



## Pronóstico de radioatenuación troposférica por lluvia en la ciudad de mene grande del año 2016 al 2018

(Tropospheric radio attenuation forecast rain for the city of Mene Grande between 2016-2018)

**Simón Cabrera**

Productos y servicios de tecnología, C.A

[simon\\_cabrera@hotmail.com](mailto:simon_cabrera@hotmail.com)

### RESUMEN

En este trabajo de investigación se estudió el fenómeno de atenuación que se genera en la troposfera debido a la lluvia, partiendo de que sobre frecuencias mayores a 10GHz la transmisiones de radio pueden verse afectadas por este fenómeno. Es por ello, que se planteó como objetivo principal el pronóstico de la radioatenuación troposférica por lluvia para la Ciudad de Mene Grande entre los años 2016 - 2018, fundamentándose en los postulados teóricos de Cardama et al. (2004). El tipo de investigación fue de tipo predictivo, correlacional y de campo, sobre la base de un diseño no experimental. El desarrollo del estudio se dividió en 3 fases procedimentales. En la primera fase se recopilaron los datos de la estación meteorológica de la Aviación Militar Bolivariana. En la segunda fase, por medio de la metodología de Box-Jenkins, se encontró el modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA) adecuado para generar un pronóstico. En su última fase se realizó el cálculo de radioatenuación sobre los años pronosticados mediante la norma ITU-R P.838-3. Finalmente, se pudo concluir que los datos obtenidos corresponden al tipo estacionario, mostraron un patrón cíclico, siendo viable la realización del pronóstico mediante un modelo ARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 0).

**Palabras clave:** Radioatenuación, Pronóstico, Datos meteorológicos, Precipitaciones

### ABSTRACT

In this research work, the attenuation phenomenon that is generated in the troposphere due to rain was studied, based on the fact that over frequencies greater than 10GHz, radio transmissions can be affected by this phenomenon. That is why the forecast of tropospheric radio attenuation due to rain for the City of Mene Grande between the years 2016 - 2018 was proposed as the main objective, based on the theoretical postulates of Cardama et al. (2004). The type of research was predictive, correlational and field, based on a non-experimental design. The development of the study was divided into 3 procedural phases. In the first phase, data was collected from the Bolivarian Military Aviation weather station. In the second phase, through the Box-Jenkins methodology, the appropriate integrated autoregressive moving average model (ARIMA) was found, providing a forecast. In its last phase, the radio



attenuation calculation was performed on the years predicted by means of the ITU-R P.838-3 standard. Finally, it was possible to conclude that the data obtained correspond to the stationary type, they showed a cyclical pattern, being feasible to carry out the forecast using an ARIMA model (1, 0, 0) (1, 1, 0).

**Keywords:** Radio attenuation, Forecast, Meteorological data, Precipitation

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la expansión de las telecomunicaciones ha tenido un aumento exponencial debido a la necesidad de mantenerse comunicado. En el mundo entero los enlaces de radio son utilizados para brindar servicios a los usuarios; sea para conexión a internet, llamadas telefónicas, envío de mensajes, conexión en una red de área local o local area network (LAN), entre otros. Este auge del uso de las telecomunicaciones ha despertado un gran interés en el uso de dispositivos móviles para mantenerse conectado, prácticamente en cualquier lugar.

En las telecomunicaciones se realizan los enlaces a través de ondas electromagnéticas que son moduladas por distintos dispositivos para envío y recepción de datos, estas ondas electromagnéticas pueden ser afectadas por fenómenos externos, tales como los climáticos, zona de Frenzel, difracción, refracción, entre otros. Específicamente en la troposfera se crea el fenómeno de la lluvia, el cual afecta los enlaces de radio en frecuencias menores a los 10GHz es depreciable, pero en frecuencias mayores podría traer consigo una atenuación considerable de la señal transmitida.

Esta atenuación podría afectar los enlaces de envío y los de recepción, generando problemas como: pérdidas de los datos transmitidos y desconexión temporal; éste fenómeno podría afectar al enlace en cualquier punto entre los involucrados en la comunicación. De acuerdo con Cardama et al. (2004), la absorción molecular de los gases contenidos en la atmosfera y la atenuación producida por hidrometeoros, son las principales causas de la atenuación atmosférica. La atenuación por absorción de moléculas se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y de vapor de agua.

En el estado Zulia, se encuentra la ciudad de Mene Grande, nombre que significa gran emanación de petróleo, debido que en esta ciudad se encuentra el primer pozo petrolero de explotado en Venezuela. La zona es importante debido a que predominan las actividades petroleras, agrícolas, entre otras. Estas actividades económicas predominantes en la zona, se ven afectadas por un fenómeno común como lo es la lluvia; por la parte agrícola debido a que se cultivan extensos campos para la obtención de alimento, así como las actividades petroleras que necesitan tomar previsiones ante cualquier fenómeno climático que se pueda generar.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La humanidad, a través del tiempo ha tenido la necesidad de establecer comunicaciones, así como transmitir información de importancia en grandes áreas geográficas en los distintos espacios territoriales, a través de diversas formas,



estrategias y herramientas para transportar la misma, desarrollando técnicas y tecnologías para la comunicación como lo son: alámbrica, inalámbrica, satelital, entre otras. En la actualidad, con el cada día más rápido desarrollo de la tecnología y el auge de los sistemas de transmisión de información, se requieren equipos más veloces que est n conectados de forma global, con mayores capacidades de ancho de banda y una respuesta oportuna.

Los sistemas inalámbricos han tenido un gran auge en la actualidad, ya que permite realizar conexiones entre lugares que se encuentran separados por grandes distancias geográficas. Sin embargo, estas no poseen la misma confiabilidad de los sistemas alámbricos, tampoco las mismas velocidades de transmisión. Los sistemas inalámbricos se ven afectados en gran manera por fenómenos meteorológicos y/o climáticos no siendo estas sus únicas vulnerabilidades, sino también la pérdida de señal por difracción, reflexión, refracción, absorpci n, desvanecimiento, difracción por zonas de Fresnel e hidrometeoros, entre otros; fenómenos que producen un ruido considerable, lo cual puede llegar a atenuar la señal.

La atenuación por absorpci n molecular según Cardama et al. (2004), se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y vapor de agua. En frecuencias que se encuentran inferiores a 10Ghz es prácticamente despreciable, mientras que en las frecuencias superiores presenta un comportamiento creciente con la frecuencia así como la aparición de atenuación asociada a las frecuencias de resonancia de las moléculas. Además, el problema principal se presenta entre los sistemas satelitales y estaciones terrestres, ocurre cuando los datos viajan a través de la troposfera donde hay precipitaciones trayendo consigo perdidas, reducción de las potencias así como las polarizaciones de las ondas radioeléctricas.

De la misma forma, se puede agregar que dependiendo de la zona geográfica, la atenuación por lluvia puede variar por diversos factores como el tamaño de las gotas, intensidad de la lluvia y presión atmosférica. Para minimizar los efectos causados por este fenómeno, es de suma importancia conocer con anticipación cómo será su comportamiento a través del tiempo, para poder así ajustar los sistemas de las formas necesarias para que las comunicaciones se mantengan operando con el mayor rendimiento posible.

En Venezuela, las telecomunicaciones han tenido un gran impacto en la sociedad y en el desarrollo del país. Mene Grande, ubicado en el municipio Baralt del estado Zulia, Venezuela, se caracteriza por tener un clima de bosque seco tropical. Esta región es de suma importancia para el país debido a las actividades petroleras y agrícolas que allí se desarrollan, lo cual hace necesario la constante comunicación con el resto del país mediante una alta disponibilidad, ya que es fundamental para el crecimiento de la nación. En el país, las actividades petroleras generan los mayores ingresos de divisas a la nación por medio de la exportación del crudo. En Mene Grande, se encuentra uno de los primeros pozos petroleros explotados en Venezuela: el Zumaque I.

El fenómeno de radioatenuación troposférica por lluvia, podría afectar las comunicaciones en los radioenlaces que se encuentren operando en la ciudad de Mene Grande, lo que podría traer consigo perdidas a nivel económico, de información, retrasos en los tiempos de respuesta de los sistemas, falta de



convergencia en sistemas interconectados, reenvío constante de los datos por distorsiones en los mensajes causando altos niveles de latencia en las comunicaciones, entre otros.

Sobre la base de los razonamientos anteriores, se cree necesario un estudio para pronosticar el comportamiento de las lluvias en esta zona entre los años 2016 – 2018, que permita calcular o realizar una proyección de la radioatenuación por lluvia en la zona. Esta información es de vital importancia para el sector público y privado debido a que sin la misma no se podrían tomar las previsiones necesarias para los años venideros ante los fenómenos climatológicos que afectan la región, lo cual generaría servicios menos eficientes, fallas en las conexiones e interrupciones. Deteriorando de esta forma el desarrollo necesario para esta zona del país, además de sus comunicaciones con otros lugares remotos, así como el aprovechamiento de los datos de lluvia pronosticados para la zona agrícola.

### Atenuación

De acuerdo con Cardama et al. (2004), la absorción molecular de los gases contenidos en la atmosfera y la atenuación producida por hidrometeoros son las principales causas de la atenuación atmosférica, La atenuación por absorción de moléculas se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y de vapor de agua. El cual se produce en frecuencias menores a los 10 GHz siendo prácticamente despreciable, mientras que a frecuencias superiores presenta un comportamiento creciente con la frecuencia.

Según Tomasi (2003), la ley del cuadrado inverso de la radiación describe en forma matemática la reducción de densidad de potencia con la distancia de la fuente. A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo irradia la fuente que se dispersa. Esto es, la onda que se aleja cada vez más entre si y en consecuencia la cantidad de ondas por unidad de área es menor. Aunque no se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque le frente de onda se aleja de la fuente; la onda solo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad de potencia.

Pérez, Zamanillo y Casanueva (2007), precisan que en el caso de comunicaciones por onda directa a través de la atmósfera, incluyendo los radioenlaces de microondas además las comunicaciones espaciales, la onda directa puede sufrir refracciones, difracciones, dispersión, rotación del plano de polarización, entre otros. A frecuencias superiores a unos 8 GHz, puede sufrir también atenuación por lluvia y absorción por vapor de agua (alrededor de los 23 GHz) y oxígeno molecular (alrededor de los 60 GHz).

### Hidrometeoros

De acuerdo con Pérez et al. (2007) los efectos de la atmósfera sobre la propagación se deben a que la presencia de moléculas de gas, particularmente de vapor de agua, cuya constante dieléctrica es alta, causen que el aire en la troposfera tenga una constante dieléctrica ligeramente mayor que 1. Por otra parte, la densidad del aire, así como la distribución de vapor de agua varían con la altura,

por lo que la constante dieléctrica y, por consecuencia el índice de refracción varía también con la altura, por lo general disminuyendo según aumenta ésta.

Tal y como afirman Cardama et al. (2004) en cuanto a la atenuación por hidrometeoros, es especialmente importante la lluvia ya que la niebla, la nieve y el granizo producen atenuaciones mucho menores en las bandas SHF e inferiores, La atenuación por lluvia depende de diversos factores como el tipo de lluvia, la velocidad de las gotas y el tamaño de las gotas de agua. La lluvia causa una importante atenuación en las frecuencias superiores a 1GHz.

La atenuación total producida por la lluvia, se obtiene multiplicando la atenuación específica por la longitud de la celda de la lluvia. En la planificación de un servicio el efecto de la lluvia debe considerarse de forma estadística teniendo cuenta la probabilidad de que cierta intensidad de lluvia ocurra y sobredimensionando el sistema de forma que la atenuación adicional no afecte la transmisión. Para aplicaciones prácticas la atenuación específica de la lluvia puede calcularse como:

$$\gamma_R = KR^\alpha \text{ (dB/km)} \quad (1)$$

Dónde:

R= Intensidad de lluvia en mm/h

K y  $\alpha$  = función de frecuencia para polarización horizontal y vertical

Cuadro 1

*Coefficientes para estimar la atenuación específica de la*

*lluvia*

FRECUENCIA (GHz)	$K_H$	$K_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
30	0,187	0,167	1,021	1,000
40	0,350	0,310	0,939	0,929

Fuente: Cardama et al (2004)

La relación entre la atenuación específica oscila entre 1,05 y 1,35 dB para cada polarización en el margen de frecuencias entre 10 y 80 GHz. En el cuadro 1, se muestra el valor de los parámetros K y  $\alpha$  para distintas frecuencias para cada polarización. En la figura 1, se presentan los resultados de la curva de comportamiento de la ecuación 1, suponiendo que las gotas de lluvia son esféricas, se nota que en las frecuencias inferiores a los 100GHz la atenuación aumenta al aumentar la frecuencia, hasta alcanzar un máximo a partir del que disminuye levemente para mantener un valor constante.



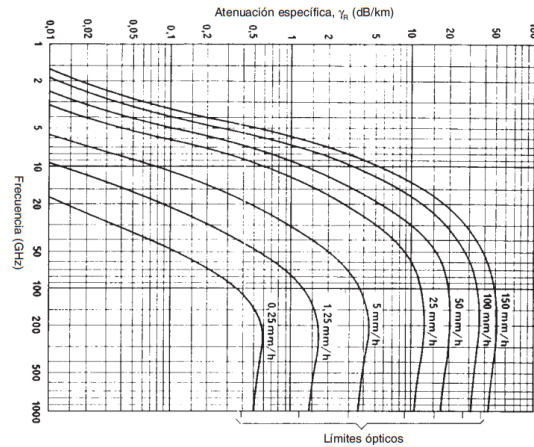


Figura 1. Atenuación específica debida a la lluvia.  
Fuente: Cardama et al. (2004)

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2005), en su recomendación P.838-3, Modelo de la atenuación específica debido a la lluvia, para los métodos de predicción considera que es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia a partir de valores de intensidad conocidos. La atenuación específica se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia  $R$  (mm/h) mediante la ley de potencia mencionada anteriormente en la ecuación 1.

$$\log_{10}k = \sum_{j=i}^4 a_j \exp \left[ - \left( \frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k \quad (2)$$

Los valores de los coeficientes  $K$  y  $\alpha$  se determinan en función de la frecuencia,  $f$  (GHz), en la gama de 1 a 1000 GHz, a partir de las ecuaciones siguientes, que se han obtenido mediante el ajuste de las curvas a los coeficientes de las ley potencial derivados de cálculos de dispersión, siendo las formulas (2) y (3), para el cálculo de la polarización lineal, circular así como para cualquier geometría de trayecto.

$$\alpha = \sum_{j=i}^5 a_j \exp \left[ - \left( \frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha \quad (3)$$

Dónde:

$f$ : Frecuencia (GHz)

$k$ : puede ser  $k_h$  o  $k_v$

$\alpha$ : puede ser  $\alpha_H$  o  $\alpha_v$



## METODOLOGÍA APLICADA

Según Tamayo y Tamayo (2009), una investigación de campo está definida como aquellas donde se recogen los datos directos de la realidad o campo de acción, reconociéndose los datos como primarios ya que su valor se obtiene en las condiciones normales de funcionamiento o datos en el verdadero momento que se ejecuta la acción, lo cual facilita su revisión. Cabe destacar, que esta investigación tuvo como objetivo pronosticar la radioatenuación troposférica, en la cual se observaron los datos registrados históricamente a través del tiempo en el lugar donde se encontraban, específicamente en la estación meteorológica donde fueron obtenidos de la realidad, facilitando su revisión y verificación de los mismos.

De acuerdo con los postulados de Hurtado (2010) este estudio fue de tipo predictivo, ya que se interesó, luego de conocer las condiciones previas de funcionamiento, en anticipar el comportamiento futuro de las mismas en condiciones normales, lo que quiere decir, que existe un pronóstico de funcionamiento que pudo explicarse a detalle. Para ello se tomaron datos entre el periodo de 2005 y 2015, los cuales se procesaron a con el fin de obtener el conocimiento de cómo aproximadamente sería el comportamiento climatológico en los años venideros y así, posteriormente, se obtuvieron los niveles de radioatenuación.

Gómez (2006) expone que una vez construido el marco conceptual, se decide el enfoque que habrá de adaptarse para la investigación y definido el alcance inicial del estudio, el investigador debe concebir la manera práctica concreta de responder a las preguntas que se ha planteado y cumplir sus objetivos. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación para aplicarlo(s) al contexto particular de su estudio. El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desee.

Según Tamayo y Tamayo (2009) el diseño de la investigación es la base de la planificación; de él resultan las distintas etapas que hay que seguir y lo que hay que hacer en cada una de ellas. Por este motivo, es absolutamente indispensable para la planificación de un proyecto plantear desde el principio el contenido de todas las etapas del diseño de la investigación, sobre todo, concretando en la medida de lo posible la técnica de recopilación de datos que se utilizara.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) exponen que una investigación no experimental se realiza sin manipular deliberadamente variables; es decir, se trata de estudios donde no se hace variar de forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. De allí que, esta investigación se considera de tipo no experimental, puesto que se observó el fenómeno tal como ocurre en su contexto natural, en este caso la precipitación. En ese sentido, el cálculo del pronóstico de radioatenuación se basó en los datos obtenidos desde la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Mene Grande, la cual es administrada por la Aviación Militar Bolivariana (2016).

Por otra parte, según explican Hernández et al. (2014) la unidad de análisis de una investigación está compuesta por individuos, organizaciones, periódicos, comunidades, situaciones, eventos, entre otros. Para efectos del presente estudio, se consideró como unidad de análisis las precipitaciones expresadas en milímetros de lluvia (mm) durante un periodo preestablecido.



## FASES DE LA INVESTIGACIÓN

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

En esta fase se recabaron u obtuvieron los datos relacionados a los objetivos de la investigación, los cuales se interpretaron y analizaron para obtener una respuesta a las interrogantes planteadas. Estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Mene Grande. Los valores suministrados estuvieron comprendidos desde enero de 2005 hasta diciembre de 2015, en milímetros de lluvia por mes.

En las medidas de precipitación en milímetros de lluvia por mes mostradas en el cuadro 2, proporcionado por la Aviación Militar Bolivariana de la ciudad de Mene Grande, se puede observar el aumento y disminución de las precipitaciones por mes en cada periodo. Estos valores son necesarios para realizar el pronóstico y el cálculo de la radioatenuación troposférica.

Cuadro 2

*Medidas de precipitaciones mensuales en mene grande*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	90	85	6	39	212	126	140	104	192	462	220	138
2006	41	2	205	232	285	101	186	172	219	229	46	54
2007	6	3	98	77	98	34	120	346	82	130	84	78
2008	53	44	70	28	44	112	72	193	314	210	199	90
2009	142	52	175	125	159	116	31	67	112	95	146	60
2010	107	32	92	131	211	205	219	190	49	63	274	197
2011	45	29	88	306	94	240	129	239	172	245	232	200
2012	11	25	75	198	130	55	60	93	72	241	104	18
2013	0	30	118	102	148	62	148	48	229	162	180	30
2014	7	0	0	54	60	25	48	227	106	284	44	13
2015	13	30	56	120	64	12	84	67	83	85	160	20

Fuente: Aviación Militar Bolivariana (2016)

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

En la presente fase se llevó a cabo el análisis de los datos obtenidos con la ayuda del software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) como herramienta de apoyo, comenzando el procedimiento a través de un periodograma mediante el cual, se pudo determinar la presencia de estacionariedad en la serie de datos, luego se realizó cálculo de media y varianza para determinar la existencia de estacionariedad mediante la comparación de valores anuales.

Seguidamente, se realizaron las gráficas de autocorrelación simple y parcial, utilizando la metodología de Box Jenkins de modo que se pudiera determinar un modelo viable u óptimo para la aplicación de ARIMA, a fin de obtener un pronóstico más acertado o adecuado a los parámetros obtenidos por medio de las gráficas de autocorrelación, para determinar si poseía un coeficiente AR, MA o ARMA o si se debía hacer una diferenciación de los datos, en su parte simple y estacionaria.





### Fase III Determinación de los niveles de radioatenuación troposférica

Como lo expresa Hanke y Dean (2006), la metodología Box-Jenkins está compuesta de estaciones primordiales, que se deben seguir para realizar un pronóstico. La primera etapa es la identificación del modelo, la segunda consiste en la estimación de modelo y prueba adecuada para finalizar en la tercera, en el pronóstico con el modelo. Es importante realizar cada una de las etapas de forma adecuada para obtener resultados óptimos, en lo siguiente se explicara con más detalle cada una de las estaciones.

En la primera etapa que es la identificación del modelo, se debe determinar si la serie es estacionaria, es decir si el valor de la media varia a través del tiempo, si esta no es estacionaria se puede convertir en una serie estacionaria mediante el método de diferenciación. El analista, especifica el grado de diferenciación y el algoritmo de Box Jenkins, lo convierte en una serie estacionaria.

Una vez obtenida la serie estacionaria, se debe identificar la forma del modelo a utilizar, lográndose mediante la comparación de coeficientes de autocorrelación simple y parcial de los datos a ajustar con las correspondientes distribuciones de los diversos modelos ARIMA. En términos generales, se debe identificar las autocorrelaciones que caen exponencialmente a cero. Si las autocorrelaciones descienden exponencialmente a cero, el proceso indicado es el AR; si son las correlaciones parciales las que descienden a cero entonces el proceso indicado es el MA; y, si tanto los coeficientes de autocorrelación, como los coeficientes de autocorrelación parcial descienden a cero, el indicado es un proceso mixto ARIMA.

En la segunda etapa, luego de seleccionar el modelo tentativo se deben estimar los parámetros; antes de usar el modelo para pronosticar se debe verificar si es adecuado; verificación que puede realizarse revisando que las autocorrelaciones de los términos de error para estar seguros de que no son diferentes de cero en forma significativa. Si algunos retrasos de orden menor o estacional son diferentes de cero de manera significativa, entonces el modelo resulta inadecuado, se debe regresar a la etapa 1, para seleccionar un modelo alternativo.

En la tercera etapa, una vez encontrado el modelo adecuado, se pueden realizar pronóstico para uno o varios periodos a futuro, también se pueden formular intervalos de confianza sobre estas estimaciones. En general, entre más a futuro se pronostica, mayor será el intervalo de confianza. Estos pronósticos e intervalos de confianza se calculan mediante el programa de Box Jenkins. Al haber más datos disponibles, se puede utilizar el mismo modelo para revisar pronósticos; si la serie parece cambiar a través del tiempo podría ser necesario recalcular los parámetros o incluso desarrollar un modelo nuevo por completo.

### RESULTADOS DE LOS PRONÓSTICOS

El procesamiento los datos obtenidos, se inició con el análisis de las series de tiempo, para lo se utilizó el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS) en su versión 23 como herramienta de apoyo, con la finalidad de obtener un pronóstico comprendido entre enero de 2016 y diciembre de 2018. Luego se

procedió a realizar los cálculos para determinar los coeficientes óptimos y parámetros aplicados al método ARIMA, siguiendo la metodología de Box-Jenkins para obtener una ecuación que se adecue a la predicción.

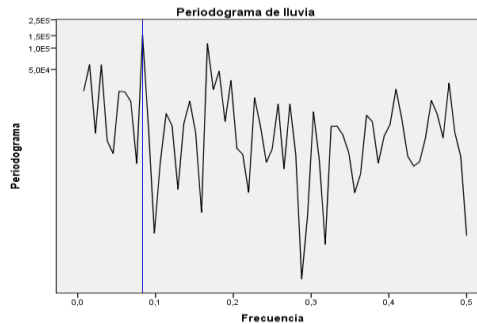


Figura 2. Periodograma para las precipitaciones en la zona de Mene Grande entre 2005 y 2015  
Fuente: Elaboración Propia (2016)

Como primer paso, se realizó el periodograma mostrado en la Figura 2, que determino la presencia de estacionalidad en la serie de datos; se observa que el primer pico se encuentra ubicado en la frecuencia 0.0834, lo que determina el ciclo estacionario por medio del inverso del valor, el cual es igual a  $1 / 0.0834 = 11,990$ . Como resultado se obtiene un valor aproximado a 12 el cual representa la periodicidad, es decir, la cantidad de meses en las cuales se repite un ciclo.

Para continuar, se calcularon las medias y varianzas de los años sobre los datos obtenidos para determinar la estacionariedad. En el cuadro 3, se observa el cálculo realizado, donde se determina que los valores de las medias aumentan y disminuyen en cada uno de los periodos sin mantener similitud, de modo que se puede establecer estacionariedad en cuanto a estos valores obtenidos.

Cuadro 3  
Media y varianza anual de las precipitaciones  
en la ciudad de mene grande

Años	Media	Varianza
2005	151,1667	13786,697
2006	147,6667	8809,879
2007	96,3333	7805,152
2008	119,0833	7960,811
2009	106,6667	2114,242
2010	147,5000	6171,364
2011	168,2500	8016,386
2012	90,1667	4963,061
2013	104,7500	5045,295

2014	72,3333	8384,970
2015	66,1667	1997,061

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Al establecer los ciclos estacionarios de 12 meses, se recurre al empleo de gráficas de autocorrelaciones simples (ACF) y parciales (AFP), las cuales tienen como criterio establecer una correlación entre los picos de la gráfica que deben descender con una tendencia exponencial a cero en los retardos, lo cual permitió hacer una estimación el modelo de ARIMA adecuado para el cálculo del pronóstico.

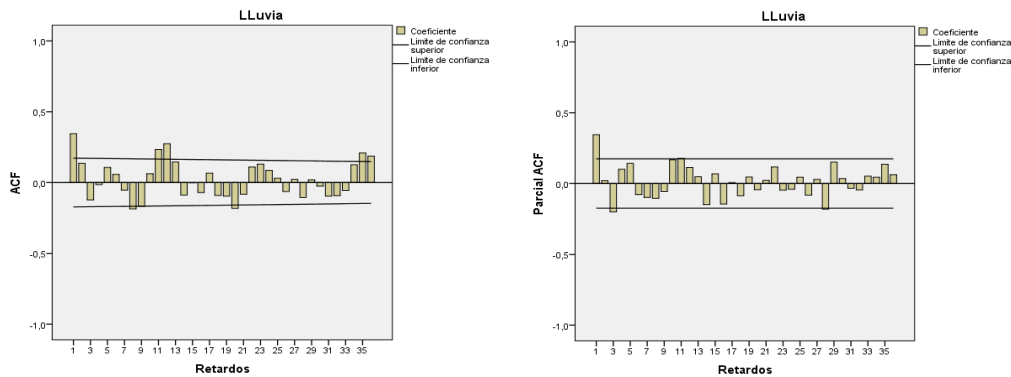


Figura 3: Autocorrelación simple y parcial sin adicionar modificadores. Fuente: Elaboración Propia (2016).

En la figura 3, se observó un comportamiento sinusoidal en la gráfica de autocorrelación simple, y un pico significativo en la gráfica de autocorrelación parcial, lo que sugirió una componente en AR, en el modelado de ARIMA, luego se realizó una autocorrelación con diferenciación estacionaria de orden 1, para verificar los parámetros estacionarios de la serie.

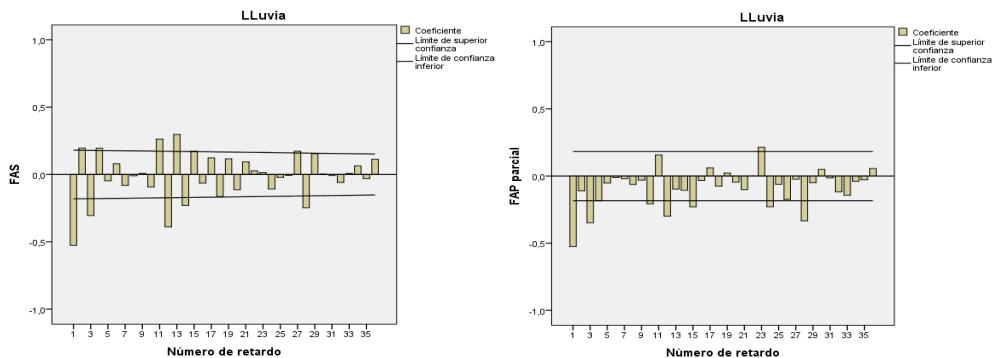


Figura 4: Autocorrelación simple y parcial con diferenciación y diferencia estacionaria de orden 1. Fuente: Elaboración Propia (2016)

En la figura 4 se observa como en la autocorrelación simple decrece exponencialmente hacia cero en los ciclos, mostrando componentes en AR según los retardos significativos en la correlación parcial. De acuerdo con lo planteado anteriormente, estas gráficas de correlación sugerirían un ARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 0), para los criterios de modelado de coeficientes de predicción.

Cuadro 4  
*Coefficientes óptimos*

		Estimación	SE	t	Sig.
AR	Retardo 1	,220	,090	2,441	,016
AR, estacional	Retardo 1	-,396	,088	-4,527	,000

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Seguidamente, se empezó con el modelado de ARIMA realizando pruebas con los coeficientes así como lo indica Hanke y Dean (2006), para encontrar el que se ajuste más al modelo. En el cuadro 4, se observaron los coeficientes ajustados para el modelo ARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 0), haciendo énfasis en la variable de *significancia*, su valor se encuentra por debajo de 0,05 estableciendo un buen límite de confianza, lo cual sugiere que los parámetros son correctos.

Cuadro 5  
*Ajuste estadístico ARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 0)*

Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo	Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
	R cuadrado estacionaria	Estadísticos	GL	Sig.	
0	,150	31,541	16	,011	0

Fuente: Elaboración Propia (2016)

De la misma forma, al analizar el cuadro 5 se aprecia que la variable estacionaria R cuadrada posee un valor de 0.15, lo que indica un buen ajuste al modelo, así como un valor de significancia por debajo de 0,05. Por lo tanto, se procede a mostrar los datos del pronóstico por medio de una gráfica superponiendo los valores reales con los predichos, los cuales mantienen una similitud y una correspondencia cíclica en el paso del tiempo.

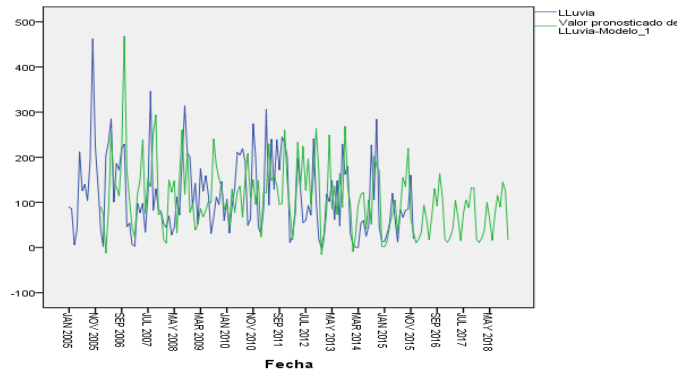


Figura 5: Datos reales de lluvia y valores predichos.  
Fuente: Elaboración Propia (2016)

Los valores obtenidos por medio del pronóstico de ARIMA durante el período comprendido entre 2016-2018, se encuentran expresados en mm/mes; para continuar con el cálculo de la radioatenuación troposférica por lluvia, se transformaron estos datos a mm/hora. Para ello se aplicó el valor de mm/mes dividido entre la cantidad de horas por los días que posee el mes correspondiente.

Cuadro 6  
*Precipitación por mes y precipitación por hora*

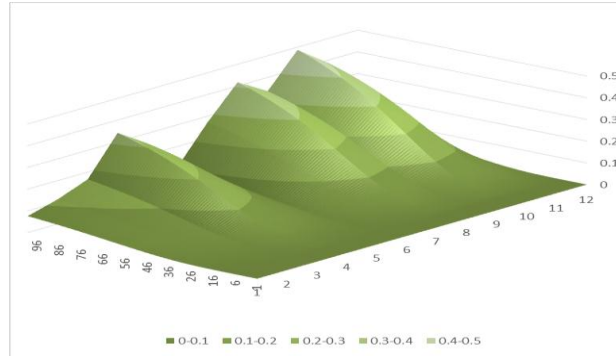
Mes	2016 (mm/mes)	2016 (mm/hora)	2017 (mm/mes)	2017 (mm/hora)	2018 (mm/mes)	2018 (mm/hora)
1	10,68	0,014354839	11,6	0,015591398	11,24	0,015107527
2	18,12	0,026034483	22,83	0,032801724	20,97	0,03012931
3	33,81	0,045443548	42,6	0,057258065	39,12	0,052580645
4	93,85	0,130347222	104,21	0,144736111	100,1	0,139027778
5	62,41	0,083884409	63,04	0,084731183	62,79	0,084395161
6	17,15	0,023819444	15,11	0,020986111	15,92	0,022111111
7	69,73	0,093723118	75,39	0,101330645	73,15	0,098319892
8	130,41	0,175282258	105,28	0,141505376	115,24	0,154892473
9	92,11	0,127930556	88,5	0,122916667	89,93	0,124902778
10	163,86	0,220241935	132,61	0,178239247	144,99	0,194879032
11	114,03	0,158375	132,25	0,183680556	125,03	0,173652778
12	17,2311	0,023158602	<b>18,33</b>	0,024637097	17,89	0,024045699

Fuente: Elaboración Propia (2016)

Los datos obtenidos sobre las precipitaciones por mes y por hora, ser observan en el cuadro 6 con el cálculo de radioatenuación troposférica, con un ángulo de elevación de trayecto de 90°, en las frecuencias de radio comprendidas entre 1Ghz y 100Ghz, utilizando la recomendación IUT-R P.838-3 (IUT, 2005) como guía de cálculo para la utilización de coeficientes y formulas correspondientes al cálculo de



atenuación específica debida a la lluvia, obteniendo valores en dB/Km, correspondientes a cada frecuencia por mes.

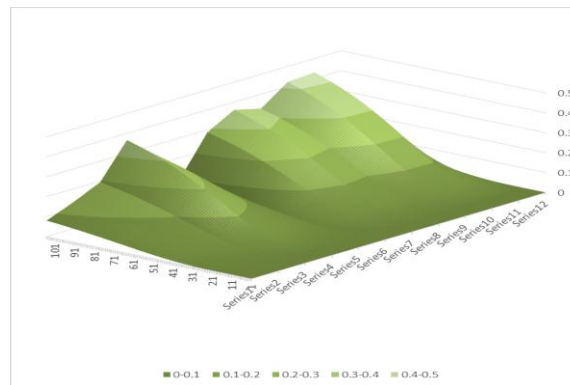


*Figura 6:* Radioatenuación por lluvia para la ciudad de Mene Grande para el año 2016.

Fuente: Elaboración Propia (2016)

En la figura 6 se observa que el fenómeno de radioatenuación por lluvia empezó a afectar a las comunicaciones cuando se encontraba por encima de los 10GHz, así como lo expresa Cardama et al (2004), siendo 0,001816562 dB/Km en el mes de octubre, con una precipitación mensual de 163,83 o su equivalente de 0,22 de precipitación por hora.

Así mismo, se puede observar un aumento drástico en frecuencias mayores a los 100 GHz llegando hasta picos de 0,48 dB/Km en el mes de octubre, a diferencia de los meses de enero y febrero que muestran una radioatenuación más baja en el rango de 0,07 dB/Km, que corresponden a la relación que poseen la cantidad de milímetros de precipitación y radioatenuación en la ciudad de Mene Grande.



*Figura 7:* Radioatenuación por lluvia para la ciudad de Mene Grande para el año 2017.

Fuente: Elaboración Propia (2016)

La radioatenuación pronosticada para el año 2017, se observó que el mes con menor radioatenuación para frecuencias iguales o mayores a 100GHz fue el mes de enero con un valor de 0,08 dB/Km, al contrario del mes de noviembre con un precipitación hora 132,25 y con un valor de 0,43 dB/Km, así como lo expresa Pérez et al. (2007), y mostrando de igual forma que la atenuación es depreciable para frecuencias inferiores a los 10 GHz.

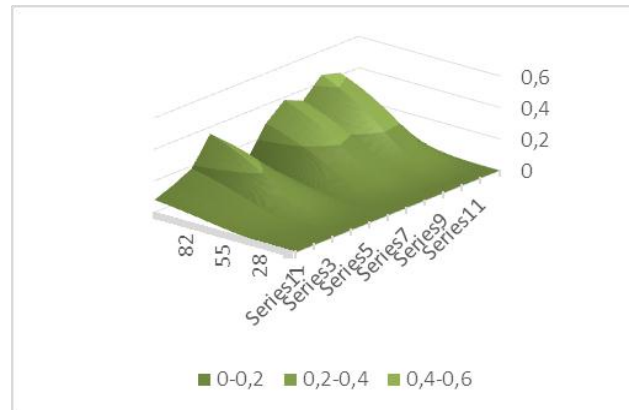


Figura 8: Radio atenuación por lluvia para la ciudad de Mene Grande para el año 2018.

Fuente: Elaboración Propia (2016)

La figura 8 muestra los niveles de radioatenuación para el año 2018, con valores desde los 0,000101 dB/Km en frecuencias a los 10 GHz y hasta los 0,44851318 dB/Km en frecuencias iguales a los 100GHz, los cuales varían respectivamente en los meses con mayor y menor precipitación. En los meses de enero con una precipitación por hora 0,01510753 como menor cantidad de precipitación y el mes de octubre con 0,44851318 de precipitación por hora.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y las experiencias adquiridas por medio del empleo de herramientas de cálculo como SPSS y Matlab, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

Para obtener los datos en el periodo entre 2005 y 2015, se recurrió al servicio de meteorología de la Aviación militar Bolivariana, la cual proporcionó los datos como fuente confiable. Para el análisis de los datos se utilizó el método de Box Jenkins, mediante el cual se logró establecer un análisis de las autocorrelaciones, encontrando un comportamiento correspondiente al buscado.

Mediante este análisis de las autocorrelaciones simples y parciales, específicamente se pudo demostrar que los índices para el cálculo de ARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 0), son adecuados para la predicción de lluvia para los años venideros en la ciudad de Mene Grande, corroborando estos cálculos con los valores brindados por el análisis de los coeficientes según el algoritmo de Box Jenkins.



Finalmente, los valores obtenidos se transformaron de precipitación mes a precipitación hora. Seguidamente, mediante el empleo de la Norma de ITU-R P.838-3 se obtuvieron los coeficientes necesarios para el aplicación de la fórmula de cálculo de radioatenuación por lluvia, operación cuyo resultado fue que a partir de los 10 GHz de frecuencia se empieza a notar un aumento considerable de la radioatenuación por lluvia, brindando como resultado datos de gran importancia para para el diseño, planificación y acondicionamiento de sistemas de comunicaciones.

### RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de la investigación, se puede recomendar a la Aviación Militar Bolivariana desarrollar un sistema WEB para el fácil acceso a la información de precipitación, así como otros elementos pertinentes referidos a la misma temática. El establecimiento de tiempos de reparación cortos y atención rápida a los equipos de meteorología, para mantener los registros los más actualizados posible.

Se recomienda a las estaciones meteorológicas de la Aviación Militar Bolivariana, la publicación de los datos publicados en las tesis de radioatenuación troposférica en las distintas zonas del país, para la previsión, planificación y desarrollo de proyectos de todo tipo. También, la propagación de la información en las zonas donde se realizan estos estudios, ya que es una información valiosa que beneficia a las comunidades involucradas.

Se recomienda a la Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín, así como al departamento de Telemática, seguir incentivando la realización de pronósticos en otras zonas del país y el cálculo de radioatenuación troposférica por lluvia, para la previa publicación de los datos, análisis, metodología utilizada y conclusiones que traen consigo un aporte a las ciudades involucradas.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aviación Militar Bolivariana (2016). Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/147300/Clima-promedio-en-Mene-Grande-Venezuela-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Cardama, A., Jofre, L., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S. y Ferrando, M. (2004). *Antenas*. México: Alfaomega.
- Gómez, M. (2006), *Introducción a la metodología de la investigación Científica*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Hanke, J. y Dean, W. (2006) *Pronósticos en los negocios*. Front Cover: Pearson Educación,. Business forecasting
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.



- Hurtado, J. (2010). *El proyecto de investigación: Compresión holística de la metodología y la investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Quirón, Sypal.
- Pérez, C., Zamanillo, J. y Casanueva, A. (2007). *Sistemas de Telecomunicaciones Textos Universitarios*. Universidad de Cantabria. ISBN 978-84-8102-454-8.
- Tamayo y Tamayo, M. (2009). *El proceso de la investigación científica*. México: Editorial Limusa.
- Tomasi, W. (2003). *Sistema de Comunicaciones Electromagnéticas*. México: Pearson Educación.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (2005). *Recomendación UIT-R P.838-3 Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción*. Recuperado de: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf)