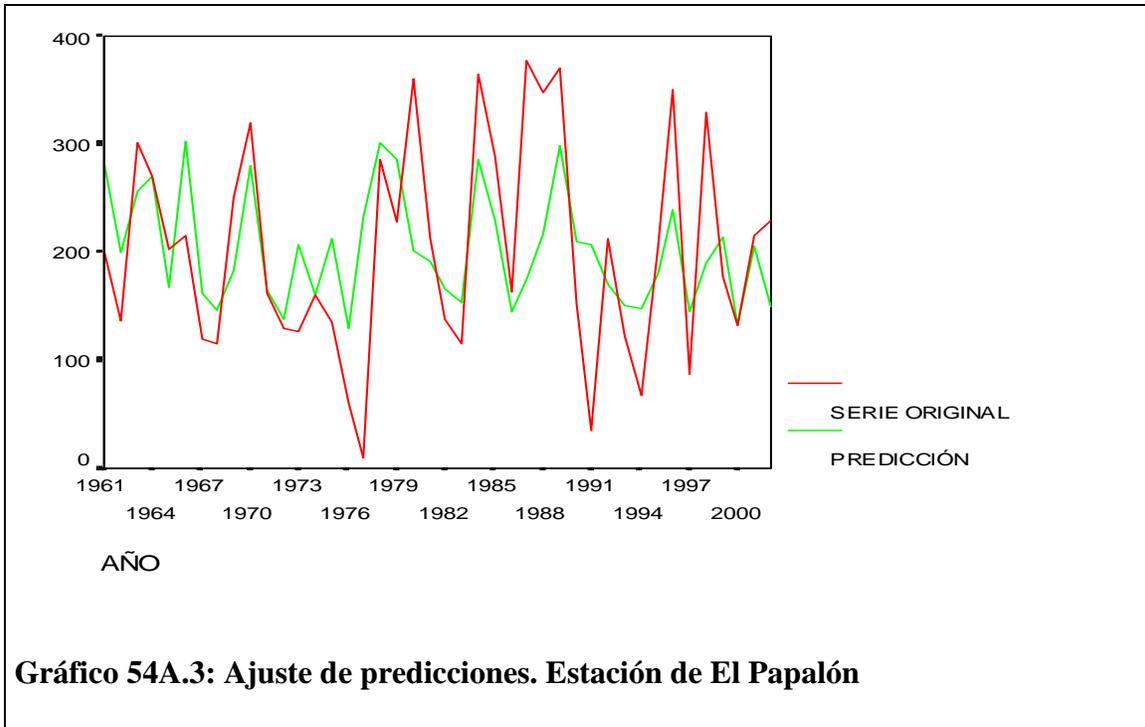
### Anexos 5.4.1: Ajuste de los modelos de regresión lineal. Mes de Julio



**Gráfico 54A.1: Ajuste de predicciones. Estación Santiago de María**



**Gráfico 54A.2: Ajuste de predicciones. Estación La Unión**



**Anexos 5.4.2: Ajuste de los modelos de regresión lineal. Mes de Agosto**

