

Análisis de tendencias y variación anual e interanual de las precipitaciones (período: 1957-2006) en la cuenca del río Boconó, estado Trujillo, Venezuela

Analysis of trends and annual and inter-annual variation of the rainfalls (period: 1957-2006) in the Boconó River basin, Trujillo State, Venezuela

Briceida Mora (1,2,4)

briceidavenezuela@gmail.com

Víctor Reyes (1,3,4)

vmreyes2006@gmail.com

(1)Universidad Pedagógica Experimental Libertador-(2) Instituto Pedagógico de Caracas (3) Instituto de Mejoramiento Profesional del Magisterio, Extensión Paraguana- (4) Centro de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano"

Recibido en mayo de 2013 y publicado en septiembre 2013

RESUMEN

La investigación estudia las tendencias y variaciones anuales-interanuales de las precipitaciones en la cuenca del río Boconó, como un aporte a las poblaciones que se encuentran asentadas en sus cercanías, para la toma de decisiones que minimicen el impacto que los regímenes de lluvia acarrearán cada año. Metodológicamente se comprobó la Homogeneidad de los datos, aplicación del Modelo ARIMA (Box-Jenkins), la Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov-Smirnov), cálculo de Variaciones Anuales-Interanuales (VA-VIA) y pronósticos empleando una proyección ARIMA de cada estación. Los resultados permitieron concluir que el modelo ARIMA se encuentra representado por (000)(101). La VA por el incremento de las precipitaciones en relación con el año de referencia y descenso de los montos anuales a partir de los noventa. La VIA evidencia periodicidad de dos años para lluvias continuas y sequías leves. Los pronósticos 2010-2015 manifiestan tendencia ascendente de las precipitaciones manteniéndose la estacionalidad.

Palabras clave: Precipitaciones; análisis de tendencias; variación anual e interanual; pronóstico; estado Trujillo

ABSTRACT

This research study of trends and annual variations-interannual of rainfall in the basin of river Boconó, is a contribution to populations are seated in its vicinity, for decision-decisions that minimize the impact that the rainfall regimes carry each year. Methodologically was checked Data homogeneity, application of the Model ARIMA (Box-Jenkins), the Test of Goodness of Adjustment (Kolmogorov-Smirnov), calculation of Annual Variations-Interannual (VA-VIA) and forecasts employing a projection ARIMA of each station. The results concluded that the model ARIMA is located represented by (000) (101). La VA by the increase of rainfall in relation with the reference year and descent of the annual amounts from nineties. La VIA evidence periodicity of two years to rains continuous and droughts mild. Los forecasts 2010-2015 manifest upward trend of rainfall maintaining the seasonality.

Key words: *Rainfall, trend analysis, annual and interannual variation, forecasts, Trujillo State*

INTRODUCCIÓN

La preocupación por la variación climática y sus influencias en términos de las alteraciones en el régimen de las precipitaciones y otros parámetros, se ha venido incrementando, particularmente a partir de la década del 90, a raíz de la Conferencia de Cambio Climático en Kyoto, donde se expuso que las posibles relaciones entre el cambio climático y la variación, son y han sido objeto de numerosas discusiones científicas, debido a los problemas de confiabilidad estadística de los registros climáticos o a la ausencia de los mismos y la influencia de los estudios que de allí se deriven y la divulgación eficaz hacia las poblaciones.

En Venezuela, se han adaptado algunas de estas propuestas a nuestra realidad y se han reajustados los modelos que se aplican a nivel global. Existen entes gubernamentales que contribuyen y respaldan las diversas investigaciones, como el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), entre otros; además de cooperación internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO),

la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Instituto Interamericano de Investigaciones sobre Cambio Climático (IAI) entre otros, con los que Venezuela mantiene amplia participación en aspectos relacionados con los recursos hídricos, aunque la relación existente no se limita a este aspecto únicamente, existe apertura sobre la temática de las manifestaciones de variabilidad climática y sus influencias sobre el territorio; todo lo cual resulta de vital importancia en el escenario de incertidumbre con el que algunas veces coexisten las poblaciones.

Los estudios oportunos no serán aquellos que postulen posibles soluciones sino aquellos que en sí mismos, sean la base para implementar una cultura de prevención de los desastres; los estudios en Venezuela han llegado a una indiscutible conclusión sobre la influencia de los fenómenos climáticos en nuestra realidad temporo-espacial, con una marcada diferencia del clima local según los factores modificadores que inciden (relieve, orografía, continentalidad, marítimidad), por tanto, se hace necesario estudios puntuales, que aunque en dimensiones espaciales no parezcan significativos, permitan la configuración de las bases hacia la predisposición general del estudio bajo una concepción eficiente y oportuna a escala local y/o regional.

Bajo estas consideraciones fue propósito de la investigación analizar las tendencias y la variación anual e interanual de las precipitaciones en la cuenca (alta y media) del río Boconó, cuenca ubicada en la región de Los Andes al occidente de Venezuela. La cual se encuentra emplazada en un relieve montañoso, además de caracterizarse por ser un área con pendientes abruptas; por esta razón el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (1994), considera que se deben promover estudios sobre la planificación y programación necesaria para determinar, implementar y revisar las directrices orientadas al mejor aprovechamiento de la zona y sus recursos. Entender los patrones de distribución espacial y temporal de las precipitaciones, es importante para definir el régimen dominante y las medidas de mitigación del riesgo que los organismos gubernamentales pueden considerar a fin del beneficio de las comunidades adyacentes.

El área de estudio está constituida por la cuenca (alta y media) del río Boconó, la cual forma parte de la región de Los Andes, geopolíticamente el área se circunscribe a la jurisdicción del municipio Boconó. Su localización geoastronómica está definida por las coordenadas $08^{\circ}57'24''$ y $09^{\circ}31'40''$ de Latitud Norte y $70^{\circ}04'37''$ y $70^{\circ}36'15''$ de Longitud Oeste (ver figura 1). Graterol (2000) señala que la cuenca del río Boconó tiene una superficie total de 161.406 Ha, sin embargo, como área de estudio se seleccionó una extensión de 132.966 Ha, la misma se encuentra sectorizada en tres subcuencas, cuyas superficies se pueden visualizar en el cuadro 1, en el que adicionalmente se muestran las microcuencas o sectores que conforman a cada subcuenca. Se puede percibir que la subcuenca identificada como Medio Boconó, corresponde al área con mayor superficie; seguida de Alto Boconó, donde se encuentran las cabeceras del río principal y donde existe mayor actividad productora de agua que alimenta el caudal del río; y por último en dimensión, la subcuenca del río Burate, un afluente importante para la cuenca principal (ver figura 2).

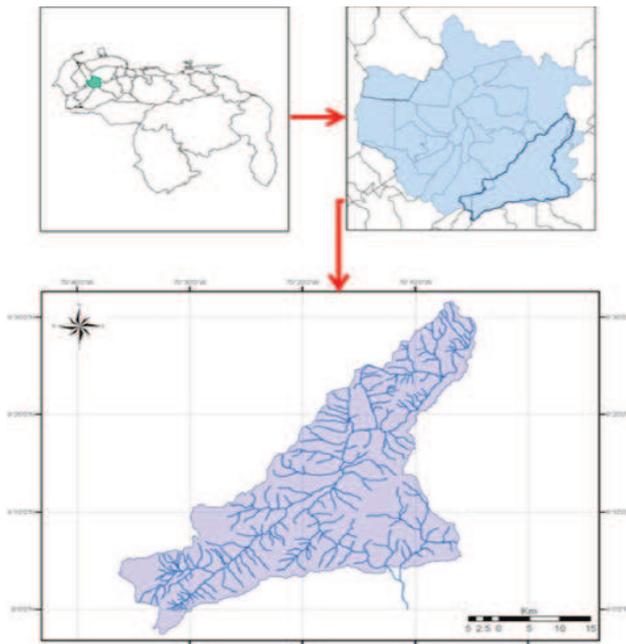


Figura 1. Localización del área de estudio

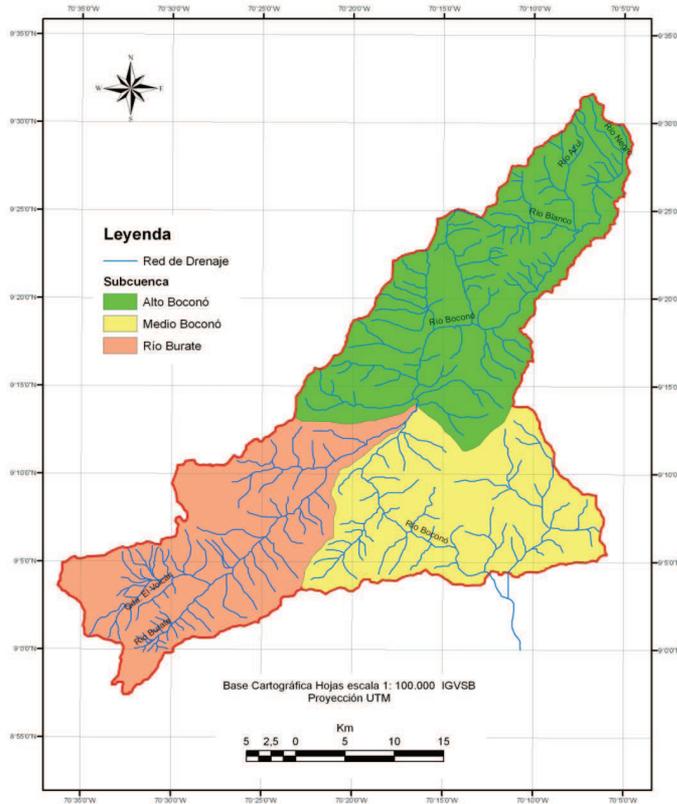


Figura 2. Mapa de la cuenca del río Boconó con la sectorización en Subcuencas. Adaptado de: M.A.R.N.R. *Diagnóstico de la Cuenca del río Boconó* (1994).

Cuadro 1. Subcuencas que conforman la cuenca del río Boconó

| Subcuenca | Microcuencas o Sectores | | Subcuenca |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Alto Boconó | Río Negro | San Rafael | 52.220 Ha |
| | Mosquey | Boconó | |
| | San Miguel | | |
| Río Burate | El Molino | La Coneja | 42.076 Ha |
| | Tomón | Naciente del Burate | |
| | Niquitao | | |
| Medio Boconó | Vitisús | Anús | 38.675 Ha |
| | El Santuario | Caño Largo | |
| | El Volcán | | |

Nota. Adaptado de: Portillo y Del Cura (1993)

Para efectos de la investigación fueron seleccionadas siete (07) estaciones climatológicas. El criterio empleado fue su ubicación dentro de los límites de la cuenca alta y media, comprendidos entre las coordenadas 08°57'24" y 09°31'40" de Latitud Norte y 70°04'37" y 70°36'15" de Longitud Oeste. En la figura 3 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones que cumplieron con el principio expuesto, éstas se muestran sobre una imagen de la cuenca del río Boconó realizada con el programa ArcGis 9.2. Dicho recurso cartográfico permite apreciar la distribución de las estaciones de trabajo, las cuales se encuentra codificadas de la siguiente forma: EJ-El Jarillo, SG- San Giusto, PG- Páramo Guaramacal, BA- Boconó Aeropuerto, TO- Tostós, NI- Niquitao, LM- Las Mesitas.

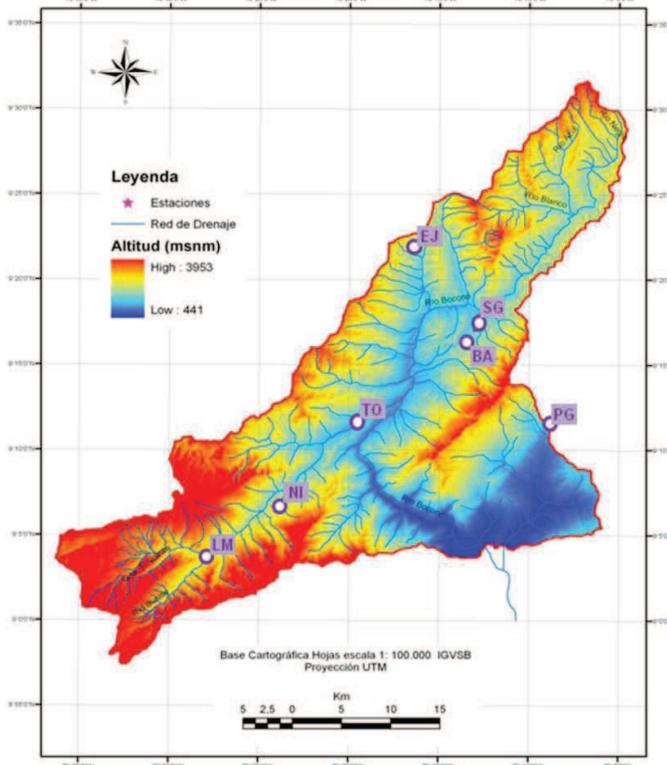


Figura 3. Ubicación de las Estaciones en estudio sobre la cuenca alta y media del río Boconó (Información suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

MÉTODO

Fuente de los datos

Se consideraron las siete estaciones mencionadas anteriormente, pertenecientes a la Red Climatológica del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (actual Ministerio del Poder Popular para el Ambiente). La fuente de los datos utilizados corresponde a los archivos digitalizados de INAMEH. El estudio comprendió un rango temporal que abarca desde desde 1957 hasta 2006, variando para cada estación en función de la disponibilidad de los registros históricos de las precipitaciones en cuanto a longitud de información. Tenemos el caso de registros con más de 38 años (Las Mesitas-38, Tostós-40, El Jarillo-42, Niquitao-45) y series con registros menores (San Giusto-10, Boconó Aeropuerto-09 y Páramo Guaramacal-07 años).

Métodos estadísticos utilizados en el pretratamiento de los datos.

Para el procesamiento inicial de los registros históricos, se partió de la premisa de que los datos son válidos, pues provienen de fuentes oficiales que suministran dicha información al INAMEH. Se usó el Software Excel para Windows, versión 2007, donde se realizó la transcripción de los datos de cada estación. En este proceso, se determinó la identificación, estimación y ajuste de los datos climáticos faltantes de las estaciones seleccionadas, por medio de los métodos de datos faltante, longitud de los registros y determinación de homogeneidad de las series históricas de cada estación en estudio.

El cálculo de los datos faltantes.

Empleando un método propuesto por Pereyra, Bando y Natividad (2004) que consiste en sustituir el dato faltante de la serie de precipitación por el promedio de los valores de los tres meses anteriores y los tres meses siguientes pertenecientes a la serie del mismo escenario en el que se encuentra el dato; para el último año registrado tomaron sólo los cinco meses anteriores.

Identificación de la longitud de los registros.

Se realizó de acuerdo con lo presentado por Villalpando (1990), quien sustenta que para obtener datos confiables se deben utilizar series climáticas “intermedias” con un lapso entre 20 y 30 años, para regiones con climas templados y cálidos-lluviosos; en este caso las estaciones consideradas para el estudio superan la cantidad de años recomendados y en el caso de los que no tienen los años sugeridos, se compensa con el hecho de que la manipulación se realizará en función a los datos mensuales, que amplía la gama de datos empleados en las series y su posterior análisis.

Determinación de homogeneidad de las series.

Se emplearon dos técnicas, una cualitativa y otra cuantitativa. Para la primera, se empleó lo expuesto por Pérez, Puche y Bracho (2008) quienes expresan que las causas más usuales de la *heterogeneidad* de una serie son las debidas a la variación de la ubicación de la estación meteorológica, a la modificación de los instrumentos de medida y a la alteración de las técnicas de observación. En tanto, que ninguna de estas características se cumplía en las estaciones seleccionadas, se supone y asume que las series a analizar son homogéneas; asimismo, se resaltan las condiciones de que toda la data manipulada en este trabajo ha sido medida con instrumentos de igual procedencia, son ubicadas y se mantienen en el mismo espacio geográfico, con las mismas técnicas de observación y recolección de la información; y son representativas del entorno. El método para determinar la homogeneidad de las series climatológicas de forma cuantitativa es la Prueba de Rachas, método sencillo desarrollado por Thom en el año 1966, (citado por Magaña, 2003), y el cual se aplicó a cada una de las estaciones, con el Software SPSS para Windows versión 15.0, específicamente en Pruebas No Paramétricas, empleando como punto de corte la Mediana.

Análisis de tendencia

Para el análisis de las series temporales de las estaciones de la cuenca del río Boconó, se inició con una aplicación metodológica básica (el recurso usado fue el Software Excel para Windows, versión 2007), comenzando por la elaboración de los gráficos de las series temporales (con datos mensuales), donde se evidenciaron fluctuaciones marcadas, que dieron paso a la suavización por Medias Móviles (5 períodos) y determinación de la Tendencia Lineal, además la obtención de la Fórmula de la Línea Recta y el Coeficiente de Determinación (R^2) representativa de cada tendencia. Cabe destacar, que por lo general la tendencia se analiza con series anuales, sin embargo, se trabajó con series mensuales justificándose en el hecho de que las series con datos menores a un año permiten evidenciar la distribución del régimen pluviométrico característico de la región, lo que no es representativo con montos anuales; adicionalmente, se sustenta el análisis de la tendencia considerando la estacionalidad. Para ello, se empleó posteriormente la metodología ARIMA propuesta por Box-Jenkins en los años 70 (Makridakis y Wheelwright, 2000) para el análisis estadístico con mayor detalle de dichas series de tiempo, así como, la visualización y selección del mejor modelo que se ajusta a cada serie. Tal como manifiestan De Arce y Mahía (2000), esta metodología es destinada a identificar, estimar y diagnosticar modelos dinámicos de series temporales en los que la variable tiempo juega un papel fundamental. Se debe señalar, que del cuerpo metodológico desarrollado por Box-Jenkins, se empleó el modelo antes señalado, que tal como exponen los autores, es sólo una pequeña parte de lo que se conoce normalmente como "Econometría de Series Temporales". Para la aplicación de dicho modelo a las estaciones en estudio se empleó el Software SPSS para Windows versión 15.0.

Luego del desarrollo de las distintas fases del modelo, se obtuvo el modelo ARIMA más representativo para cada una de las series (p,d,q) (P,D,Q), y se realizó el sobreajuste para determinar si existía un modelo que se adaptara mejor a la serie y que respondiera con mayor precisión al comportamiento de la misma, considerando el menor error típico

resultante. Posteriormente, se aplicó la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov–Smirnov (K-S), que permitió contrastar la Hipótesis Nula (H_0) de Distribución Normal; los valores resultantes asociados al *p*-valor deben resultar superiores a $\alpha=0,05$, en caso contrario se rechaza la H_0 . Se plantea la Hipótesis Nula (H_0) y la Hipótesis Alternativa (H_1), de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll} H_0 = \text{Normalidad de la serie} & H_0 = F_0 = F_1 \\ H_1 = \text{No Normalidad de la serie} & H_1 = F_0 \neq F_1 \\ \alpha = 0,05 & \end{array}$$

Donde, la H_0 indica que la Serie Real (F_0) se ajusta a una Distribución Normal (F_1); mientras, la H_1 expresa que la Serie Real no se ajusta al criterio anterior. El valor de $\alpha=0,05$ (5%), es la probabilidad de cometer el error de rechazar la hipótesis nula; por tanto los valores resultantes de la prueba determinan la aceptación o no de dicha normalidad.

Variación anual e interanual

Para el cálculo de la variación anual e interanual, que exige la obtención de los indicadores y gráficos resultantes de las variaciones de las distintas estaciones, se utilizó el Software Excel para Windows, versión 2007. Los datos empleados fueron agrupados en series con montos anuales. Las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$\begin{array}{l} VA = \frac{\text{Precipitación (Año X)}}{\text{Precipitación (Año Base)}} \times 100 \\ VIA = \frac{\text{Precipitación (Año X)}}{\text{Precipitación (Año X - 1)}} \times 100 \end{array}$$

Pronóstico de comportamiento de las precipitaciones

A fin de pronosticar el comportamiento de las precipitaciones en la cuenca del río Boconó, se utilizó cada uno de los modelos (ARIMA) seleccionados por estación, y considerando un período histórico y un período de validación, y se procedió a su elaboración gráfica. Posteriormente, se empleó el listado de los valores estimados para una

proyección del 2010 al 2015, además de los parámetros del modelo que indicaron los límites del intervalo de confianza superior e inferior al 95 %, obtenidos en las distintas fases del modelo ARIMA.

RESULTADOS

Homogeneidad de las series

De acuerdo a los preceptos teóricos si tenemos una muestra con un número excesivamente grande o excesivamente pequeño de rachas se sugiere que la muestra no es aleatoria. En el cuadro 2, se muestran los valores resultantes de la aplicación de la prueba de Rachas, se empleó como punto de corte la Mediana correspondiente a cada estación, se tienen dos grupos bien definidos correspondientes a los que el número de rachas fue inferior a la medida de Tendencia Central, estaciones tales como Páramo Guaramacal, San Giusto y Boconó Aeropuerto; y un segundo grupo, en que los números de rachas superan el punto de corte, tales estaciones son Tostós, El Jarillo, Niquitao y Las Mesitas. Con los resultados obtenidos, se determina que las siete estaciones son Homogéneas, lo que permite indicar que las series no tienen dependencia en cuanto a sus datos, direccionando la Tendencia hacia el incremento o disminución.

Cuadro 2. Resultados de la aplicación de la Prueba de Rachas (Homogeneidad de las series).

| ESTACIÓN | Nro. DE CASOS | MEDIANA | CASOS < MEDIANA | CASOS >= MEDIANA | NRO. DE RACHAS |
|----------|---------------|---------|-----------------|------------------|----------------|
| PG | 96 | 296,4 | 48 | 48 | 25 |
| TO | 492 | 90,4 | 246 | 246 | 135 |
| SG | 132 | 149,4 | 66 | 66 | 39 |
| BA | 120 | 131,6 | 60 | 60 | 34 |
| EJ | 492 | 73,2 | 246 | 246 | 151 |
| NI | 547 | 86,1 | 273 | 274 | 146 |
| LM | 456 | 71,4 | 228 | 228 | 155 |

Los valores indicados en el cuadro 2, muestran los números de casos de cada estación, el valor de la Mediana, el número de casos que podrían ser menores o mayores/igual a la Mediana y el número de rachas; ésta última permite evidenciar la homogeneidad de cada estación.

Análisis de Tendencia

Cabe señalar que existen ciertas diferencias en cuanto a la longitud de los datos. Sin embargo, se puede evidenciar la evolución de la variable a lo largo del tiempo. En el Gráfico 1, se tiene la representación de cada serie temporal, lo común en ellas es la forma de oscilación, tomando en cuenta que se emplearon los datos mensuales, los períodos de lluvia y sequía durante el año se ven reflejados en dichos esquemas.

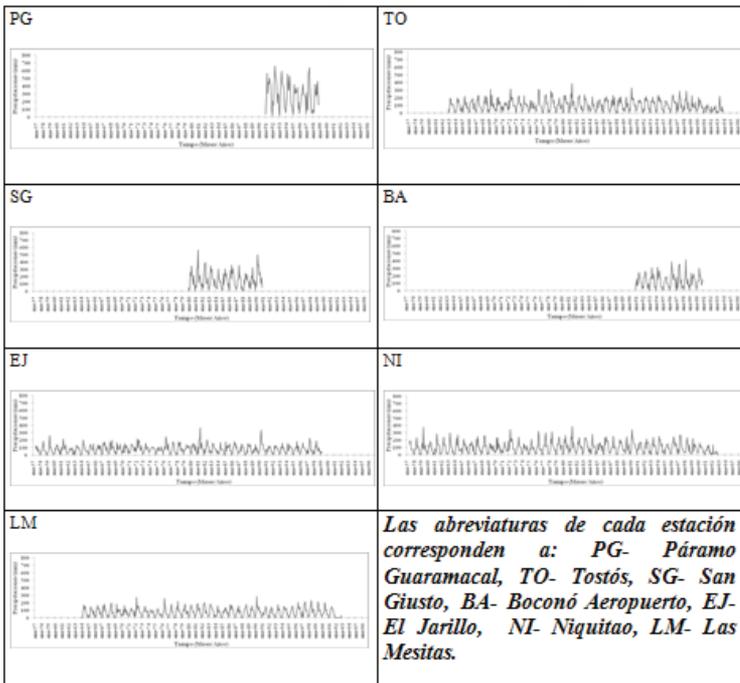


Gráfico 1. Series temporales de precipitación de las estaciones en estudio (Datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

La extensión de datos, dificulta que en esta primera presentación gráfica se defina la tendencia en cada serie, por tanto se ejecuta la aplicación de un método denominado Medias Móviles, a fin de suavizar la serie y definir el comportamiento de las mismas. Se aplica el método para cada serie, con un promedio de 5 años, por tanto se pierden los dos primeros y los dos último valores de cada serie. Es importante señalar, que con este método se logra una mejor visualización del comportamiento

de las precipitaciones a través del tiempo, aunque sigue presentándose la dificultad de no ser suficiente el promedio de 5 años para definir la tendencia de la curva. Sin embargo, se traza adicionalmente una línea de tendencia ajustada a una Recta.

Estos resultados se muestran en el Gráfico 2, donde se evidencia en cada serie el movimiento ascendente y descendente de la curva de precipitación, lo que destaca la distribución de las precipitaciones a lo largo del año en cada estación y cuyo patrón se mantiene a través del tiempo se hace notar, asimismo, que en ciertos lapsos la intensidad de los montos decrece.

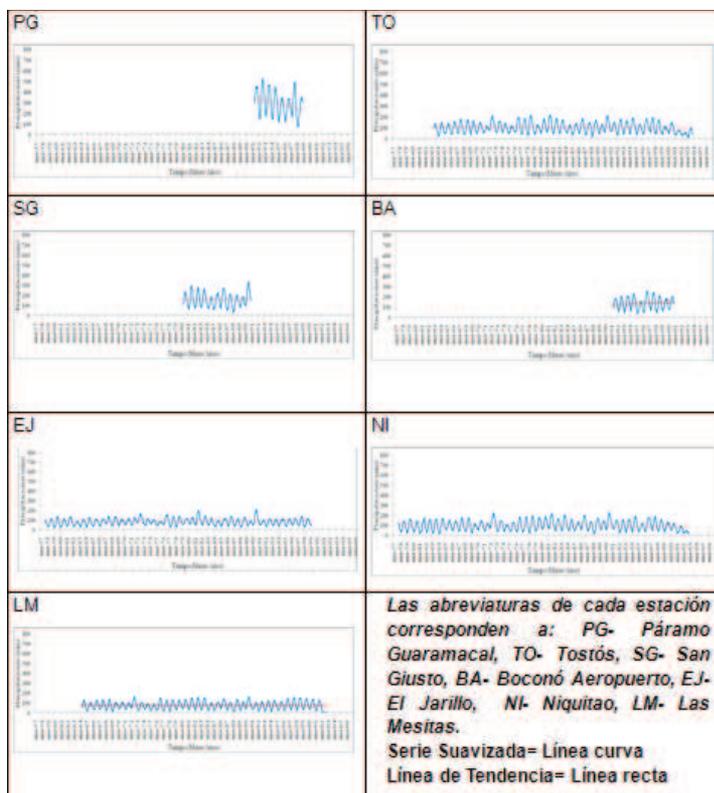


Gráfico 2. Series temporales suavizadas mediante el método de las Medias Móviles (5 años) y Tendencia Lineal de las estaciones en estudio (Datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

En cuanto a la Línea de Tendencia, sólo en la estación PG se evidencia un descenso marcado de la tendencia, lo que indica que a pesar de mantenerse la distribución en el tiempo, los montos totales han disminuido. Para BA, la Tendencia indica incremento, por tanto, al pasar el tiempo se han hecho más intensas las precipitaciones. En las restantes estaciones, la línea no es representativa de la serie, lo que resulta en una línea paralela al eje X sin describir comportamiento ascendente o descendente alguno. Esto último lo corroboran los Coeficientes de Determinación (R^2) que se muestran en el cuadro 3; donde ninguna Recta llega al 5% de ajuste de la serie a la línea recta.

Cuadro 3. Fórmulas de la Recta de Tendencia y Coeficiente de Determinación de cada serie en estudio.

| ESTACIÓN | FÓRMULA DE LA RECTA | R^2 |
|-------------------|-------------------------|--------|
| Páramo Guaramacal | $y = -0,0337x + 1459,1$ | 0,03 |
| Tostós | $y = -0,001x + 131,88$ | 0,0041 |
| San Giusto | $y = 0,001x + 122,5$ | 0,0001 |
| Boconó Aeropuerto | $y = 0,0044x - 22,078$ | 0,0027 |
| El Jarillo | $y = 0,0002x + 72,101$ | 0,0004 |
| Niquitao | $y = -0,0002x + 104,22$ | 0,0003 |
| Las Mesitas | $y = -0,0002x + 78,916$ | 0,0001 |

Aplicación del modelo ARIMA: Tendencia considerando la estacionalidad

A las series temporales de cada estación se les realizó el análisis de estacionalidad empleándose el modelo ARIMA, obteniendo el modelo que mejor se aplica para cada serie (resaltado en negrita). Se tiene en el cuadro 4 la presentación de los cuatro sobreajustes correspondientes y la selección del mejor. Luego de aplicar la Prueba K-S, los resultados se disponen en el cuadro 5, donde se evidencia que todas las estaciones responden positivamente a la Hipótesis Nula, en tanto que, el nivel de significancia de las estaciones supera el nivel de significación de la prueba (0,05).

Cuadro 4. Modelo ARIMA para serie estudiada y los sobreajustes

| ESTACIONES | MODELO RESULTANTE | ERROR TÍPICO | SOBRE-AJUSTES | ERROR TÍPICO | SOBRE-AJUSTES | ERROR TÍPICO |
|------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| PG | (000)(101) | 113,126 | 100 101 | 111,70 | 000 201 | 114,21 |
| | | | 001 101 | 108,53 | 000 102 | 114,16 |
| TO | (000)(101) | 49,15 | 100 101 | 48,156 | 000 201 | 48,303 |
| | | | 001 101 | 48,181 | 000 102 | 48,902 |
| SG | (000)(101) | 76,528 | 100 101 | 84,826 | 000 201 | 79,977 |
| | | | 001 101 | 76,925 | 000 102 | 83,288 |
| BA | (000)(101) | 59,996 | 100 101 | 64,068 | 000 201 | 62,065 |
| | | | 001 101 | 61,985 | 000 102 | 63,443 |
| EJ | (000)(101) | 38,184 | 100 101 | 41,106 | 000 201 | 38,671 |
| | | | 001 101 | 42,273 | 000 102 | 39,224 |
| NI | (000)(101) | 49,154 | 100 101 | 50,233 | 000 201 | 49,495 |
| | | | 001 101 | 48,779 | 000 102 | 50,306 |
| LM | (000)(101) | 33,496 | 100 101 | 35,746 | 000 201 | 33,251 |
| | | | 001 101 | 36,125 | 000 102 | 34,899 |

Cuadro 5. Prueba de Kolmogorov- Smirnov aplicada a cada serie en estudio.

| ESTACIONES | K-S | SIGNIFICANCIA |
|-------------------|-------|---------------|
| Páramo Guaramacal | 1,004 | 0,266 |
| Tostós | 1,539 | 0,072 |
| San Giusto | 1,313 | 0,064 |
| Boconó Aeropuerto | 0,991 | 0,280 |
| El Jarillo | 2,062 | 0,404 |
| Niquitao | 1,806 | 0,060 |
| Las Mesitas | 1,958 | 0,430 |

Variación Anual

En cuanto a la variación anual (VA) de las precipitaciones en las estaciones de la cuenca del río Boconó, se visualiza de forma general que las mismas han descrito un comportamiento que supera en la mayoría de los años, el año de referencia. Para apreciar los años de referencia (con respectivo monto anual) y los resultados de la aplicación del procedimiento, ver el cuadro 6, donde se muestran los valores porcentuales por cada estación de acuerdo a su serie descrita.

Cuadro 6. Variación anual de las precipitaciones en cada estación del estudio

| SERIES | ESTACIONES | | | | | | |
|-------------|------------|---------|---------|---------|-------|-------|------------|
| | PG | TO | SG | BA | EJ | NI | LM |
| REFERENCIA: | | | | | | | |
| AÑO | 1991 | 1963 | 1980 | 1991 | 1958 | 1958 | 1964 785,1 |
| MONTO | 4.025,9 | 1.042,9 | 1.718,0 | 1.512,8 | 777,6 | 972,4 | |
| 1957 | | | | | 82,6 | 73,0 | |
| 1958 | | | | | 100,0 | 100,0 | |
| 1959 | | | | | 114,9 | 124,1 | |
| 1960 | | | | | 103,0 | 100,5 | |
| 1961 | | | | | 128,4 | 113,1 | |
| 1962 | | | | | 83,1 | 107,8 | |
| 1963 | | 100,0 | | | 109,4 | 110,0 | |
| 1964 | | 95,6 | | | 109,9 | 116,7 | 100,0 |
| 1965 | | 109,0 | | | 118,3 | 121,0 | 100,6 |
| 1966 | | 112,4 | | | 120,1 | 115,7 | 119,2 |
| 1967 | | 119,6 | | | 132,7 | 124,8 | 115,3 |
| 1968 | | 122,6 | | | 133,4 | 121,7 | 112,2 |
| 1969 | | 115,1 | | | 121,5 | 95,2 | 108,3 |
| 1970 | | 116,9 | | | 122,5 | 122,1 | 111,8 |
| 1971 | | 93,3 | | | 124,7 | 95,9 | 96,4 |
| 1972 | | 172,7 | | | 177,4 | 182,4 | 159,6 |
| 1973 | | 120,8 | | | 115,6 | 112,2 | 103,5 |
| 1974 | | 108,3 | | | 113,1 | 89,0 | 92,4 |
| 1975 | | 100,0 | | | 104,4 | 102,5 | 82,3 |
| 1976 | | 135,9 | | | 153,7 | 125,3 | 121,9 |
| 1977 | | 115,3 | | | 111,5 | 126,7 | 101,5 |
| 1978 | | 152,8 | | | 130,9 | 139,0 | 125,7 |
| 1979 | | 100,1 | | | 139,3 | 146,2 | 124,8 |
| 1980 | | 126,4 | 100,0 | | 122,5 | 136,7 | 116,9 |
| 1981 | | 153,4 | 127,1 | | 189,7 | 166,5 | 135,8 |
| 1982 | | 129,1 | 116,9 | | 134,3 | 131,1 | 135,0 |
| 1983 | | 124,4 | 118,7 | | 120,6 | 151,6 | 138,4 |
| 1984 | | 88,7 | 77,8 | | 90,1 | 112,2 | 91,1 |
| 1985 | | 114,3 | 104,2 | | 136,0 | 122,1 | 116,6 |
| 1986 | | 133,3 | 120,9 | | 128,4 | 154,5 | 133,1 |
| 1987 | | 108,5 | 89,8 | | 108,2 | 104,6 | 100,3 |
| 1988 | | 124,7 | 91,0 | | 117,2 | 128,3 | 115,2 |
| 1989 | | 95,6 | 88,7 | | 93,5 | 111,8 | 102,6 |
| 1990 | | 156,7 | 149,8 | | 190,0 | 178,9 | 151,3 |
| 1991 | 100,0 | 116,4 | | 100,0 | 103,9 | 118,2 | 98,3 |
| 1992 | 102,6 | 126,4 | | 95,0 | 114,4 | 114,8 | 97,6 |
| 1993 | 90,6 | 118,2 | | 104,9 | 106,6 | 122,5 | 98,9 |
| 1994 | 90,9 | 138,0 | | 115,2 | 123,8 | 138,4 | 119,3 |
| 1995 | 74,2 | 103,3 | | 76,9 | 117,9 | 97,8 | 103,0 |
| 1996 | 76,1 | 136,1 | | 125,8 | 120,4 | 147,4 | 129,5 |
| 1997 | 82,8 | 130,0 | | 113,2 | 118,2 | 134,8 | 132,5 |
| 1998 | 72,5 | 124,2 | | 102,5 | 118,9 | 116,1 | 137,8 |
| 1999 | | 96,6 | | 103,2 | 11,3 | 107,9 | 131,2 |
| 2000 | | 111,0 | | 110,7 | | 95,6 | 124,6 |
| 2001 | | 60,8 | | | | 68,0 | 109,6 |
| 2002 | | 47,4 | | | | 36,9 | 4,0 |
| 2003 | | 64,7 | | | | | |
| 2004 | | | | | | | |
| 2005 | | | | | | | |
| 2006 | | | | | | | |

Nota. PG= Páramo Guaramacal; TO= Tostós; SG= San Giusto; BA= Boconó Aeropuerto; EJ= El Jarillo; NI= Niquitao; LM= Las Mesitas.

En el gráfico 3, se evidencia el comportamiento de las VA de las estaciones: en PG la variación es hacia el decrecimiento de las precipitaciones de aproximadamente 20% por debajo de la referencia y además este comportamiento se mantiene en el tiempo. Para el caso de Tostós, El Jarillo, Niquitao y Las Mesitas, se manifiestan comportamientos de variaciones anuales similares, un número significativo de los años de sus series presentan incrementos notorios de sus precipitaciones en relación con sus referencias, estos aumentos pueden llegar incluso al 80% por encima, lo que es indicador de estaciones con montos de precipitaciones abundantes; sin embargo, hay que resaltar como a partir de los años 1990 se mantiene una constante en las estaciones de disminuir porcentualmente los incrementos de precipitación, lo que indica que las estaciones disminuyen las precipitaciones al transcurrir del tiempo, se hacen más seca que años anteriores. San Giusto y Boconó Aeropuerto muestran que sus comportamientos no son muy variables en relación con la referencia, no exceden ni decrecen más de un 20% e incluso se mantienen sobre la referencia, es decir, en estas localidades se mantiene a lo largo del tiempo una condición en cuanto a las precipitaciones sin mucha variación; sin embargo, cabe destacar que son dos estaciones con un lapso de tiempo corto, por tanto en las respectivas series es difícil apreciar cambios significativos.

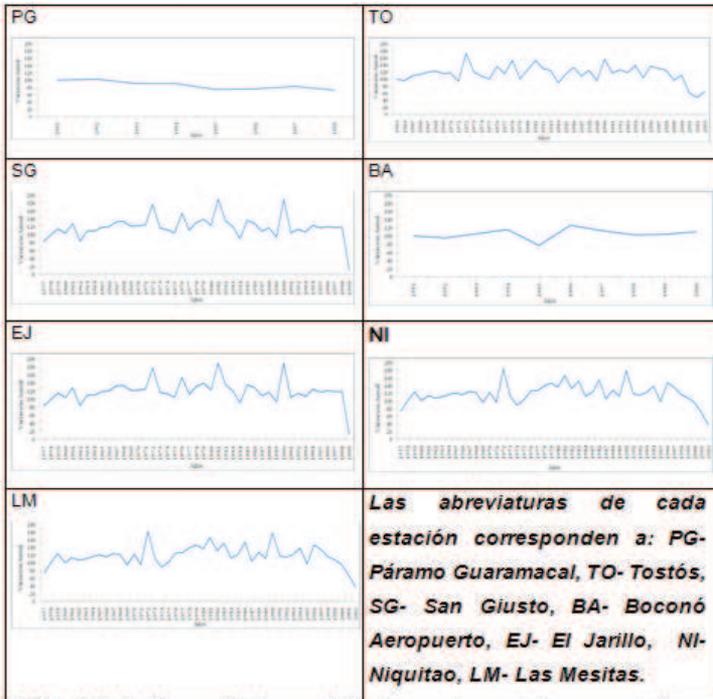


Gráfico 3. Variación anual de las precipitaciones en las estaciones en estudio.

Variación Interanual

La variación interanual (VIA) corresponde a la diferencia porcentual de precipitaciones entre un año y el anterior, en el cuadro 7 no se tiene resultado para los primeros años de cada serie. En el gráfico 4 se evidencia un patrón de VIA bien definido, aunque en las estaciones cuyas series históricas son cortas pareciera responder a mayor amplitud de variación, éstas marcan con regularidad que alrededor de cada dos años existe un cambio de comportamiento, es decir, se tienen aproximadamente dos años con montos de precipitación por encima de la referencia y dos por debajo de la misma, este hecho se repite en todas las estaciones, adicionalmente, es mayor el incremento de la precipitaciones que en promedio supera los 40%, que los déficits que no logran alcanzar estos valores. También es de notar que hacia los últimos años de las series, la amplitud entre los valores máximos y mínimos de la VIA de precipitación se hace más estrecha, es decir, la variación es menor en cuanto al aumento y disminución de las mismas, manteniéndose una tendencia hacia el descenso de los montos, con excepción en la estación Boconó Aeropuerto.

Cuadro 7. Variación Interanual de las precipitaciones en cada estación de la cuenca del río Boconó.

| AÑOS | ESTACIONES | | | | | | |
|------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | PG | TO | SG | BA | EJ | NI | LM |
| 1957 | | | | | | | |
| 1958 | | | | | 121,1 | 137,0 | |
| 1959 | | | | | 114,9 | 124,1 | |
| 1960 | | | | | 89,6 | 80,9 | |
| 1961 | | | | | 124,7 | 112,6 | |
| 1962 | | | | | 64,7 | 95,3 | |
| 1963 | | | | | 131,7 | 102,1 | |
| 1964 | | 95,6 | | | 100,5 | 106,1 | |
| 1965 | | 114,1 | | | 107,6 | 103,7 | 100,6 |
| 1966 | | 103,1 | | | 101,5 | 95,6 | 118,5 |
| 1967 | 102,6 | 106,4 | 127,1 | 95,0 | 110,5 | 107,9 | 96,7 |
| 1968 | 88,3 | 102,5 | 91,9 | 110,4 | 100,5 | 97,5 | 97,4 |
| 1969 | 100,4 | 93,9 | 101,6 | 109,8 | 91,0 | 78,2 | 96,5 |
| 1970 | 81,7 | 101,6 | 65,5 | 66,8 | 100,9 | 128,2 | 103,2 |
| 1971 | 102,5 | 79,8 | 134,0 | 163,6 | 101,8 | 78,6 | 86,3 |
| 1972 | 108,8 | 185,0 | 116,0 | 90,0 | 142,3 | 190,2 | 165,5 |
| 1973 | 87,6 | 69,9 | 74,3 | 90,6 | 65,2 | 61,5 | 64,9 |
| 1974 | | 89,7 | 101,3 | 100,7 | 97,8 | 79,3 | 89,3 |
| 1975 | | 92,3 | 97,4 | 107,2 | 92,3 | 115,2 | 89,1 |
| 1976 | | 135,9 | | | 147,2 | 122,2 | 148,1 |
| 1977 | | 84,9 | | | 72,6 | 101,1 | 83,3 |
| 1978 | | 132,5 | | | 117,4 | 109,8 | 123,8 |
| 1979 | | 65,5 | | | 106,4 | 105,2 | 99,3 |
| 1980 | | 126,3 | | | 87,9 | 93,5 | 93,7 |
| 1981 | | 121,4 | | | 154,9 | 121,8 | 116,2 |
| 1982 | | 84,1 | | | 70,8 | 78,8 | 99,4 |
| 1983 | | 96,4 | | | 89,8 | 115,6 | 102,5 |
| 1984 | | 71,4 | | | 74,8 | 74,0 | 65,9 |
| 1985 | | 128,8 | | | 150,9 | 108,8 | 128,0 |
| 1986 | | 116,6 | | | 94,4 | 126,5 | 114,2 |
| 1987 | | 81,4 | | | 84,3 | 67,8 | 75,4 |
| 1988 | | 114,9 | | | 108,3 | 122,6 | 114,8 |
| 1989 | | 76,7 | | | 79,8 | 87,1 | 89,0 |
| 1990 | | 163,9 | 169,0 | | 203,2 | 160,0 | 147,6 |
| 1991 | | 74,3 | | | 54,7 | 66,1 | 64,9 |
| 1992 | 102,6 | 108,6 | 101,6 | 95,0 | 110,1 | 97,1 | 99,3 |
| 1993 | 88,3 | 93,6 | 65,5 | 110,4 | 93,2 | 106,7 | 101,4 |
| 1994 | 100,4 | 116,7 | 134,0 | 109,8 | 116,2 | 112,9 | 120,6 |
| 1995 | 81,7 | 74,9 | 116,0 | 66,8 | 95,2 | 70,7 | 86,4 |
| 1996 | 102,5 | 131,7 | 74,3 | 163,6 | 102,1 | 150,7 | 125,7 |
| | 108,8 | 95,5 | 101,3 | 90,0 | | | 102,3 |
| 1997 | 87,6 | | 97,4 | 90,6 | 98,2 | 91,5 | 104,0 |
| 1998 | | 95,6 | | 100,7 | 100,6 | 86,1 | |
| | | | 169,0 | 107,2 | 9,5 | 92,9 | 95,2 |
| 1999 | 102,6 | 77,7 | | | | 88,6 | 95,0 |
| 2000 | 88,3 | 114,9 | | | | 71,2 | 88,0 |
| 2001 | 100,4 | 54,8 | | 110,4 | 110,1 | 54,3 | 3,6 |
| 2002 | 81,7 | 77,9 | | 109,8 | 93,2 | | |
| 2003 | 102,5 | 136,6 | | 66,8 | 116,2 | | |
| 2004 | 108,8 | | | 163,6 | 95,2 | 70,7 | 86,4 |
| 2005 | | 131,7 | | 90,0 | 102,1 | 150,7 | 125,7 |
| 2006 | | 95,5 | | | 98,2 | 91,5 | 102,3 |

Nota. Las abreviaturas de cada estación corresponden a: PG- Páramo Guaramacal, TO- Tostós, SG- San Giusto, BA- Boconó Aeropuerto, EJ- El Jarillo, NI- Niquitao, LM- Las Mesitas

Predicciones de las precipitaciones en las estaciones de la cuenca del río Boconó

Los resultados de las predicciones se representan en el gráfico 5, donde se observa el comportamiento que tendrán las precipitaciones en ese lapso, adicionalmente existe un límite de confianza superior e inferior, rango en el que podría fluctuar la curva descrita por el modelo.

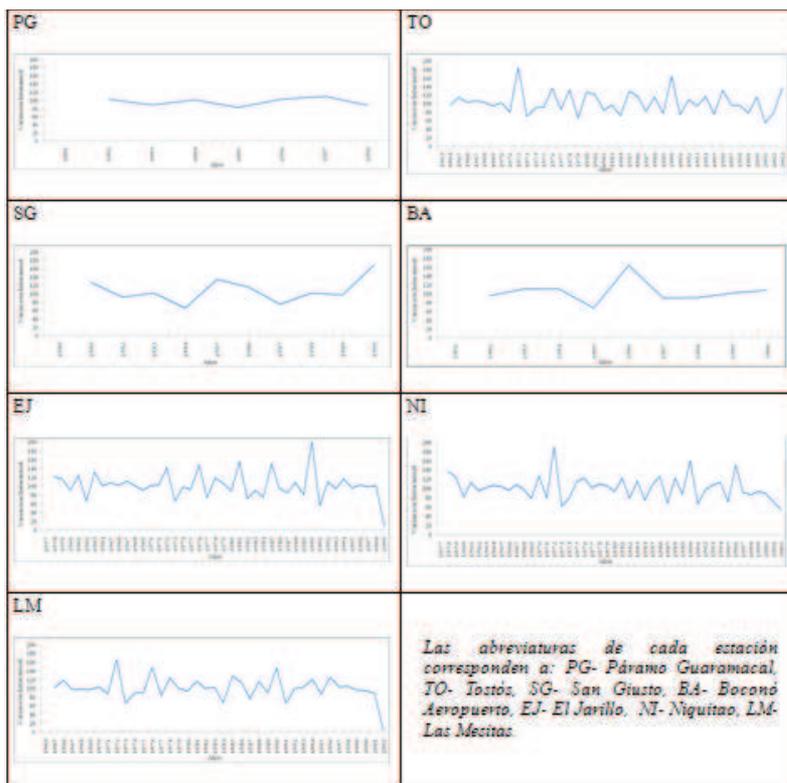


Gráfico 4. Variación interanual de las precipitaciones en las estaciones en estudio.

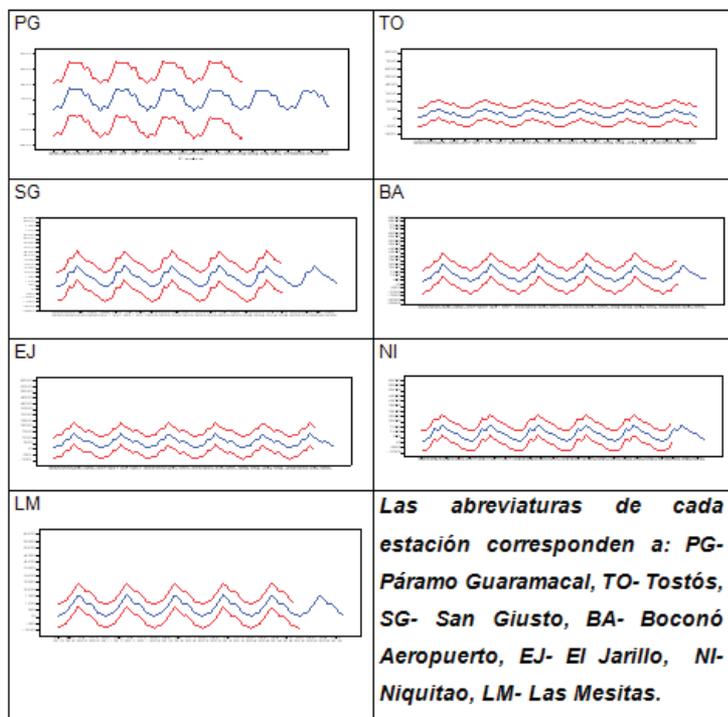


Gráfico 5. Predicción de precipitaciones para las estaciones de la cuenca del río Boconó, período 2010- 2015.

CONCLUSIONES

Existen diferentes métodos para el análisis de la Tendencia de una serie temporal, sin embargo, hay que seleccionar el que mejor represente el comportamiento de la misma. Se evidenció en los resultados, que el uso del modelo de Tendencia Lineal no definió el comportamiento de las precipitaciones en el lapso establecido; no obstante, con las medias móviles se eliminaron las fluctuaciones más intensas y permitió visualizar un comportamiento bastante regular en cuanto a la distribución de la variable.

El modelo ARIMA ajusta más adecuadamente lo que se tiene en la realidad a dos funciones: 'lo regular de la serie' y 'lo estacional', tomando en cuenta la autorregresión, las medias móviles y las veces que hay que diferenciar para estabilizar la serie en tendencia y estacionalidad. En función a estos aspectos se llegó a las siguientes conclusiones:

- En cuanto al análisis del Movimiento Secular (T), se concluye que la manifestación de pendientes (b_x) con un ajuste de bondad muy bajo (R^2) resultantes en las estaciones, indica que a largo plazo no se revele un comportamiento de aumento o disminución significativo de las precipitaciones. El modelo lineal no es el más conveniente para el estudio de series de precipitación, ya que en éstas se presenta una marcada variación estacional, esto se desprende de los valores de R^2 .
- Existe correspondencia entre el comportamiento temporal de las Variaciones Anuales y los Coeficientes de Determinación de cada serie. En cuanto a la Variación Interanual, de un año a otro se evidenció mayor fluctuación en cuanto a los montos de precipitación.
- En función al modelo ARIMA, el pronóstico realizado refleja un comportamiento estacional que se ajusta coherentemente con lo registrado y observado en el análisis del movimiento secular (T). El modelo de pronóstico resultante coincide en todas las estaciones ubicadas dentro de la cuenca, siendo representado por (000) (101). Los pronósticos deben ser tomados en cuenta siempre y cuando se mantengan las condiciones generales de la cuenca del río Boconó. Dichas predicciones son un aproximado de lo que se espera ocurrirá con las precipitaciones de cada estación, en cuanto las condiciones cambian, los pronósticos se alejarán más de los valores reales. Cuando eso suceda, se deben incorporar las nuevas observaciones y considerar las nuevas condiciones para recalcular los pronósticos.

Es necesario evaluar los mecanismos físicos- geográficos que puedan estar disminuyendo los montos de las precipitaciones (variación anual) en los últimos años, siendo de importancia ya que dicha cuenca contribuye con un sistema de embalse (Boconó-Tucupido), así como por la estabilidad socio-económica de la población adyacente. Asimismo, explicar el patrón de periodicidad que presentan las estaciones, realizar alguna correlación con fenómenos atmosféricos de origen oceánico.

Con esta investigación se comprueba que es posible realizar pronósticos, sin embargo, al emplear el método de Box-Jenkins, ARIMA, es necesario que el tiempo a predecir sea más corto, esta es una debilidad que se tiene en el país debido a la falta de registros climatológicos actualizados. Ciertamente que aunque no se puede predecir el comportamiento exacto de una variable climática, debido a los múltiples factores atmosféricos que en ella pueden influir, se deben estudiar para un aproximado de lo que hay que esperar del comportamiento de las mismas.

REFERENCIAS

- De Arce, R. y Mahía, R. (2000). *Modelos ARIMA, Definiciones Básicas*. Departamento de Economía Aplicada. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.uam.es> [Consulta: 2009, Septiembre 05]
- Graterol, X. (2000). *Informe sobre la comisión realizada entre el 09/07/00 al 21/07/00, en el Municipio Boconó, Estado Trujillo*. Trujillo: MARNR. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). *Serie de datos climáticos*. Caracas: Autor
- Magaña, V. (2003). Diagnosis and prognosis of extreme precipitation events in the Mexico City Basin. *Geofísica Internacional*, 41(2), 247-259
- Makridakis, S. y Wheelwright, S. (2000). *Métodos de Pronósticos*. México: Grupo Noriega de Editores
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales –MARNR- (1994). *Diagnóstico de la cuenca del río Boconó, Informe de avance del plan de Desarrollo*. Caracas: Autor

- Pereyra, D., Bando, U. y Natividad, M. (2004). Influencia de La Niña y El Niño sobre la precipitación de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 20(39), 33-38
- Pérez, M., Pucho, M. y Bracho, G. (2008). Herramientas para el control de calidad de datos climáticos y su análisis con fines de uso agropecuarios. *Revista Digital CENIAP Hoy*. [Revista en línea]. Disponible: <http://www.ceniap.gov.ve/pdb/RevistasTecnicas/ceniaphoy/index.htm> [Consulta: 2009, Febrero 07]
- Portillo, M. y Del Cura F. (1993). Diagnóstico y tratamiento de los problemas de erosión concentrada. Movimientos de masa y eventos torrenciales y su impacto sobre el sistema vial y economía de la cuenca del río Boconó, estado Trujillo. *Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales 1: IV Encuentro de Geógrafos de América Latina*. Mérida: ULA, 417-430
- Villalpando, J. (1990). *Manual Técnico: Métodos de análisis de datos climatológicos archivados y preparación de información agroclimática*. Guadalajara, México: Noriega Editores