



RADIOATENUACIÓN TROPOSFÉRICA PRONOSTICADA PARA DIFERENTES ÁNGULOS DE ELEVACIÓN PARA MENE GRANDE ENTRE EL PERIODO 2010-2013

(Tropospheric radio attenuation forecast for different elevation angles for Mene Grande between 2010-2013)

Recibido: 07/07/2011 Aceptado: 15/11/2011

Ramírez, José

Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n, Venezuela

jlra@hotmail.com

Durante, Carlos

Universidad del Zulia, Venezuela

durincarlos@gmail.com

RESUMEN

La finalidad de esta investigación es pronosticar la radioatenuación troposférica por lluvia con distintos ángulos de elevación para la localidad de Mene Grande entre los años 2010-2013, utilizando los datos históricos de precipitaciones para períodos anuales posteriores, obtenidos a partir de un método de pronóstico para series temporales. El estudio está desarrollado en cuatro (4) fases, iniciando por la recopilación de los niveles de precipitación a través del departamento de Climatología de la Aviación Militar Bolivariana de Venezuela; seguido por la aplicación del método de pronóstico de Promedio Móvil Integrado de Auto Regresión (ARIMA) para pronosticar la intensidad de lluvia del 2010-2013. Seguidamente, se calcula la radioatenuación troposférica, valiéndonos del modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción de la recomendación UIT-R P.838-3, con ángulos de elevación desde 15  hasta 30 . Finalmente, se analizan gráfica y estadísticamente los resultados, para determinar la incidencia del ángulo de elevación en la radioatenuación de la señal. Esta investigación con modalidad predictiva y expofacta, considerada según su diseño no-experimental y longitudinal, concluyó que los niveles de precipitación de la zona se incrementan en los meses de octubre, con niveles promedio de 0,30 mm/hr y 2,62 dB/km de radioatenuación de la señal. El análisis de los resultados no mostró incidencia de la atenuación de la señal con respecto al ángulo de elevación, indicando que la recomendación UIT-R P.838-3 solo considera la polarización circular, sin tomar en cuenta las polarizaciones lineal y elíptica para determinadas frecuencias

Palabras clave: Pronóstico, Radioatenuación, Lluvia, Atmósfera, Troposfera, Mene Grande, ARIMA.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to predict the tropospheric radio attenuation by rain with different angles of elevation for the location of Mene Grande between the years 2010-2013; using rainfall historical information to forecast annual periods from a method for temporary series. The study is developed in four (4) phases, initiating with the rainfall's



levels summary from the Bolivarian Military Aviation of Venezuela Climatology Department; followed by the application of autoregressive integrated moving average (ARIMA) to predict the rain intensity from 2010-2013. Then, the tropospheric radio attenuation is calculated using the specific attenuation model for rain which is applied in the prediction methods recommendation IUT-R P.838-3, with elevation angles from 15° up to 90°. Finally, the graphical and statistical analysis results were analyzed in order to determine the incidence of the elevation angle to the signal radio attenuation. This investigation modality is predictive and field-type, its design is considered to be non-experimental and longitudinal. As a conclusion, the rainfall levels of the studied zone normally increase in October, with average levels of 0,30 mm/hr and 2,62 dB/km of signal radio attenuation. The results of the analysis did not show dependence of signal attenuation with the elevation angle, indicating that the recommendation UIT-R P.838-3 considers only the circular polarization, without bearing in mind the linear and elliptical polarizations for certain frequencies.

Keywords: Forecast, Radio attenuation, Rain, Atmosphere, Troposphere, Mene Grande, ARIMA.

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones son un elemento primordial que ha caracterizado al hombre a lo largo de su existencia, la evolución y desarrollo de las mismas ha permitido la transmisión de grandes cantidades de datos e informaciones en distintos formatos y necesidades.

Sin embargo, el medio idóneo para la propagación de las comunicaciones electromagnéticas es la atmósfera, permitiéndoles ser rentables y eficientes en el logro de sus objetivos, pero a su vez, trae consecuencias que influyen en el buen desenvolvimiento de dichas comunicaciones, como lo son los fenómenos meteorológicos.

La lluvia, niebla y el granizo pueden alterar las ondas electromagnéticas deformándolas o alterándolas ocasionando retransmisiones, pérdida de información e inclusive pérdida de la misma señal.

Es por ello, que la presente investigación analizará la radioatenuación troposférica pronosticada en distintos ángulos de elevación, para la localidad de Mene Grande entre los años 2010 al 2013, donde se pretende determinar como la variación del ángulo de elevación de los enlaces de las transmisiones puede influir favorablemente en la efectividad de las mismas. Por tales motivos, para el alcance de los objetivos propuestos de la presente investigación, se ha estructurado su desarrollo en las siguientes fases:

Primera fase, se hace el planteamiento del problema, estableciendo los efectos de radioatenuación troposférica de la señal sobre los enlaces de telecomunicaciones. Además, son presentados los objetivos de la investigación, los procedimientos para su desarrollo y la obtención de los resultados, justificando el proyecto desde la perspectiva teórica, práctica y metodológica. Concluyendo con la delimitación de la investigación.



Segunda fase, sobre el cual se establece el marco referencial de la investigación conformado por sus antecedentes, sus bases teóricas y la definición conceptual y operacional de las variables en estudio.

Tercera fase, donde se define tanto el tipo de investigación como su diseño, las unidades de análisis y muestreo utilizados, así como las fases para el desarrollo de la misma hasta llegar a la obtención de los resultados.

Cuarta fase, contendrá el análisis de los resultados obtenidos, así como las conclusiones relacionadas a estos, para finalizar con las recomendaciones sugeridas por parte del investigador con relación a los resultados obtenidos, el material bibliográfico utilizado y sus respectivos anexos.

1. BASES TEÓRICAS

PROPAGACIÓN DE RADIOFRECUENCIAS

Según lo expuesto por Cardama y otros (2004), las transmisiones basadas en ondas electromagnéticas, deben poseer una relación óptima de señal - ruido, que le permitan satisfacer efectivamente servicios como radiocomunicaciones, radiodifusiones, radiolocalizaciones, etc.

EFFECTO DE LA TROPOSFERA Y LA RADIOATENUACIÓN

Cuando se establecen radiocomunicaciones en la troposfera, las ondas electromagnéticas se ven obstaculizadas, perturbadas o deformadas por una serie de fenómenos que alterna sus condiciones de propagación.

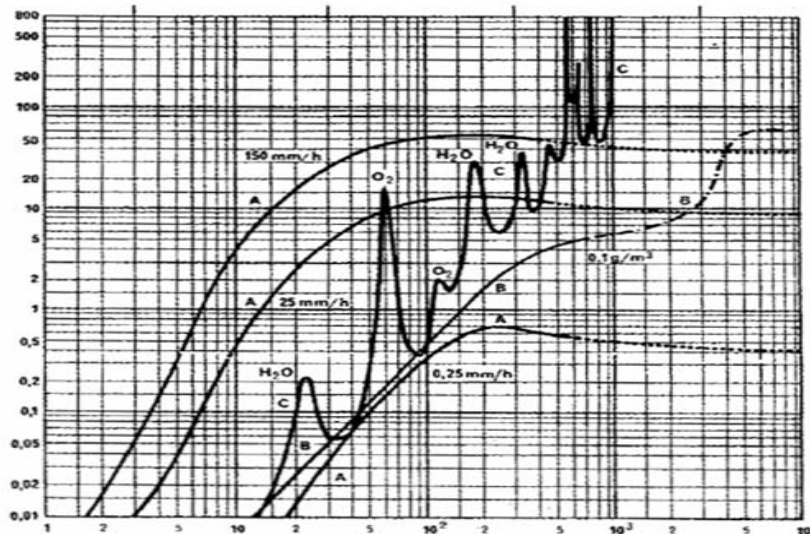
Según Cardama y otros (2004), la absorción molecular de los gases de la troposfera, compuesta principalmente por hidrometeoros, atenúan las señales electromagnéticas. En la figura 1, se representa la atenuación específica (dB/km) en función de la frecuencia para un trayecto próximo a la superficie de la tierra.

Esta absorción molecular, está dada principalmente por las moléculas de oxígeno y de vapor de agua. En las frecuencias superiores a los 10 GHz la atenuación en las telecomunicaciones es considerable.

Entre los 22,3 GHz y 60 GHz, se aprecian los primeros indicadores asociados al vapor de agua y al oxígeno, el cual además a nivel del mar presenta atenuaciones del orden de 15 dB/km, imposibilitando las comunicaciones a larga distancia.

La atenuación por hidrometeoros como la lluvia, depende de otros factores como la intensidad de la lluvia, el tamaño de la gota, cantidad y velocidad del agua. Por lo cual se considera apropiado utilizar un método de pronóstico para obtener la probabilidad de que ocurra una precipitación a diferentes intensidades de lluvia y ver de qué manera minimizar la influencia sobre el sistema.

Figura 1. Atenuación específica para trayectos en la troposfera. A: Lluvia, B: Niebla, C: Componentes gaseosos



Fuente: Cardama y otros (2004).

Para obtener la atenuación específica por lluvia pronosticada, se considerará la recomendación ITU-R P.838-3, dada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (2005), la cual puede calcularse mediante la ecuación 1:

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

En la ecuación 1, R es la intensidad de lluvia en mm/hr, K y α son los coeficientes en función de la frecuencia, en el rango de 1 hasta los 1000 GHz y que difieren de la polarización vertical, como de la horizontal. Para el cálculo de los coeficientes según su polarización, k_H , k_V y α_H , α_V ; se utilizan en las ecuaciones 2 y 3 con los valores sugeridos por la norma.

$$\log_{10} K = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k \quad (2)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10} f + C_\alpha \quad (3)$$

En donde:

f: frecuencia (GHz)

K: puede ser k_H o k_V

α : puede ser α_H o α_V .



Para pronosticar los efectos de la lluvia sobre los enlaces de telecomunicaciones de una zona específica, tal y como establece la recomendación ITU-R P.838-3, deben disponerse de los datos históricos meteorológicos de dicha zona, con el fin de poder estimar de manera probabilística las intensidades de lluvia correspondientes, con la información dada.

ATENUACIÓN POR LLUVIA

La atenuación de la señal producida por la lluvia, se fundamenta por lo establecido por Cardama y otros (2004, p. 55) quienes establecen que “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 de SHF e inferiores”. Además, indican que “la atenuación por lluvia depende de la intensidad y de factores tales como el tipo de lluvia, el tamaño y la velocidad de las gotas de agua”.

Neri (2003, p. 267) sostiene que “es pertinente señalar que, de acuerdo a diversos estudios, se ha visto que una señal no es afectada por lluvia de la misma forma en toda su trayectoria a través de ella, ni durante todo el tiempo que llueve”, agregando además que “la distribución del agua no es uniforme”.

Las ondas de radio que se propagan a través de una región lluviosa sufren atenuación como consecuencia de la absorción de potencia producida por un medio dieléctrico. De igual forma, existen pérdidas debido a la dispersión en forma de haz que provocan las gotas de lluvia. Esta atenuación, depende también de la intensidad de la precipitación, de manera que al ser más intensa, mayor será la atenuación de la señal.

PROMEDIO MÓVIL INTEGRADO DE AUTO REGRESIÓN (ARIMA)

En los estudios de Hernández (2007) y Peña (2005) se describe a ARIMA como uno de los métodos de análisis de series de tiempo más flexible, ya que permite trabajar con variados patrones de datos, pudiendo ser: autoregresivos (AR), de promedio móvil (MA) y de promedio móvil autoregresivo mixto (ARMA), tanto simples como estacionales.

Un modelo autoregresivo tiene la forma de la ecuación 4:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t \quad (4)$$

En la cual, Y_t es la variable dependiente y $Y_{t-1}, Y_{t-2} \dots Y_{t-p}$ son las variables independientes. Estas variables independientes son valores de la misma variable, es decir, observaciones tomadas de períodos anteriores. Por último, e_t es el término residual o error, representando las perturbaciones aleatorias, para las que el modelo no tiene explicación.

El modelo de promedio móvil (MA), representado en la ecuación 5:

$$Y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (5)$$



En la cual, e_t es el error o residuo y $e_{t-1}, e_{t-2} \dots e_{t-q}$, son los valores anteriores del error. Implicando debido a la semejanza con la ecuación 5, que la variable dependiente Y_t depende mayormente de los valores previos del término de error.

Para los modelos mixtos ARMA, se muestra los valores futuros a partir de las observaciones, errores pasados entre los valores reales y pronosticados, tal como se muestra en la ecuación 6:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t - \phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2} - \dots - \phi_q e_{t-q} \quad (6)$$

Para modelos con datos estacionales, como AR, MA y ARMA debe completarse con parámetros estacionales. Un modelo AR estacional con datos mensuales quedaría como lo enuncia la ecuación 7:

$$Y_t = \phi_{12} Y_{t-12} + e_t \quad (7)$$

Para un modelo MA estacional mensual tendría la ecuación 8:

$$Y_t = e_t - \theta_{12} e_{t-12} \quad (8)$$

Y un modelo mixto ARMA estacional mensual se presentaría como la ecuación 9:

$$Y_t = \phi_{12} Y_{t-12} + e_t - \theta_{12} e_{t-12} \quad (9)$$

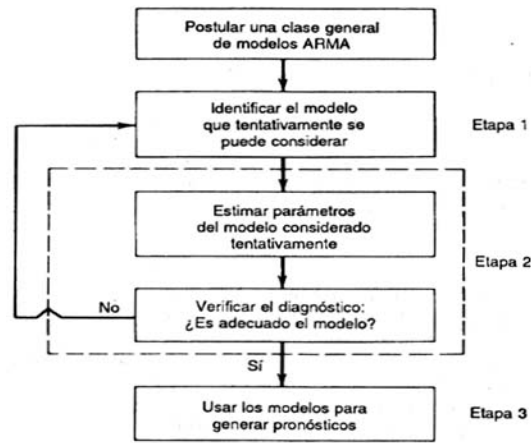
METODOLOGÍA DE BOX-JENKINS

La metodología de Box-Jenkins se basa en un método de predicción por etapas. Este facilita un proceso de identificación, estimación y verificación para las series temporales que tienen en cuenta la dependencia existente entre los datos.

Se utilizan cálculos y gráficas tales como las diferenciaciones, transformaciones logarítmicas, periodogramas, autocorrelaciones, frecuencias, entre otros; obteniendo los parámetros adecuados, para poder aplicar satisfactoriamente el método de pronóstico ARIMA. Como se observa en la figura 2, primero se determina un modelo apropiado de predicción, luego, en la segunda etapa se ajusta el modelo a los datos históricos, para así corroborar el modelo para la serie de datos.

Si el modelo no es adecuado, se inicia nuevamente el proceso, identificando un método alternativo de la clase general. En la tercera etapa, se desarrolla un pronóstico para algún período futuro. Para determinar los tres parámetros del método ARIMA, sean simples (p,d,q) y/o estacionales (P,D,Q), se procede con el análisis de los datos para identificar los patrones de tendencia, ciclicidad y estacionalidad.

Figura 2. Método de predicción de Box-Jenkins



Fuente: Makridakis y Wheelwright (2004).

Generalmente, la estacionalidad se obtiene utilizando la diferenciación simple o estacional de la serie de datos original. Posteriormente, se efectúan los análisis de autocorrelación simple y parcial para identificar el orden de los parámetros del modelo ARIMA, que son seleccionados dependiendo de los resultados de la representación en los retardos, de las gráficas de autocorrelación simple y parcial.

FASE I: RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE LLUVIA

Esta primera fase de la investigación se centra en la recolección de los niveles de precipitación de la localidad de Mene Grande entre los años 1999 y 2009. Los mismos fueron provistos por el servicio de meteorología de la Aviación Militar Bolivariana de Venezuela, institución que posee los registros históricos de las precipitaciones de lluvia del país y por ende de la localidad de Mene Grande, valiéndose para ello de una serie de estaciones meteorológicas, ubicadas para tal fin, siendo una de ellas la de Mene Grande.

Los niveles de precipitación históricos de la localidad de Mene Grande vienen expresados en milímetros por mes (mm/mes) como se muestra la tabla 1 y conforman la base necesaria para realizar el cálculo de los pronósticos de lluvia mensual de los años 2010 al 2013, de la localidad de Mene Grande.

Tabla 1. Muestra de medidas de precipitación de Mene Grande (mm/mes). Años 1999 hasta 2009

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	58	77	66	110	159	66	132	90	284	106	89	208
2000	124	141	145	84	90	72	44	65	246	127	164	37
2001	0	0	16	13	201	39	155	59	152	226	104	126
2002	16	11	79	221	154	158	47	88	127	302	97	23
2003	0	0	25	61	62	162	144	115	209	181	189	117
2004	9	22	25	202	239	172	180	122	301	360	120	102
2005	90	85	6	39	212	126	140	104	192	463	323	45
2006	41	2	205	232	285	101	186	171	219	231	46	54
2007	6	3	98	77	98	36	120	346	82	131	85	80
2008	53	44	54	28	43	0	72	194	0	210	199	0
2009	142	52	177	125	160	141	31	67	113	94	153	37

Fuente: Aviación Militar Bolivariana (2010).

FASE II: APLICACIÓN Y ANÁLISIS DEL MÉTODOS DE PRONÓSTICO

Esta segunda fase se inicia con el análisis de series de tiempo utilizando las observaciones mensuales de lluvia desde los años 1999 hasta el año 2009. Mediante estas mediciones se determinaron los coeficientes y parámetros óptimos para el desarrollo del método ARIMA, obteniendo como resultado un pronóstico para los años del 2010 hasta el año 2013.

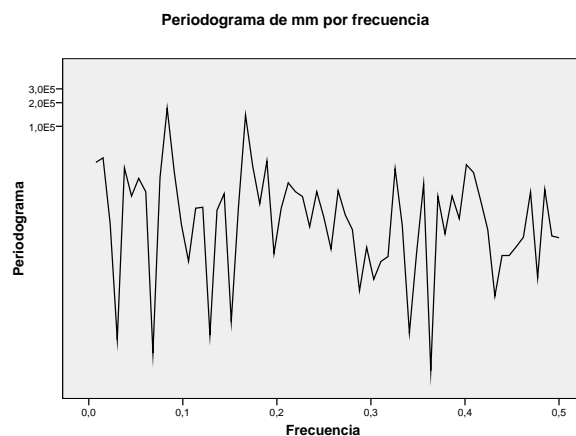
PROMEDIO MÓVIL INTEGRADO DE AUTO REGRESIÓN (ARIMA)

Para el desarrollo del método de pronóstico ARIMA se requiere del análisis de la serie de datos siguiendo la metodología de Box-Jenkins. Este procedimiento permitió identificar los parámetros más adecuados para pronosticar los niveles de lluvia de los siguientes cuatro años.

Como primer paso, por medio de un periodograma espectral se determinó la estacionalidad en la serie de datos, determinando la frecuencia de cada ciclo de lluvia. Como se observa en la figura 3, el dato más relevante está representado en la frecuencia 0,08 GHz.

Este valor representa el inverso del período, es decir $1/0,08 = 12$ meses. Adicionalmente se realizó una comparación de las medias y de las varianzas de la serie con el fin de determinar la estacionalidad, como se muestra en la tabla 2.

Figura 3. Diagrama espectral, donde se determina la estacionalidad de la serie de datos. (Localidad: Mene Grande)



Fuente: elaboración propia.

La existencia de estacionariedad en la serie de datos, se determina si las Varianzas y las Medias varían en los distintos años. En la tabla 7, se muestra los valores de las varianzas y medias correspondientes a cada año.

Tabla 2. Valores de Medias y Varianzas de Mene Grande

Año	Media	Varianza
1999	120,42	4.544,08
2000	111,58	3.480,27
2001	90,92	6.502,84
2002	110,25	7.772,93
2003	105,42	5.535,52
2004	154,50	12.231,36
2005	152,08	17.104,81
2006	147,75	8.835,48
2007	96,83	7.780,33
2008	74,75	6.341,80
2009	107,67	2.548,24

Fuente: elaboración propia.

El periodograma evidencia la existencia de periodo, lo que induce a diferenciar en el ciclo, pero los cambios de las medias y varianzas establecen que debe diferenciarse y transformarse la serie.

Por medio del método Box-Jenkins, se realizaron las autocorrelaciones simples y parciales, para determinar el modelo ARIMA a ser utilizado en el cálculo del pronóstico, dando como resultado, los parámetros óptimos de aplicación del modelo, como lo muestran las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Diagnóstico residual, con parámetros ARIMA (1,1,1) (0,1,1), datos reales de Mene Grande (1999-2009)

Diagnóstico residual	
Número de residuos	119
Número de parámetros	3
GL residuales	116
Suma de cuadrados residual corregida	646,473
Suma de cuadrados residual	972,502
Varianza residual	4,887
Error típico del modelo	2,211
Log-verosimilitud	-269,897
Criterio de información de Akaike (AIC)	545,795
Criterio bayesiano de Schwarz (BIC)	554,132

Fuente: elaboración propia.

La estimación de los parámetros para el método ARIMA (1,1,1)(0,1,1), para la localidad de Mene Grande, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Estimaciones de parámetros ARIMA (1,1,1) (0,1,1) con datos reales de Mene Grande (1999-2009)

Estimaciones de los parámetros

		Estimaciones	Error típico	t	Sig. aprox.
Retardos no estacionales	AR1	,258	,094	2,751	,007
	MA1	,967	,050	19,150	,000
Retardos estacionales	Seasonal MA1	,796	,112	7,078	,000

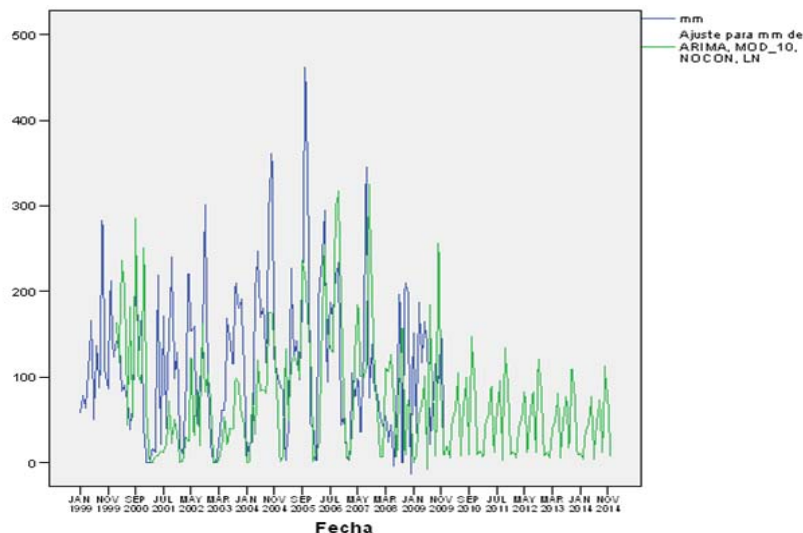
Se ha utilizado el algoritmo de Melard para la estimación.

Fuente: elaboración propia.

En los resultados de las tablas 3 y 4, se puede observar que los valores de los criterios de información de Akaike (AIC) y el bayesiano de Schwarz (BIC), resultantes en la estimación del modelo ARIMA (1,1,1) (0,1,1) en conjunto con la significancia de los parámetros seleccionados, son los adecuados para obtener el pronóstico de la serie.

Los resultados obtenidos mediante el modelo de pronóstico graficados en la figura 4, muestran que los valores históricos (año 1999 al 2009) y los valores pronosticados (año 2010 al 2013), tienen un comportamiento similar en el período común, lo cual valida la aproximación del modelo de pronóstico, al comportamiento real de la serie.

Figura 4. Pronóstico de lluvia para la localidad de Mene Grande de los años 2010 al 2013



Fuente: elaboración propia.



FASE III: DETERMINACIÓN DE LA RADIOATENUACIÓN TROPOSFÉRICA PARA DISTINTOS ÁNGULOS DE ELEVACIÓN

En esta fase, se realiza el cálculo de la radioatenuación troposférica por lluvia, teniendo como elementos de entrada los niveles de lluvia pronosticados de los años 2010 al 2013, provenientes de la segunda fase.

El cálculo está basado en la ecuación (1) de la recomendación ITU-R P.838-3, para las frecuencias de onda comprendidas entre 1 GHz, hasta 170 GHz, con incremento consecutivo de 1 GHz entre ellas y para cada uno de los casos se realiza el cálculo para los ángulos de elevación de 15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90° respectivamente.

Una vez calculados los niveles de radioatenuación del período pronosticado. Se realizó un análisis de media de los pronósticos obtenidos para poder ubicar el mes con mayor nivel de lluvia, en cada uno de los años pronosticados y por ende con mayor nivel de radioatenuación, según se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Media de meses pronosticados

Mes	mm_Pronosticado
Enero	14,2375
Febrero	6,8800
Marzo	44,6525
Abril	54,2800
Mayo	85,2900
Junio	14,3675
Julio	57,9500
Agosto	84,6775
Septiembre	21,2125
Octubre	122,9925
Noviembre	88,5725
Diciembre	9,6850
Total	50,3998

Fuente: elaboración propia.

La media de los meses pronosticados, indica que octubre es el mes con mayores niveles de lluvia y por consiguiente con mayor nivel de radioatenuación, en la frecuencia de 170 GHz para los ángulos 15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90° respectivamente, como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6. Mayores niveles de radioatenuación de los meses pronosticados

Año	Mes	Ángulo	Frecuencia en GHz	Radiatenuación en db/km
2010	Octubre	15°	170	4,186773039
2010	Octubre	30°	170	4,186874536
2010	Octubre	45°	170	4,186828093
2010	Octubre	60°	170	4,186713235
2010	Octubre	75°	170	4,186723612
2010	Octubre	90°	170	4,186841908
2011	Octubre	15°	170	4,00252942
2011	Octubre	30°	170	4,00251232
2011	Octubre	45°	170	4,00251995
2011	Octubre	60°	170	4,002540243
2011	Octubre	75°	170	4,002538324
2011	Octubre	90°	170	4,002517646
2012	Octubre	15°	170	3,826397298
2012	Octubre	30°	170	3,826271849
2012	Octubre	45°	170	3,826328879
2012	Octubre	60°	170	3,826472647
2012	Octubre	75°	170	3,826459495
2012	Octubre	90°	170	3,826311849
2013	Octubre	15°	170	3,658016039
2013	Octubre	30°	170	3,657791812
2013	Octubre	45°	170	3,657893878
2013	Octubre	60°	170	3,658150214
2013	Octubre	75°	170	3,658126822
2013	Octubre	90°	170	3,657863422

Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto que resulta al evaluar los mayores niveles de radioatenuación de la señal para sus respectivos ángulos de elevación, es el hecho de que estos se encuentran en el año 2010.

Además, la diferencia existente entre estos niveles de radioatenuación por año, es muy pequeña, teniendo los mayores niveles de radioatenuación en los ángulos de 60° y los menores valores en los ángulos de 30°.

Para establecer una diferencia significativa entre los niveles de radioatenuación obtenidos, se realizó una prueba de los efectos inter sujetos, la cual según lo muestra la tabla 7, determinó que no existía significancia estadística en el ángulo de elevación empleado, ni en la relación ángulo elevación-frecuencia, sino únicamente en la frecuencia de la señal.

Tabla 7. Prueba de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Radioatenuación

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7281,645 ^a	1019	7,146	218,262	,000
Intersección	28068,172	1	28068,172	857306,199	,000
Angulo	,025	5	,005	,151	,980
Frecuencia	7281,590	169	43,086	1316,017	,000
Angulo * Frecuencia	,030	845	3,600E-5	,001	1,000
Error	100,184	3060	,033		
Total	35450,002	4080			
Total corregida	7381,829	4079			

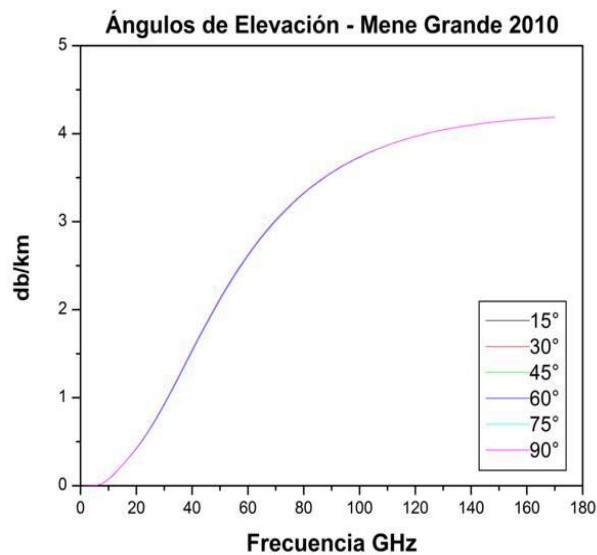
a. R cuadrado = ,986 (R cuadrado corregida = ,982)

Fuente: elaboración propia.

Para confirmar los resultados de las pruebas de los efectos inter-grupos, se realizó una comparación múltiple de post-hoc en las medias con el método Duncan, donde se determinó estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los grupos, ni los inter-grupos, sino que la radioatenuación aumentaba conforme aumentaba la frecuencia de la señal.

Con el fin de determinar una tendencia entre los ángulos de elevación de los datos pronosticados, se realizó un análisis gráfico, para evaluar su comportamiento. En la figura 5 se consideraron los ángulos de elevación de 15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90°, para las frecuencias entre 1 Ghz y 170 Ghz, en el año 2010 por ser el año con mayores niveles de radioatenuación. Se observa un comportamiento similar de las distintas curvas.

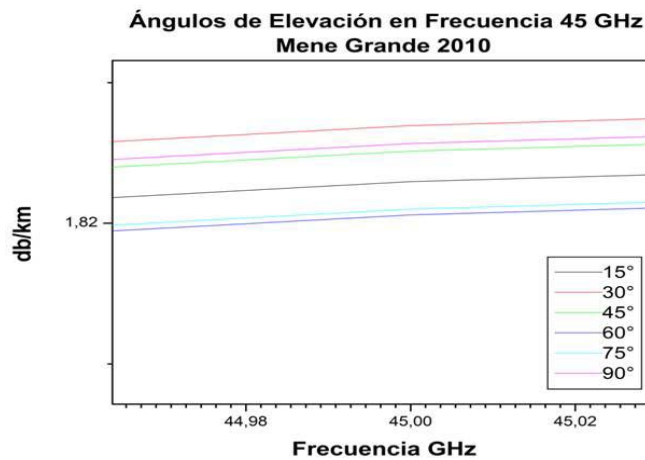
Figura 5. Ángulos de elevación del pronóstico de lluvia - Mene Grande 2010



Fuente: elaboración propia.

Al evaluar los resultados entre las frecuencias de 44,98 GHz y 45,02 GHz (Figura 6), se puede observar un comportamiento similar de las curvas, en el ángulo evaluado.

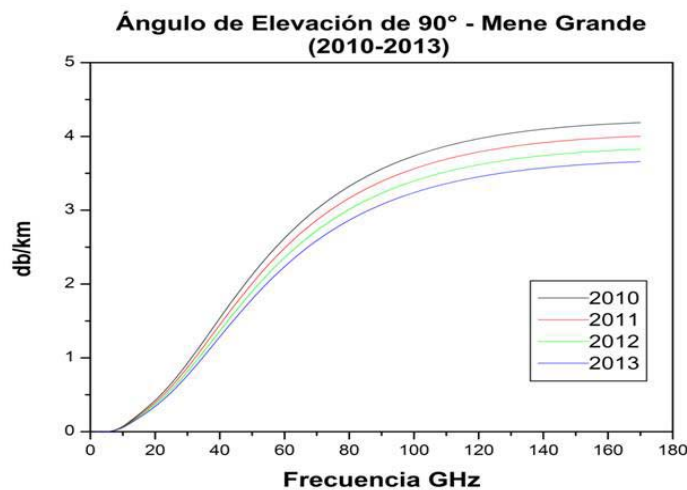
Figura 6. Ángulos de elevación del pronóstico de lluvia de Mene Grande 2010, en la frecuencia de 45 GHz



Fuente: elaboración propia.

Al considerar los años pronosticados 2010 - 2013 para el ángulo de elevación de 90° (Figura 7), se puede constatar que la única diferencia en los datos pronosticados es aplicable a la calidad del pronóstico, conforme se aleja de los datos históricos.

Figura 7. Pronóstico de lluvia de Mene Grande 2010-2013, con ángulo de elevación de 90°



Fuente: elaboración propia.



FASE IV: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las señales de radiofrecuencias son atenuadas durante su tránsito por la atmósfera por fenómenos atmosféricos y mayormente por la lluvia. Esta atenuación es ocasionada por la disipación, refracción o absorpci n de la energía de onda por causa de las gotas de lluvia.

Se utilizó el modelo ARIMA de predicción para series temporales con estacionalidad, para obtener una predicción a partir de los datos históricos observados. La confiabilidad del pronóstico fue corroborada al presentar similitud con los datos históricos de lluvia y un porcentaje de error de 0,4%.

El cálculo de la radioatenuación troposférica por lluvia de la localidad de Mene Grande se realizó basado en la recomendación ITU-R P.838-3, donde se comprob  que los niveles de radioatenuación de la señal dependían únicamente de los valores de intensidad de lluvia y de la frecuencia. Se observó similitud en los datos pronosticados, denotando a octubre como mes más significativo con una media de radioatenuación de 2,62 dB/km.

La tendencia en la radioatenuación de la señal fue realizada calculando el nivel de radioatenuación por lluvia (ecuación 1) para los datos pronosticados en los ángulos de elevación 15 , 30 , 45 , 60 , 75  y 90  respectivamente, para las frecuencias de señal desde 1 GHz hasta 170 GHz. Estos resultados generaron una serie de gráficas representativas con un comportamiento similar, lo que induce a evaluar la significancia de esta diferencia.

La semejanza entre los niveles de radioatenuación obtenidos induce a establecer las diferencias significativas, para determinar la incidencia del ángulo de elevación en la radioatenuación. Por lo cual se realizó un análisis estadístico de los resultados en el mes de octubre para todos los años pronosticados y evaluar la diferencia Inter-grupos con el modelo de Duncan.

Los resultados indicaron que no existía diferencia entre los ángulos de elevación en relación a las frecuencias, si no únicamente por las frecuencias y que los niveles de radioatenuación aumentaban conforme lo hacia la frecuencia.

Para determinar la existencia de una tendencia, se evaluaron las gráficas resultantes del pronóstico en los ángulos evaluados, así como también para un ángulo y frecuencia específicos en cada uno de los años pronosticados.

Dicho análisis determinó que no existía tendencia en el comportamiento de los datos y que las diferencias existentes eran ocasionadas por la calidad del pronóstico, conforme se aleja de los datos históricos.

CONCLUSIONES

Los análisis e interpretaciones derivados de los resultados obtenidos en la presente investigación, derivan las siguientes conclusiones:



El método de pronóstico ARIMA utilizado en la serie de datos no está sesgado, dado que su porcentaje de error es cercano a cero y posee coeficientes óptimos de aplicación, al lograr un comportamiento de correlación válido. Lo que se corrobora al presentar similitud entre los datos históricos y pronosticados.

Los niveles de lluvia de la localidad de Mene Grande aumentan en el mes de octubre en los cuatro años pronosticados, con un promedio de 0,30 mm/hr de niveles de lluvia con una radioatenuación de la señal de 2,62 dB/km, en los cuales el análisis de los resultados no mostró incidencia con respecto al ángulo de elevación.

Por último, los pronósticos resultantes de la aplicación de la recomendación UIT-R P.838-3 no varía la polarización de onda. Lo cual indica que está diseñada para considerar únicamente la polarización circular, debido a la forma de la gota, sin tomar en cuenta otros factores.

RECOMENDACIONES

Basados en las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de la investigación, surgen las siguientes recomendaciones:

- A la IUT (International Telecommunication Union), para profundizar los estudios de la recomendación UIT-R P.838-3, con el fin de considerar además de la forma de la gota, otros factores, tales como la polarización lineal y elíptica en determinadas frecuencias.

- A los Centros de Investigación, para el desarrollo amplio de los estudios de este fenómeno climatológico y su interrelación con las ondas electromagnéticas.

- A la Fuerza Aérea Venezolana, para la publicación y difusión de los registros del promedio máximo mensual de intensidades de lluvia por hora a nivel nacional, para así facilitar e incentivar los estudios del grado de radioatenuación troposférica por causa de las precipitaciones en forma de lluvia.

- A la Universidad Dr. Rafael Belloso Chac n, para continuar con la investigación de las radioatenuaciones con respecto a distintas modalidades de telecomunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardama,  .; Jofre, L.; Rius, J.; Romeu, J.; Blanch, S. y Ferrando, M. (2004). Antenas. España. Alfaomega-Edicions UPC.

Hernández, J. (2007). Análisis de series temporales económicas II. España. Primera Edición. Editorial ESIC.

Makridakis, S. y Wheelwright, S. (2004). Métodos de Pronósticos. México. Limusa.

Neri, R. (2003). Comunicaciones por Satélite. México. Editorial Thomson.

Peña, D. (2005). Análisis de series temporales. España. Editorial alianza.



Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (2005). Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. Recomendación UIT-R P.838-3. Suiza. Publicaciones de la UIT.