

---

## **PRONOSTICO DE LA LLUVIA PARA EL MUNICIPIO SAN FRANCISCO DEL ESTADO ZULIA - VENEZUELA DEL 2016 AL 2018**

**MSc. José V. Castro V.**  
**Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacin - URBE**  
**jvcastro@urbe.edu.ve**

**Dr. Jesús Cendros Guasch**  
**Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacin - URBE**  
**jcendros@urbe.edu**

### **RESUMEN**

Esta investigación se establece como objetivo pronosticar la lluvia para el Municipio San Francisco del Estado Zulia del 2016 al 2018, realizando una recopilación de datos reales correspondientes a las precipitaciones en el periodo 2000-2015. Para determinar dicho pronóstico se utilizó por el método ARIMA. Los resultados muestran una ciclicidad en los periodos de lluvia y sequía con un máximo de 0.14 mm para los meses de octubre y noviembre. Se recomienda al estado venezolano y al municipio establecer políticas de fuentes alternas del recurso hídrico y realización de campañas de concientización hacia la población a efectos de un uso racional del recurso agua.

Palabras clave: Pronóstico, lluvias, pluviometría, Municipio San Francisco, Arima

### **FORECAST RAIN FOR SAN FRANCISCO MUNICIPALITY OF THE STATE ZULIA – VENEZUELA FROM 2016 TO 2018**

### **ABSTRACT**

This research sets its objective to forecast rain for the San Francisco municipality of Zulia State from 2016 to 2018, making a collection of actual data for precipitation for the period 2000-2015. Forecasting by ARIMA method was used to determine said. The results show a cyclicality in periods of rain and drought with a maximum of 0.14 mm for the months of October and November. It is recommended to the Venezuelan State and the municipality set up alternative sources of water resources policies and campaigns of awareness to the population for the purpose of a rational use of the resource water.

Keywords: Forecast, rain, Pluviometry, San Francisco Municipality, Arima

## INTRODUCCION

El llamado efecto del niño viene generando graves problemas en sus zonas de influencia. Por un lado grandes vaguadas y por el otro lado prolongadas sequias que limitan el acceso al agua y disminuyen la capacidad de generación de energía hidroeléctrica. Venezuela, está ubicada en la parte norte de América del Sur, se encuentra en la Zona Intertropical, el clima es cálido y lluvioso en general, pero debido a la orografía, la dirección dominante de los vientos, la disposición de las alineaciones (respecto a las corrientes marinas), se presentan varios tipos climáticos, que son casi los mismos que se pueden encontrar en las latitudes intertropicales. La latitud ejerce una escasa influencia sobre el clima venezolano, pero la altitud lo cambia drásticamente.

En el Estado Zulia el clima es cálido, dominado por condiciones semiáridas. Su temperatura promedio anual varía entre 28°C y 40°C en las tierras bajas, llegando a tener temperaturas templadas, hasta frías en las zonas occidentales de la Sierra de Perijá. Las precipitaciones oscilan entre los 300 mm en la Guajira y los 4500 mm anuales en la Misión de El Tokuko, al suroeste del estado. Estos niveles de lluvia en mm, son monitoreados a diario por la Base Aérea Rafael Urdaneta y el ICLAM (Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo)

Por su parte el Municipio San Francisco del Estado Zulia se encuentra ubicado en la margen noroeste del estrecho del Lago de Maracaibo, con una forma rectangular que se extiende desde los márgenes del Lago, limitando al Norte con el Municipio Maracaibo; al Este con el Lago de Maracaibo; al Sur con el Municipio La Cañada de Urdaneta y al Oeste con el Municipio Jesús Enrique Lossada. Presenta un clima semiárido, con temperatura promedio anual de 27,8°C. La precipitación media anual de 700mm. La misma es irregular incrementándose en sentido norte-sur. Es el segundo Municipio más poblado del Estado Zulia y es pilar fundamental en la economía del estado, ya que cuenta con el principal aeropuerto del occidente del país (Aeropuerto Internacional La Chinita), posicionado como el segundo aeropuerto más importante del país con un tráfico anual de 1.300.000 pasajeros aproximadamente (2011), ubicado muy cerca de la ciudad y con destinos al resto del país y a otros países de América.

Además de su efecto sobre el acceso al agua y la generación de electricidad, las lluvias también tienen un efecto de radio atenuación en las señales electromagnéticas generando un impacto negativo para el municipio, ocasionando retraso o perdidas en sus comunicaciones, produciendo embotellamiento en el Aeropuerto, debido a que depende considerablemente de la comunicación para sus operaciones, teniendo destinos al resto del país y a otros países de América, igualmente la Base Aérea Rafael Urdaneta depende en gran medida del factor climático para sus comunicaciones, allí se encuentra el grupo Aéreo de Operaciones Especiales, cuya función es el resguardo de la frontera de la nación, así mismo las empresas de la zona se verán muy afectadas en su correcto funcionamiento, sobre todo a las prestadoras de servicios de telecomunicaciones.

Para efectos de esta investigación se formula la siguiente interrogante ¿Cuál será el pronóstico de la lluvia para el Municipio San Francisco del Estado Zulia entre los años 2016 al 2018?, se establece como objetivo pronosticar la lluvia para el Municipio San Francisco del Estado Zulia del 2016 al 2018, realizando una recopilación de datos reales correspondientes a las precipitaciones en el periodo 2000-2015. para determinar dicho pronóstico se utilizó por el método ARIMA.

## MÉTODOS DE PRONÓSTICOS CUANTITATIVOS

Para realizar el pronóstico de la lluvia para el Municipio San Francisco del Estado Zulia, se hace necesario el uso de un método de pronóstico adecuado que permita obtener valores de precipitación confiables. En este sentido, se mencionan algunos métodos de pronóstico cuantitativos de promedio y de suavizamiento exponencial, para determinar aquel que se ajuste en mayor proporción al objetivo de la investigación.

En cuanto a los métodos de promedio, se incluyen los promedios simples y los promedios móviles. Según lo señalan Hanke y Reitsch (1996), un promedio simple, se obtiene encontrando la media de todos los valores pertinentes, usando después este para pronosticar el siguiente periodo, mientras que un promedio móvil se obtiene encontrando la media de un conjunto específico de valores, empleándolo luego para pronosticar el siguiente periodo.

Los métodos de suavizamiento exponencial, representado por Hanke y Reitsch (1996), en donde, la atenuación o suavizamiento exponencial es un método utilizado para revisar constantemente una estimación a la luz de experiencias más recientes. Estos métodos, están basados en el promedio de valores anteriores de una serie, haciendo esto de forma decreciente-exponencial. Dentro de estos métodos se incluyen el simple o único, lineal o modelo Holt, estacional o modelo de Winter y el método amortiguado de tendencia.

En otro orden de ideas, es importante acotar que el modelo ARIMA se basa en la metodología de Box-Jenkins. Esta metodología, según lo señala Hanke y Reitsch (1996) utiliza un enfoque iterativo de identificación de un modelo útil a partir de modelos de tipo general, es decir, permite al analista seleccionar el modelo que mejor se ajuste a la serie de datos. Sobre la base de lo antes expuesto y según los antecedentes utilizados en esta investigación, se asevera que el modelo ARIMA es el método de análisis de series de tiempo más adecuado para los objetivos de la investigación.

### PROMEDIO MÓVIL INTEGRADO DE AUTO REGRESIÓN (ARIMA)

Makridakis y Wheelwright (2004) definen que para todo propósito práctico, múltiples clases o tipos generales de series de tiempo, se pueden describir cualquier tipo de patrones de datos de series de tiempo. El modelo ARIMA es definido por Hanke y Reitsch (1996), como aquel que toma en cuenta la dependencia existente entre los datos, en el cual cada observación en un momento dado, es modelada en función de los valores anteriores. De igual forma, este modelo no asume ningún patrón particular en los datos históricos de la serie a pronosticar.

Estos patrones pueden ser: autoregresivos (AR), de promedio móvil (MA) y de promedio móvil autoregresivo mixto (ARMA), tanto simples como estacionales. Un modelo autoregresivo tiene la forma representada por la ecuación 8. En donde  $Y_t$  es la variable dependiente y  $Y_{t-1}$ ,  $Y_{t-2}$ ...  $Y_{t-p}$ , son las variables independientes. En este caso las variables son valores constantes (de aquí el nombre de auto), es decir, observaciones de periodos anteriores. Por último,  $e_t$  es el error o termino residual, que representa las perturbaciones aleatorias que no pueden ser explicadas por el modelo.

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t \quad (8)$$

La ecuación 8, se denomina autoregresivo, porque se asemeja a la ecuación de regresión ( $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e$ ). La única diferencia radica en que  $X_t = Y_{t-1}$ ,  $X_2 = Y_{t-2}$ , ...,  $X_p = Y_p$ . Y así las variables independientes son simplemente valores rezagados de la variable dependiente, con retrasos de tiempo 1, 2, ..., p periodos. Otro modelo posible es del tipo de promedio móvil (MA), el cual de igual manera describe una serie temporal estacionaria, en donde el valor actual puede predecirse a partir los componentes aleatorios de este momento y en menor medida de los impulsos aleatorios anteriores. Este modelo se representa tal y como se muestra en la ecuación 9.

$$Y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (9)$$

En donde, como en el modelo anterior,  $e_t$  es el error o residuo;  $e_{t-1}$ ,  $e_{t-2}$  ...  $e_{t-q}$ , son los valores anteriores del error. Finalmente, ambas ecuaciones son semejantes con la excepción de que implica que la variable dependiente  $Y_t$  obedece a valores previos del término de error, más que de la variable misma. Por otra parte, los modelos de promedio móvil mixtos ARMA, incluyen términos autoregresivos, como el de medias móviles, que se representa por la ecuación 10, que nace de la combinación de la ecuación 8 y ecuación 9, en la cual, se muestra los valores futuros a partir de las observaciones pasadas, de los errores pasados entre los valores reales y los pronosticados:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (10)$$

Finalmente, un modelo ARIMA ( $p, d, q$ ) permite describir una serie de observaciones después de que hayan sido diferenciadas  $d$  veces, con el objeto de extraer las posibles fuentes de no estacionalidad. Es aplicable a cualquier modelo y si alguno de las componentes  $p, d, q$  es igual a cero, se elimina el término correspondiente de la fórmula general. Para determinar los tres parámetros del método ARIMA, ya sean los simples ( $p, d, q$ ) y/o los estacionales ( $P, D, Q$ ), se procede con el análisis de los datos para identificar los patrones de tendencia, ciclicidad y estacionalidad. Generalmente, utilizando la diferenciación simple o estacional de la serie de datos original, se obtiene la estacionalidad.

En tal respecto, González (2009), establece que ARIMA es un modelo paramétrico que trata de obtener la representación de la serie en términos de interrelación temporal de sus elementos. Luego, los análisis de autocorrelación simple y parcial, se efectúan para poder identificar el orden de cada parámetro del método de pronóstico móvil de auto regresión ARIMA. Estos parámetros, son elegidos según los resultados de la representación en los retardos de las gráficas de autocorrelación simple y parcial. Esto a su vez, es muy importante señalar que si las autocorrelaciones no pueden ser interpretadas directamente, se procede a realizar una transformación de la serie original, ya sea, por diferenciaciones de orden superior, suavizamiento o la transformación logarítmica, para lograr conseguir un patrón de retardos válidos en las autocorrelaciones graficadas.

## CONCEPTOS CLAVE

**Intensidad de Lluvia:** el diccionario de términos meteorológicos (2011) la expresa en función del incremento de la altura medida que alcanza la lluvia respecto al tiempo se clasificaría en: Ligera; al tener 2.5 mm/h o menos, las gotas son identificables unas de otras y las superficies secas expuestas tardan más de 2 minutos en mojarse completamente, Moderada; si se tiene entre 2.5 mm/h y 7.5 mm/h, no es posible identificar las gotas individualmente, se forman charcos

rápidamente y las salpicaduras al suelo u otras superficies pueden ser observadas, Fuerte; si se tiene más de 7.5 mm/h, la visibilidad es muy restringida, además las salpicaduras producidas en la superficie se levantan varias pulgadas.

**Pronóstico:** según Chapman, (2006, p. 17), es una técnica para utilizar experiencias pasadas, con la finalidad de predecir expectativas del futuro., es una predicción o anticipación de hechos que no han ocurrido los pronósticos pueden calcularse a través del tiempo. Estimación anticipada del valor de una variable desconocida. Algunas de las características de los pronósticos es que está relacionado con el futuro y el tiempo, la incertidumbre y la confianza de los datos históricos, por lo que se recomienda realizar el estudio del experimento y sus variables independientes como dependientes, para alcanzar los resultados esperados.

**Troposfera:** Zsarolyani (2008), la define como la capa inferior de la atmósfera, está comprendida desde la superficie terrestre hasta una altitud de 6 a 18 kilómetros, en ella se concentran la mayoría de los gases de la atmósfera y es la zona más turbulenta de la atmósfera donde tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos y climáticos. La temperatura más baja que puede llegar a alcanzar está en orden de los -50 °C (grados Centígrados)

**Lluvia:** según el diccionario de términos meteorológicos (2011), es una precipitación de agua en forma de gotas, que se produce cuando esta alcanza un diámetro superior a los 0.5mm caen a la tierra por la gravedad a una velocidad superior a los 3 m/seg.

## ASPECTOS METODOLOGICOS

Esta investigación se considera predictiva debido a que el objetivo fundamental de este estudio es pronosticar la lluvia para el Municipio San Francisco del Estado Zulia, comprendido entre los años 2016 al 2018, según Bravo, Ramírez y Méndez (2005) es proyectar valores a futuro, busca predecir variaciones en la variable de estudio.

Por otra parte Hurtado (2002, p. 290), indica que la investigación predictiva “es identificar y analizar alternativas futuras, acerca de cómo podría ser un determinado evento o situación, caracterizar el grado de incertidumbre asociado con cada posibilidad de futuro”. Este estudio se fundamentó en métodos estadísticos para series temporales, los cuales permiten pronosticar los valores de intensidad de lluvia para periodos anuales futuros, utilizando los registros de lluvias reales.

Para esta investigación la fuente de datos de lluvia real mensual, suministrados por el Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), en el periodos anuales desde el 2000 hasta el 2015, correspondiente a la estación meteorológica Polisur, serial 1136, latitud 103343, longitud 713836, ubicada en la Alcaldía de San Francisco, los datos de lluvia se muestran en mm/mes.

### **Cuadro 1** **Datos mensuales de precipitación (mm/mes). Año 2000 hasta 2015**

### Estación meteorológica 1136 Estación Polisor

Mes Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Ju.n	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000									54.3	148.8	218.1	3.0
2001	0.1	.0	.0	7.4	54.0	5.3	28.2	16.1	50.0	62.1	85.3	0.2
2002	.0	.0	28.7	32.9	60.0	37.5	3.3	12.4	68.1	65.9	31.7	.0
2003	.0	0.4	1.0	54.1	18.0	63.5	23.1	41.5	71.5	85.6	70.3	22.9
2004	1.3	.0	.0	20.2	168.3	10.9	67.3	43.3	203.9	77.2	164.9	1.3
2005	12.1	0.1	.0	14.2	30.1	13.4	54.1	21.7	31.5	72.4	50.8	4.1
2006	4.8	.0	1.0	21.0	6.1	22.0	40.2	31.6	83.8	12.1	22.4	1.7
2007	.0	0.3	1.0	16.4	3.4	30.1	42.8	15.0	49.9	38.0	34.1	4.6
2008	.0	.0	.0	10.8	3.2	40.2	53.4	26.4	91.0	13.3	16.0	12.4
2009	.0	0.1	9.0	12.1	20.0	85.0	62.2	35.0	71.3	75.6	13.3	7.4
2010	17.1	0.1	3.0	20.6	22.4	90.4	66.1	42.7	43.5	11.2	11.5	3.0
2011	0.6	16.4	17.7	50.3	4.6	105.0	76.0	43.6	85.7	31.3	87.0	2.2
2012	0.2	.0	33.2	15.3	153.7	129.6	80.0	117.1	70.7	308.6	139.6	82.4
2013	.0	.0	17.7	4.3	95.2	6.8	23.9	4.4	111.1	26.7	53.4	28.4
2014	.0	.0	6.0	19.4	47.1	6.5	39.3	87.5	168.2	133.5	39.0	1.9
2015	.0	0.1	.0	31.35	19.0	58.0	27.13	48.44	93.63	87.48	79.15	21.69

Fuente: ICLAM (2016)

## PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Seguidamente se detallan las cuatro fases a implementar para el desarrollo de la presente, en donde se abarcan desde la recopilación de los datos de niveles de lluvia, aplicación y análisis del método de pronóstico ARIMA, estimación de la intensidad de lluvia, determinando de los niveles de radioatenuación troposférica. Según Neptali (2010), el método más adecuado y compatible con las características de la serie de datos real, así como los patrones estacionales es el ARIMA y el cual, será empleado para el desarrollo de la presente investigación.

### Fase I: Recopilación de los datos de lluvia

En esta primera fase, se conforma la recolección y el procesamiento de los registros de lluvia, provenientes de la estación meteorológica 1136 de la Alcaldía del Municipio San Francisco del Estado Zulia (antiguo Polisor), monitoreada por el Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), específicamente la División de Calidad de Agua, con el objeto de reunir información necesaria.

### Fase II: Aplicación y análisis del método de pronóstico ARIMA

En la segunda fase, se detallan los resultados obtenidos con el método de pronóstico empleado. Así mismo, se muestran en tabla, grafica con los valores obtenidos mediante SPSS, versión 21, que es un programa estadístico informático que posee la capacidad de trabajar con bases de datos de gran tamaño, lo que permite modelar la data de lluvia recolectada para lograr el pronóstico con el método

ARIMA, en base a los coeficientes como parámetros óptimos estimados por la aplicación a partir de un algoritmo automatizado de ensayo y error.

### **Fase III: Estimación de la intensidad de lluvia**

Con los valores pronosticados obtenidos en la fase anterior, referentes al pronóstico de los niveles de lluvia de los años posteriores a través del método ARIMA, se procede a calcular la intensidad de lluvia, lo cual no es más que dividir los valores de lluvia mensual entre el número de días por mes, posteriormente dividirlo entre el número de horas por día (mm/hr), para poder introducir estos valores en la fórmula de atenuación por lluvia, según la (Recomendación UIT-R P.838-3), obteniendo como resultado la intensidad de lluvia por hora, la cual se mide en mm/hora.

## **RESULTADOS**

### **Fase I: Recopilación de los Datos de Lluvia**

En esta primera fase, se centra en la recolección de los niveles de precipitación de la localidad del Municipio San Francisco entre los años 2000 y 2015. Los mismos fueron provistos por el Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), División de Calidad de Agua, la cual poseen registros en diferentes zonas del Estado Zulia y estados foráneos, en este caso los registros de lluvia provienen de la estación meteorológica 1136 de la Alcaldía del Municipio San Francisco del Estado Zulia.

Los niveles de precipitación histórica del año 2000 hasta el 2015 vienen expresados en milímetros por mes, la misma conforma la data necesaria para realizar el cálculo de los pronósticos de lluvia mensual de los años 2016 al 2018, en la localidad del Municipio San Francisco del Estado Zulia, a través de la estación 1136, con una latitud 103343 y longitud 713836.

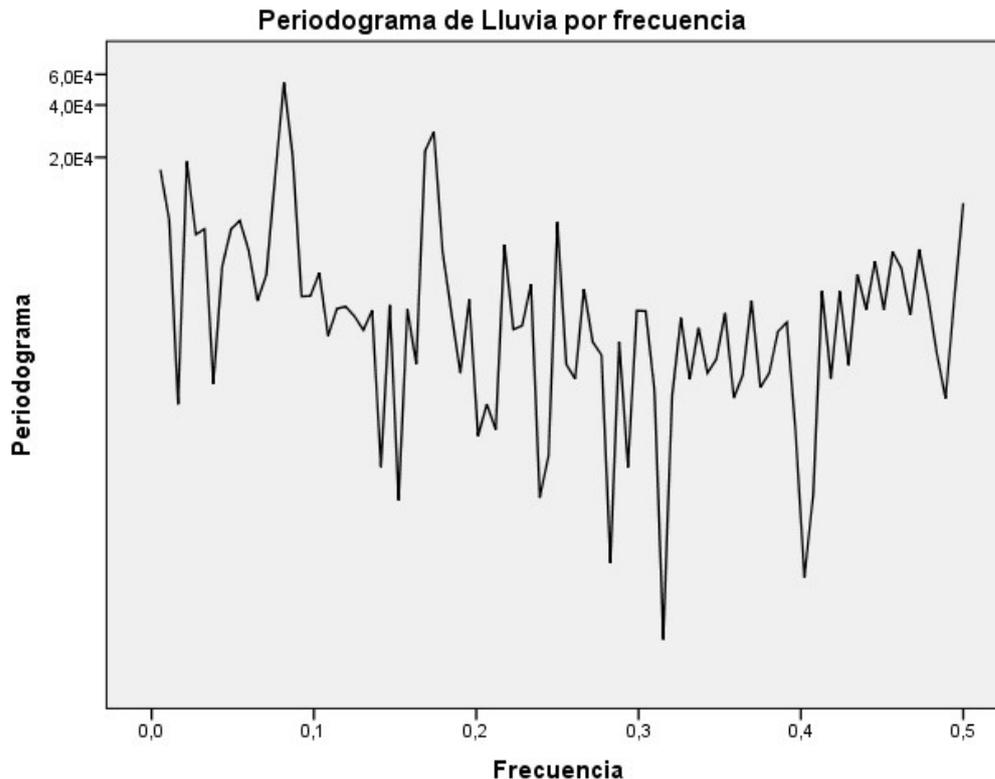
### **Fase II: Aplicación y Análisis del Método de Pronóstico ARIMA**

Esta segunda fase de la investigación, se inicia con el análisis de las series de tiempo utilizando los promedios mensuales de precipitaciones por lluvia, recopiladas a través del Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo, desde el año 2000 hasta el 2015, procediendo a realizar los cálculos para la determinación de los coeficientes óptimos y el proceso de identificación de los parámetros para la aplicación del método ARIMA. Mediante la utilización de las herramientas de software y programas estadísticos, se pudo obtener un pronóstico para el período comprendido entre el 2016 y el 2018.

### **Promedio Móvil Integrado de Auto Regresión (ARIMA)**

Para el desarrollo apropiado del método de pronóstico ARIMA, se requiere el análisis de la serie de datos reales proporcionados por el Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), siguiendo la metodología planteada por el método Box-Jenkins. Este procedimiento permitió identificar los parámetros y establecer el modelo más adecuado para lograr pronosticar los niveles de lluvia de los siguientes tres años.

Como primer paso, se determinó la existencia de estacionalidad en la serie de datos, para lo cual se generó un diagrama espectral con el software estadístico, con el propósito de establecer la frecuencia de ocurrencia de cada ciclo de lluvia; lo que se puede observar en la figura 3, en la cual se aprecia un primer pico correspondiente a la frecuencia 0,08, denotando el periodo estacional de la serie, correspondiente al inverso de la frecuencia, es decir  $1/0,08$ . Con lo cual el resultado se establece en un ciclo estacionario de 12 meses.



**Figura 1:** Diagrama Espectral para determinar la estacionalidad de la serie de datos de lluvia real  
**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Para establecer estacionalidad en la serie de datos, se calculan las medias y las varianzas a fin de determinar si las mismas varían en los diferentes años, de manera que permita establecer los próximos pasos a seguir. Los valores resultantes del cálculo de la media y la varianza son diferentes para cada uno de los años, en algunos casos aumentan y en otros disminuyen, con lo cual se puede observar que no hay estacionalidad en relación a la media y la varianza.

**Cuadro 2**

**Valores de Media y Varianza**

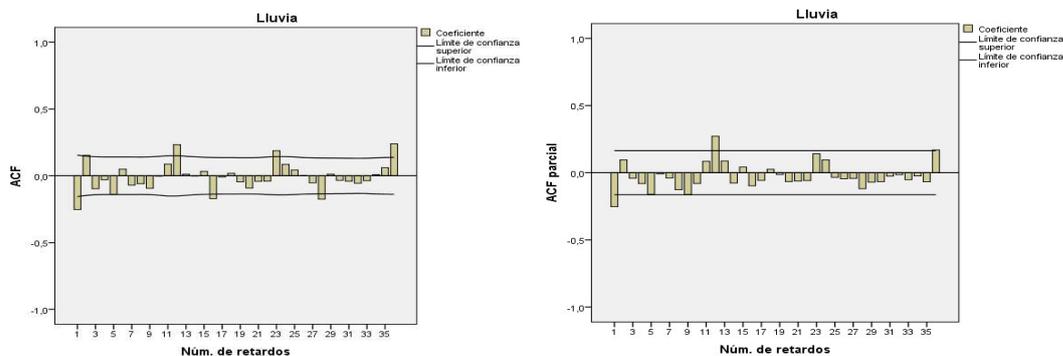
Año	Media	Varianza
2000	106,05	9226,71
2001	25,75	885,86
2002	28,37	672,78
2003	37,65	948,03
2004	63,21	5639,10

2005	25,37	539,64
2006	20,55	563,87
2007	19,63	339,71
2008	22,22	748,33
2009	32,58	1021,53
2010	27,63	780,72
2011	43,36	1378,71
2012	94,2	7445,02
2013	30,99	1383,64
2014	45,70	3131,81
2015	47,12	945,91

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Una vez establecida la periodicidad del ciclo estacionario (12 meses), las medias con las varianzas por año, se realizaron los gráficos de autocorrelación simple y parcial, que permiten identificar el método ARIMA adecuado para el método de pronóstico. Para ello se efectuaron una serie de ensayos con diferenciaciones y transformaciones, con la finalidad de comparar la distribución de los coeficientes de autocorrelación de la serie histórica.

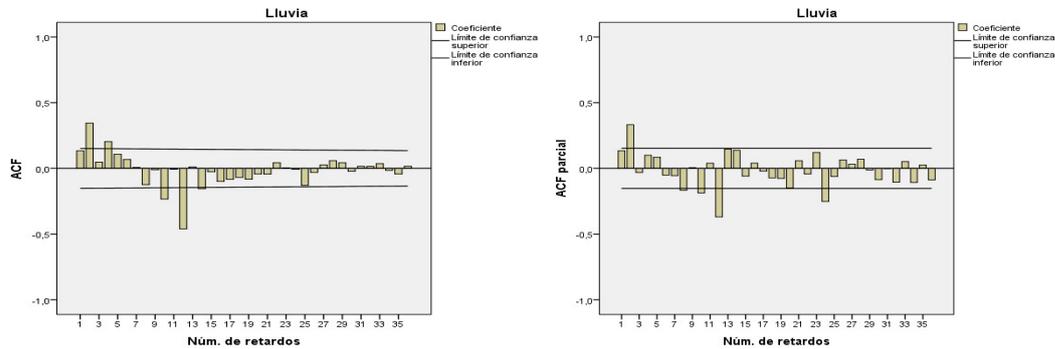
En la figura 4, se puede observar que luego de utilizar los datos de lluvia real del Municipio San Francisco del Estado Zulia aplicando transformación log natural y diferenciación en orden 1, no se visualiza un patrón válido mediante el cual se pueda identificar el modelo ARIMA apropiado, por cuanto tanto la autocorrelación simple como la parcial no decaen exponencialmente a cero, lo cual conlleva a seguir aplicando autocorrelación a fin de obtener el patrón necesario para la aplicación de los coeficientes del método.



**Figura 2:** Autocorrelación Simple y Parcial aplicando transformación log natural y diferenciar en orden 1

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

En consecuencia se debe definir otro modelo tentativo para el pronóstico que se ajuste a los patrones de autocorrelación simple y parcial, tal como lo indica la metodología Box-Jenkins. Esto conlleva a realizar un nuevo ensayo a fin de obtener un patrón identificable de autocorrelación, para lo cual se aplica diferenciar ciclo en orden 1, a fin de obtener un patrón válido para la aplicación del método ARIMA.



**Figura 3:** Autocorrelación Simple y Parcial aplicando diferenciar ciclo en orden 1  
**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

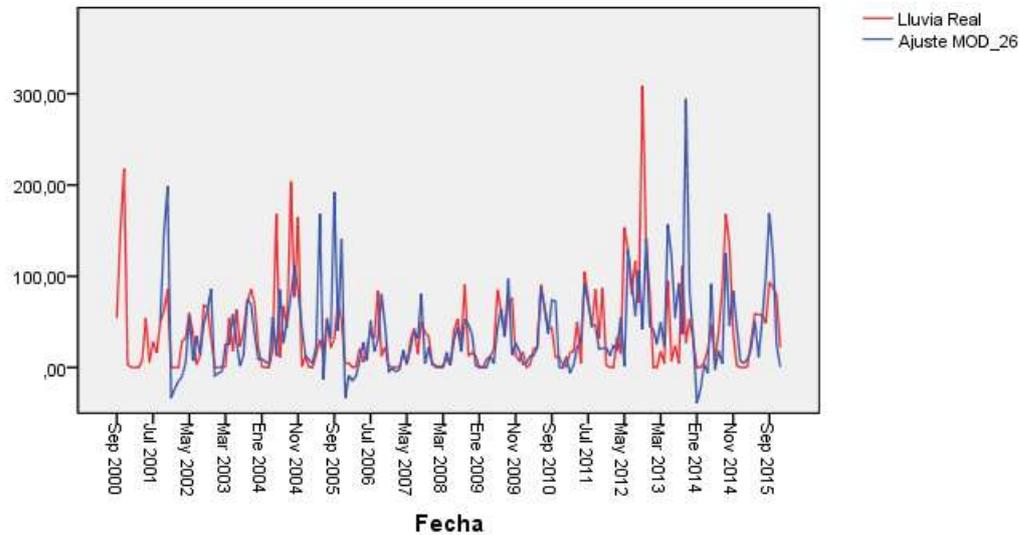
En la figura 5, se puede observar que luego de utilizar los datos de lluvia real aplicando diferenciar ciclo en orden 1, con el fin de eliminar los picos de precipitación registradas, se visualiza un patrón valido mediante el cual se puede identificar el modelo ARIMA apropiado, por cuanto tanto la autocorrelación simple como la parcial presentan una tendencia a cero en los ciclos y una significancia mayor a 0,05.

**Cuadro 3**  
**Coefficientes óptimos.**

	<b>Estimaciones</b>	<b>Error típico</b>	<b>T</b>	<b>Sig. Aprox.</b>
Retardos no estacionales AR1	.844	.127	6.711	.000
MA1	.656	.186	4.230	.001

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Teniendo el modelo ya definido, se procede a llevar a cabo una serie de ensayos para obtener el mejor conjunto de parámetros que representen el pronóstico con los datos de lluvia real del Municipio San Francisco del Estado Zulia, obteniendo como resultado el método de pronostico ARIMA (1,0,1) (0,1,0)<sub>12</sub>, debido a que tiene el menor error residual. En el cuadro 8 se presentan los coeficientes óptimos para la serie de datos.

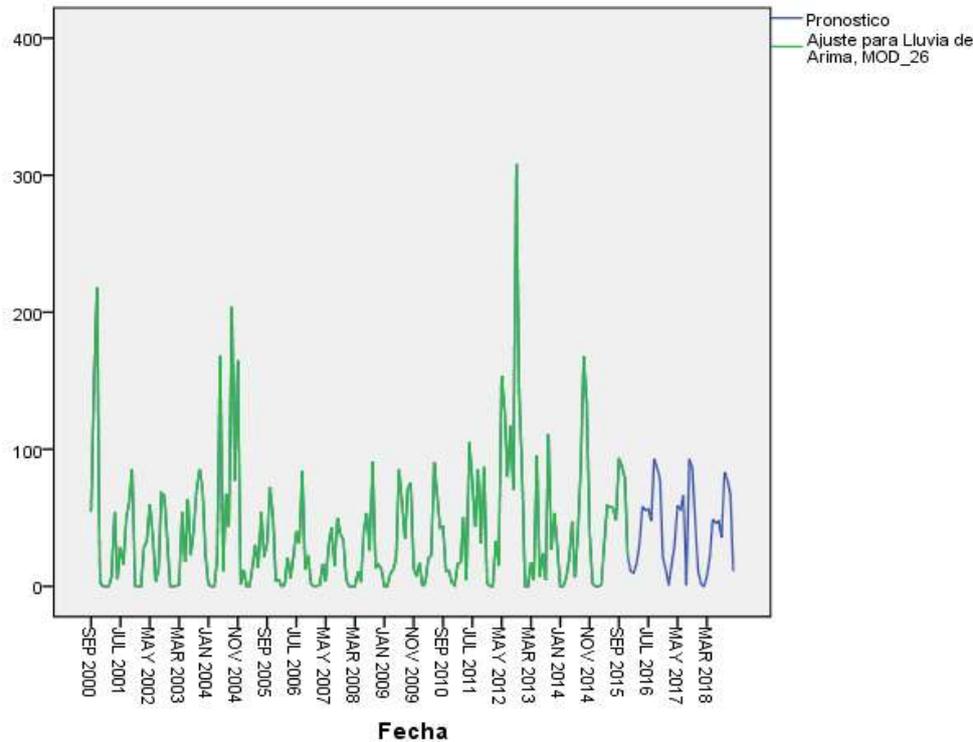


**Figura 4:** Ajuste de Modelo (Método ARIMA)

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Como se pudo observar en la figura 6, los valores pronosticados coinciden en gran medida con los valores observados, lo que indica que el modelo tiene una capacidad predictora adecuada, además se aprecia que el modelo predice los picos estacionales y representa la captura de la tendencia de los datos. Estos valores indican el grado de ajuste del modelo a los valores históricos.

Considerando los resultados anteriores, se analizan los valores de lluvia estimados a partir del modelo definido superpuestos con los valores de lluvia reales del Municipio San Francisco, representados en la figura 7, con el fin de ratificar la equivalencia entre los valores observados y los pronosticados, comprobando que se cumple la estacionalidad, ciclicidad y tendencia, tal como lo indica el método de ARIMA



**Figura 5:** Valores de lluvia real y pronosticada (Método ARIMA)  
**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Finalmente con el modelo ARIMA ya definido, tanto para la serie como para el ciclo, se realizó el pronóstico de los niveles de precipitación para los años futuros, debido a la confiabilidad y adecuación del modelo para estimar los valores en base a los registros de lluvia reales, se presentan los valores pronosticados por mes a partir de enero del año 2016 hasta diciembre del 2018 reflejados en el cuadro 9, para los mismos se emplearon los datos históricos de lluvia desde el año 2000 hasta el 2015.

**Cuadro 4**

**Valores de precipitaciones (mm) Pronosticados para el Municipio San Francisco (Año 2016 hasta 2018)**

Mes Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2016	11.00	9.75	16.56	30.61	58.26	55.54	56.39	47.41	92.85	86.70	78.37	20.91
2017	12.02	0.77	16.58	30.63	59.01	56.03	66.66	40.73	92.84	86.89	48.36	11.09
2018	1.67	0.01	7.17	21.23	48.92	46.18	47.61	35.55	83.40	77.27	67.26	10.92

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

### Fase III: Estimación de la Intensidad de Lluvia

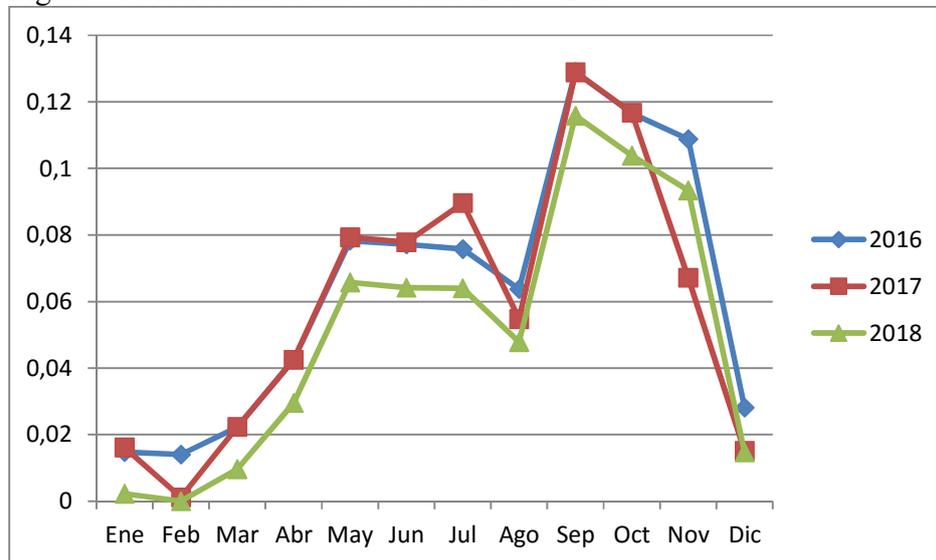
En esta fase de la investigación, se procedió a partir de los resultados obtenidos con el método de pronóstico ARIMA, a realizar la conversión de la intensidad de lluvia mm/mes a mm/hr. Este procedimiento según la norma UIT-R P.838-3, consiste en dividir los valores de lluvia pronosticados por el número de días correspondientes a cada mes, considerando los años bisiestos como el 2016, para luego dividirlo por el número de horas por día (24 horas), tal como se muestra en el cuadro 10, en donde se expresan los resultados en mm/hr.

**Cuadro 5. Datos mensuales de precipitación (mm/hora). Año 2016 hasta 2018**

<b>Año Mes</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Ene</b>	0.01478495	0.01615591	0.00224462
<b>Feb</b>	0.01400862	0.00114583	0,00001488
<b>Mar</b>	0.02225806	0.02228495	0.00963710
<b>Abr</b>	0.04251389	0.04254167	0.02948611
<b>May</b>	0.07830645	0.07931452	0.06575269
<b>Jun</b>	0.07713889	0.07781944	0.06413889
<b>Jul</b>	0.07579301	0.08959677	0.06399194
<b>Ago</b>	0.06372312	0.05474462	0.04778226
<b>Sep</b>	0.12895833	0.12894444	0.11583333
<b>Oct</b>	0.11653226	0.11678763	0.10385753
<b>Nov</b>	0.10884722	0.06716667	0.09341667
<b>Dic</b>	0.02810484	0.01517473	0.01467742

**Fuente:** Elaboración Propia (2016)

Figura 6. Pronóstico de lluvias años 2016 - 2018



Fuente: Elaboración Propia (2016)

## CONCLUSIONES

la utilización del método de pronóstico de auto regresión ARIMA derivado del empleo de la metodología Box-Jenkins, según lo señala Hanke y Reitsch (1996) utiliza un enfoque iterativo de identificación de un modelo útil, a partir de modelos generales, es decir, permite al analista seleccionar el modelo que mejor se ajuste a la serie de datos, permitiendo realizar un pronóstico ajustado a los valores de intensidad de lluvia para los períodos futuros, puesto que los valores pronosticados se corresponden al comportamiento estacional y cíclico de los niveles de lluvia del Municipio San Francisco.

Se pronostica un nivel bajo de pluviosidad con máximo de 0.14 mm para el mes de septiembre u octubre en los tres años. Se recomienda al estado venezolano y al municipio establecer políticas de fuentes alternas del recurso hídrico y realización de campañas de concientización hacia la población a efectos de un uso racional del recurso agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chapman, S. (2006). Planificación y control de la producción. Prentice Hall Hispanoamérica. México.

García, G. (2012). Pronostico de la radioatenuación troposférica por lluvia para San Antonio del Táchira del 2011 al 2013. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Bellosó Chacín.

González, M. (2009). Análisis de series temporales: Modelos ARIMA. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de País Vasco.

Hanke, J., Reitsch, A. (1996). Pronostico en los negocios. Quinta edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamérica. México.

Kelsey, R. (2011). Pronostico de radioatenuación troposférica por lluvia en Bogotá (Colombia) entre los años 2011 hasta 2014. Tesis de Maestría, Universidad Rafael Belloso Chacín.

Makridakis, S., Wheelwright, S. (2004). Métodos de pronósticos. Editorial Limusa. México.

Wilson, J; Buffa, A. (2003). Física. Pearson Educación. Quinta edición. México.