

Análisis estadístico casos de dengue por mosquitos vector (*Aedes aegypti*) con relación a la variable climática precipitación en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, Cundinamarca mediante series temporales multivariantes



Ing. Lida Velandia Rey

Resumen

En épocas de abundantes lluvias, originadas por las variaciones propias del cambio climático aumenta la probabilidad de criaderos del mosquito vector *Aedes aegypti*, originando un problema de salud pública en regiones tropicales. El objetivo de este estudio es describir la relación entre la variable precipitación en el desarrollo de la transmisión del dengue en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, Cundinamarca y predecir incrementos en la incidencia de esta enfermedad por medio de series multivariadas. Se utilizaron base de datos periodo comprendido entre 2008 al 2017, basándose en una metodología inspirada en Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)), para estimar la incidencia de la precipitación promedio mensual en los casos reportados de contagios del dengue, mediante un modelo de media móvil integrada autorregresiva estacional (SARIMA) con variable exógena, realizando los test de autocorrelación de Ljung-Box (p -valor $>0,05$), test de normalidad basado en sesgo y curtosis. Jarque Bera (p -valor $<0,05$), test de aleatoriedad Runs (p -valor $>0,05$), y BIC (602,08). Además, se aplicó la función de correlación cruzada (CCF), se verifico con los test de autocorrelación Ljung-Box (p -valor $>0,05$), test de normalidad basado en sesgo y curtosis. Jarque Bera (p -valor $<0,05$) y BIC (603.19). Finalmente, se desarrolló un modelo que ayuda a predecir el comportamiento de trasmisión del dengue, el cual se ve afectado por la precipitación en milímetros (mm), para el municipio de Ricaurte, Cundinamarca.

Palabras Claves: dengue, precipitación, series temporales multivariantes, zonas tropicales, Ricaurte, modelo SARIMA

Abstract

In times of abundant rainfall, caused by the variations of climate change, the probability of breeding sites for the vector *Aedes aegypti* mosquito increases, causing a public health problem in tropical regions. The objective of this study is to describe the relationship between the precipitation variable in the development of dengue transmission in tropical areas such as the municipality of Ricaurte, Cundinamarca and to predict increases in the incidence of this disease through multivariate series. Databases from 2008 to 2017 were used, based on a methodology inspired by Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)), to estimate the incidence of average monthly precipitation in reported cases of dengue

infections, using a seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model with an exogenous variable, performing the Ljung-Box autocorrelation test ($p\text{-value}>0.05$), normality test based on bias and kurtosis. Jarque Bera ($p\text{-value}<0.05$), Runs randomness test ($p\text{-value}>0.05$), and BIC (602.08). In addition, the cross-correlation function (CCF) was applied, it was verified with the Ljung-Box autocorrelation test ($p\text{-value}>0.05$), normality test based on bias and kurtosis. Jarque Bera ($p\text{-value}<0.05$) and BIC (603.19). Finally, a model was developed that helps predict the transmission behavior of dengue, which is affected by precipitation in millimeters (mm), for the municipality of Ricaurte, Cundinamarca.

Keywords: dengue, precipitation, multivariate time series, tropical zones, Ricaurte, SARIMA model.

1. Introducción

El dengue es una enfermedad viral febril aguda transmitida por la picadura de mosquitos infectados principalmente de la especie *Aedes aegypti*, que se ha constituido como un problema creciente de salud pública a nivel mundial (Cruz, 2010), “3900 millones de personas aproximadamente están en riesgo de infección en más de 128 países endémicos” (Brady *et al*, 2012, p.5).

El número de casos de dengue notificados a la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha multiplicado por 8 en las dos últimas décadas, desde 505.430 casos en 2.000 a más de 2,4 millones en 2.010 y 5,2 millones en 2.019. (OPS/OMS. 2021).

En América los países con la mayor incidencia fueron Brasil, Paraguay, Perú, Ecuador y Colombia (OPS/OMS. 2021). En donde el dengue causó el mayor número de casos, con epidemias que ocurren de manera cíclica cada 3 a 5 años. En 2019 se registraron 3,1 millones de casos, incluyendo 28.203 casos graves y 1.773 muertes (OPS/OMS. 2021).

En Colombia, la tasa de incidencia de dengue ha sido fluctuante desde 1978 con tendencia al incremento, la tasa de letalidad ha aumentado de 1.3% en 1999 a 19% en el 2016 (Padilla *et al*, 2012). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), la letalidad por dengue no puede superar el umbral del 2% ya que es 98% prevenible. Encontrando que la diseminación del vector se da principalmente en altitudes hasta los 2200 metros sobre el nivel del mar (msnm), donde la temperatura anual es de 17°C (Gómez, S.E., 2015), y con mayor frecuencia se presentan en altitudes por debajo de 1800 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Gómez, S.E, 2015).

La transmisión de este virus se da por interacciones entre el ambiente, el agente, la población de huéspedes y el vector, los que coexisten en un hábitat específico. La magnitud e intensidad de tales interacciones definirán la transmisión del dengue en una comunidad, localidad, municipio o departamento (Gómez, S.E, 2016).

La mayoría de las enfermedades transmitidas por vectores exhiben un patrón estacional distinto, lo que sugiere claramente que son sensibles al clima. Las precipitaciones, la temperatura y otras variables meteorológicas que afectan de muchas maneras tanto a los vectores como a los patógenos que transmiten. Por ejemplo, las altas temperaturas pueden aumentar o reducir la tasa de supervivencia, según el vector, su comportamiento, la ecología y muchos otros factores. (Rodríguez A.J. *et al*, 2019).

“La Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que El Niño de 1997/98 podría haber sido la causa de las epidemias de dengue en muchos países tropicales. Debido a la interacción entre la atmósfera y el océano, genera anomalías significativas de temperatura y precipitación alrededor el mundo”. (Gagnon S. *et al*, 2001, p.1).

Teniendo en cuenta que la transmisión de esta enfermedad es por un vector que tiene un ciclo de vida alrededor de 8 días y que para su desarrollo requiere condiciones de temperatura y humedad, se ha podido concluir por estudios realizados a nivel mundial y Colombia que el número de focos para el crecimiento fue significativo en el período lluvioso fue significativo en relación con el período de seca ($t= 4,09$; $p= 0,04$). No se encontró alta correlación entre el número de focos y las temperaturas ocurridas durante el estudio. Lo que resulta de vital importancia continuar manteniendo una alerta constante sobre *Ae. aegypti*, para evitar introducciones y dispersión de

la especie dentro de la provincia, principalmente en los períodos lluviosos. (Cruz C. *et al*, 2010)

A sí mismo, otros estudios concluyen que las condiciones climáticas están condicionando la transmisión del dengue, de manera que puede ser posible la predicción de los acontecimientos epidémicos. (Palú A. *et al*, 2017) Viéndose afectada por las condiciones climáticas adversas, en particular, por la precipitación. (Rúa G. *et al*, 2013)

La metodología de series temporales se ha utilizado cada vez más en la investigación epidemiológica sobre enfermedades infecciosas, como posibles predictores de la incidencia del dengue con relación a variaciones climáticas, (artículo3, artículo,5,11), y en Colombia se han realizado estudios (Rodríguez G. *et al*, 2004), pero es necesario realizar predicciones de este tipo de brotes a nivel local.

De acuerdo con la hipótesis establecida que existe una relación estadística de la variable climática precipitación con los casos reportados de contagios del dengue por la picadura de mosquitos infectados (*Aedes aegypti*), en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca, el objetivo de este estudio es describir la relación entre la variable precipitación en el desarrollo de la transmisión del dengue en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, Cundinamarca y predecir incrementos en la incidencia de esta enfermedad por medio de series multivariadas.

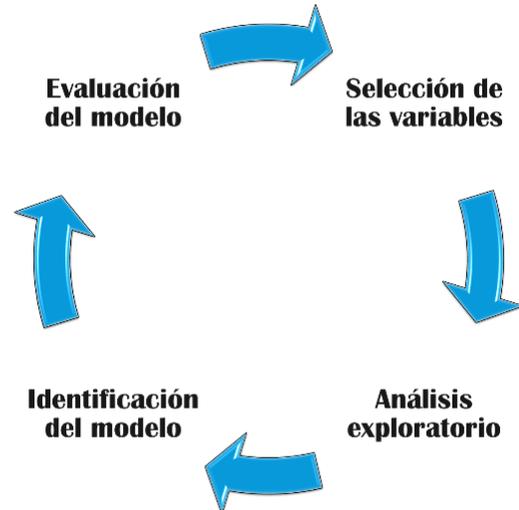
2. Métodos

Resumen de la metodología.

La metodología utilizada en este estudio fue inspirada en Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)). (Ramírez, A, 2021) En la Figura 1. se describen las fases:

Figura 1

Metodología inspirada en CRISP-DM.



Selección de las variables: El objetivo de esta fase es identificar la procedencia y pertinencia de la base de datos, realizar un reconocimiento de la cantidad, calidad de los mismos y seleccionar las variables que permitan la construcción del modelo para lograr el objetivo.

Análisis exploratorio. En esta fase se debe realizar la exploración y manipulación de los datos y análisis descriptivo con el fin de optimizar el modelo a construir.

Identificación del modelo: El objetivo de esta fase es establecer una relación entre las variables objeto de estudio, que permitan inferir el valor de estas con un determinado nivel de confianza. Se seleccionará la metodología que logre el objetivo de estudio

Evaluación del modelo: Consiste en la evaluación de los resultados mediante el análisis de los modelos establecidos.

En este estudio, se utilizará series temporales multivariantes modelo multivariante autorregresivo integrado de media móvil estacional con variables exogenas (SARIMAX) para examinar el efecto de las condiciones climáticas en particular las precipitaciones en la

incidencia del dengue en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca, durante el periodo 2008-2017.

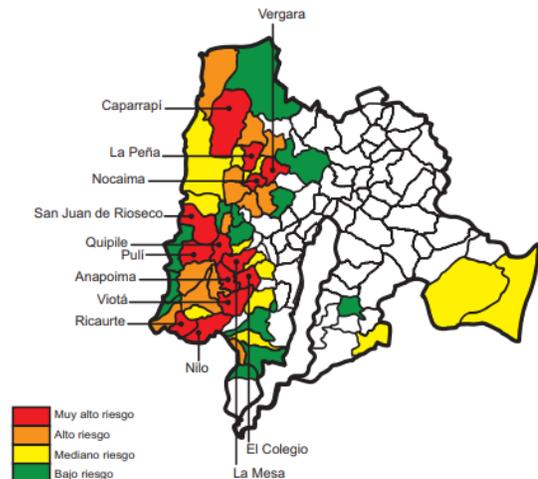
2.1. Selección de variables.

Se realizó un estudio predictivo para determinar la relación entre la variable precipitación en el desarrollo de la transmisión del dengue en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, el cual se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca en la cordillera oriental, limitando con los municipios de Agua de Dios, Girardot, Nilo y municipios del departamento del Tolima, con una altitud a 284 msnm, con una extensión total 130 kilómetros cuadrados y ubicación geográfica latitud ($4^{\circ} 16' 45''$ N) y longitud ($74^{\circ} 46' 22''$ O), bañados por los ríos Magdalena y Sumapaz. (Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá) Cuenta con una población de 10788. La mayor parte de la población se encuentra en la cabecera y centro poblado y la rural dispersa corresponde a 31.8% de la población total (DANE, 2018). La precipitación media anual es de 4493 mm. Las temperaturas medias máximas y mínimas son de Temperatura media: 27° Y 30° C (Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá).

Es uno de los municipios que por sus condiciones sociales, geográficas y climáticas se encuentra afectada por el dengue Figura 2. (Padilla *et al*, 2012)

Figura 2

Clasificación del riesgo de transmisión de dengue en municipios con 70 % de casos acumulados, Cundinamarca. Fuente. Sivigila, Instituto Nacional de Salud



Nota: Adaptado. Casos de dengue departamento de Cundinamarca, Padilla *et al*. 2012, Dengue en Colombia: epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia.

Se obtuvieron los datos sobre casos reportados de dengue del registro Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila) que consolida el Instituto Nacional de Salud (INS). periodos epidemiológicos 2008-2017 (Instituto Nacional de Salud. Estadísticas de vigilancia rutinaria, 2019). Estos son fueron recopilados de manera continua y sistemática de entidades que prestan servicios de salud y entes gubernamentales.

Los datos de precipitaciones totales mensuales reportada en mm (1 litro de agua en cada m² de superficie). Se obtuvieron de la estación Argelia ubicada en la vereda los Manueles municipio de Ricaurte la cual mide variables que tiene influencia directa sobre el clima y hace parte de la red de estaciones hidrológicas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Periodo 2008-2017 (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Precipitaciones Totales Mensuales, 2022).

2.2. Análisis exploratorio.

Se realizó en esta etapa un estudio descriptivo de las variables casos reportados de dengue con periodicidad mensual y datos reportados de precipitaciones mm promedio mensual, utilizando gráficos de distribución de frecuencias y densidades, se realizó la identificación de los datos atípicos por medio de gráfico de cajas, estimación de medidas de tendencia central y dispersión, con el fin de evitar resultados indeterminados se realizó la transformación logarítmica de la variable precipitación.

2.3. Identificación del modelo.

Se utilizó el modelo de media móvil integrada autorregresiva estacional (SARIMA) con variable exógena para estimar la contribución de la variable independiente, de acuerdo con la hipótesis que existe una relación estadística la variable climática precipitación con los casos reportados de contagios del dengue por la picadura de mosquitos infectados (*Aedes aegypti*), para el municipio de Ricaurte, Cundinamarca, Con este modelo se puede capturar la información sobre las variables exógenas que permitan entender y pronosticar la variable de interés. En este estudio se utilizó una única variable de interés “y” y única variable independiente “x”.

El modelo que describe su relación es:

$$y_t = \beta_1 x_t + \dots + \beta_k x_{tk-1} + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 z_{t-1} + \dots + \theta_q z_{t-q} + z_t$$

Ecuación (1)

Siendo:

x: variable exógena

z: ruido blanco

Siendo el componente AR:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + z_t$$

Componente MA:

$$y_t = \theta_1 z_{t-1} + \dots + \theta_q z_{t-q} + z_t$$

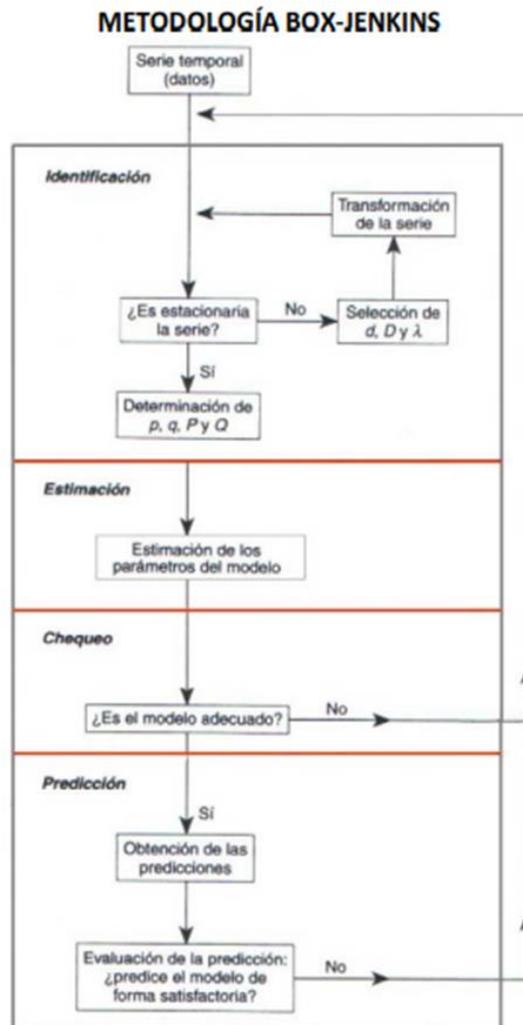
Componentes variables exógenas:

$$y_t = \beta_1 x_t + \dots + \beta_k x_{tk-1}$$

Este modelo refleja la influencia de los valores y ruido aleatorio de las variables dependiente en momentos del pasado reciente sobre valores de la variable dependiente, teniendo en cuenta el efecto de las variables independientes y sus respectivos rezagos o retardos. (Brockwell P, *et al*, 2016, p.243)

Se utilizó la metodología Box- Jenkins Figura 3. (Fuente, S., s.f.). para series temporales que tienen en cuenta la dependencia existente entre los datos.

Figura 3
Metodología Box-Jenkins



Nota: Adaptado “Metodología Box-Jenkins”, por Fuente, S., s.f., Series Temporales modelo ARIMA.

En la primera fase, se realizó la identificación de modelos SARIMA utilizando como variable dependiente los casos reportados de dengue mensual y como variable independiente los promedios mensuales de precipitaciones, teniendo en cuenta las gráficas de las funciones ACF (función de autocorrelación) y PACF (función de autocorrelación parcial), aplicando diferencias ordinarias para la estacionariedad y diferencias estacionales para los ciclos de la serie.

Durante todas las fases del estudio se utilizará un

nivel de significancia del 5%.

Con el fin de verificar la estacionariedad se realizaron **las pruebas de raíz unitarias**, donde se estableció la siguiente hipótesis:

I (0) a las Series integradas de orden 0.

No presentan problemas de estacionariedad.

I (1) series no estacionarías.

Se utilizaron las pruebas aumentadas de **Dickey-Fuller o Phillips-Perrón** para verificar la estacionariedad, de acuerdo con la siguiente hipótesis:

$H_0 : y_t \sim I(1) \quad y_t \text{ no es estacionaria}$

$H_a : y_t \sim I(0) \quad y_t \text{ es estacionaria}$

Objetivo: Rechazar H_0 .

En esta segunda fase se realizó la estimación de los modelos candidatos más apropiados $(p, d, q) \times (P, D, Q)$ para la serie, observación las dos gráficas ACF (función de autocorrelación) y PACF (función de autocorrelación parcial) y a su vez realizando revisión de la significancia de los coeficientes (nivel de significancia <0.05 (5%)).

En la tercera fase se realizó el diagnostico de los modelos SARIMA $(p, d, q) \times (P, D, Q)$ s, donde se realizó comparación visual por gráficas y pruebas analíticas los residuos de los modelos candidatos. Con el fin, de corroborar el modelo que tuviera comportamiento de ruido blanco $(E=0; \text{var} = \sigma^2)$.

Se realizaron pruebas de autocorrelación, aleatoriedad, normalidad de los residuales y BIC (Criterio de Información Bayesiana).

Para el test autocorrelación de **Ljung-Box**, se formuló la siguiente hipótesis:

$H_0: r_1 = r_2 = r_3 = \dots r_{lag} = 0$

H_a : al menos una es diferente de 0

Objetivo: No rechazar

Para el test de normalidad basado en sesgo y curtosis. **Jarque Bera**, se formuló la siguiente hipótesis:

H_0 : datos provienen distribución normal

H_a : los datos no provienen distribución normal

Objetivo: No rechazar

Para el test de aleatoriedad **Runs**, se formuló la siguiente hipótesis:

H_0 : Residuos exhiben un comportamiento de aleatorida

H_a : Residuos no exhiben estructura tendencia o cualquier otro comportamiento predicable

Objetivo: No rechazar

Una vez seleccionado el modelo **SARIMA** para la variable dependiente, se identificaron los rezagos por medio de la función de correlación cruzada de muestra (CCF).

Donde el CCF se define como el conjunto de correlaciones de muestra entre x_{t+h} y y_t para $h=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$, y así sucesivamente. Un valor negativo para h es una correlación entre la x -variable en un momento anterior y la variable y en el tiempo t . (Tsay R,S., 2014, p. 11-13)

Se seleccionaron los rezagos significativos para el establecimiento del modelo **SARIMAX**, continuando con la metodología Box Jenkins, se identificaron los modelos teniendo en cuenta los rezagos, se realizó la estimación, diagnóstico y

evaluación de los modelos por medio de las pruebas sobre los residuales.

2.4. Evaluación del modelo.

Una vez identificado el modelo que mejor se ajustó a los datos del periodo seleccionado entre enero de 2008 a junio de 2017 se verificó la capacidad de pronóstico del modelo con el periodo restante (julio a diciembre de 2017). La capacidad de pronóstico del modelo se midió mediante el cálculo de la raíz del error cuadrático de la media (Root Mean Square Error, RMSE), Error porcentual.

3. Resultados

3.1. Selección de las variables

Se seleccionaron como variable dependiente casos reportados de dengue y como variable independiente precipitación milímetros (mm) promedio mensual periodo comprendido entre 2008 al 2017 para el municipio de Ricaurte, Cundinamarca.

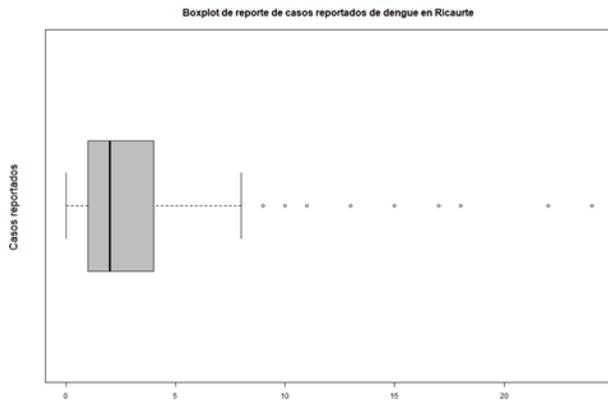
3.2. Análisis exploratorio.

3.2.1. Base de datos de la variable casos de dengue reportados y precipitaciones en milímetros(mm)

Se realizó análisis de las medidas de variación y tendencia central de los datos reportados casos de dengue y precipitación en milímetros. (mm) en el municipio de Ricaurte durante el periodo comprendido entre los años 2008 a 2017, se observó una distribución asimétrica con presencia de datos atípicos Figura 4.

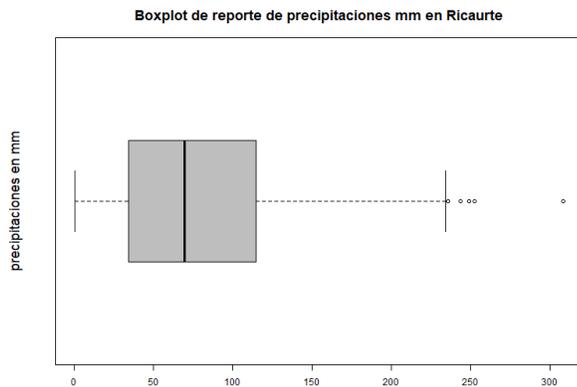
Figura 4

Boxplot de reporte de casos reportados de dengue en Ricaurte



Presentó comportamiento asimétrico Figura 5. para la precipitación promedio mensual con presencia de datos atípicos.

Figura 5
Boxplot de reporte de precipitaciones mm en Ricaurte



Se evidencia en la Tabla 1. los resultados de medición de tendencia central y variabilidad de los datos, presentándose un promedio de 2 casos reportados por mes con una desviación del 4.69 para una muestra de 120 casos reportados de dengue, con un máximo mensual de 24 casos y para la precipitación promedio mensual una media de 83.83 mm con una desviación del 66.26 para una muestra de 120 datos con un mínimo de precipitación de 0.5 mm y un máximo mensual de 308.2 mm. Para la variable precipitación se realizó la transformación de datos para mejorar su

distribución.

Tabla 1
Resultados de la dispersión y variabilidad de los datos

Medida	Log Precipitación mm	Precipitación mm	Dengue
Media	3,98	83,38	2,00
Mediana	4,24	69,45	3,45
Máximo	5,73	308,20	24,00
Mínimo	-0,69	0,50	0,00
Varianza	1,34	4390,44	22,00
Desviación estándar	1,16	66,26	4,69

Nota [Calculo de tendencia central y variabilidad]

Los casos de dengue de acuerdo con las Figura 6. y Figura 7. revelaron un comportamiento asimétrico hacia la derecha, donde la mayor cantidad de datos corresponden a bajos reportes de dengue.

Figura 6
Histograma de casos reportados de dengue en Ricaurte

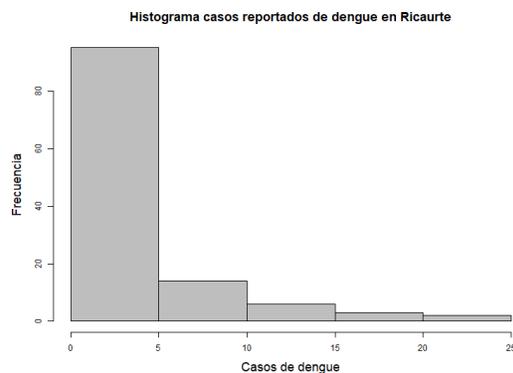
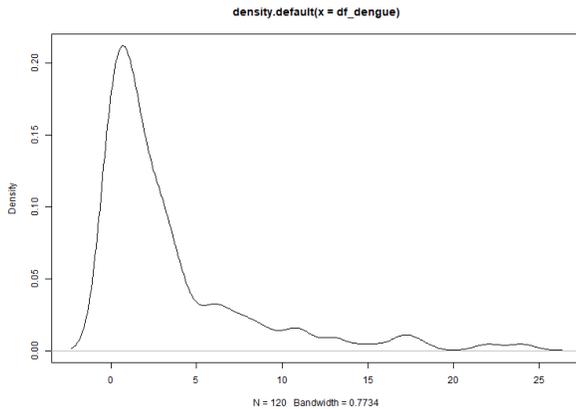


Figura 7
Densidad de casos reportados de dengue en Ricaurte. Fuente: elaboración propia



La precipitación promedio mensual en milímetros (mm) de acuerdo con la Figura 8. y Figura 9. revelaron un comportamiento asimétrico hacia la derecha, presentando mayor frecuencia para precipitaciones inferiores a 100 milímetros (mm).

Figura 8
Histograma de precipitación mensual en Ricaurte.

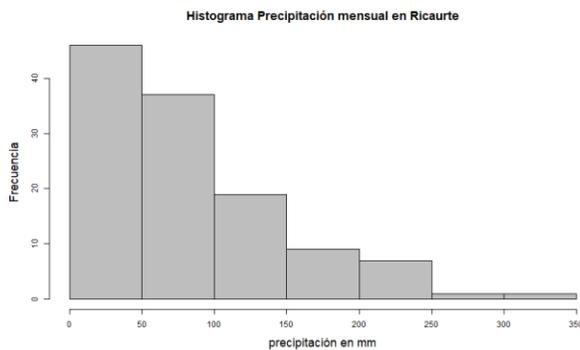
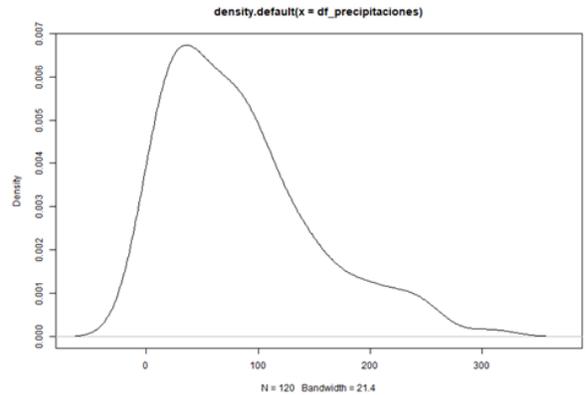
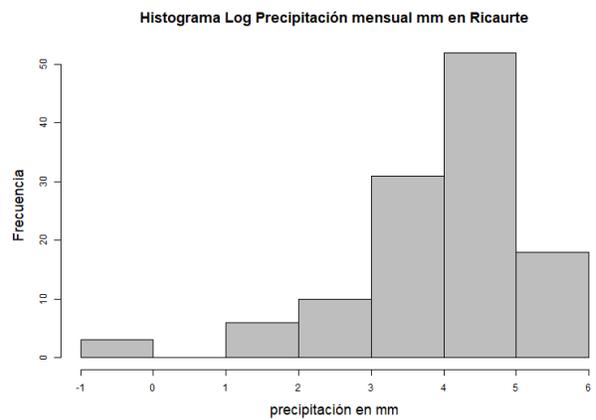


Figura 9
Histograma de precipitación mensual en Ricaurte



La precipitación promedio mensual en mm transformada se muestra en la Figura 10. revelando un comportamiento asimétrico.

Figura 10. *Histograma de precipitación mensual transformada con logaritmo en Ricaurte.*

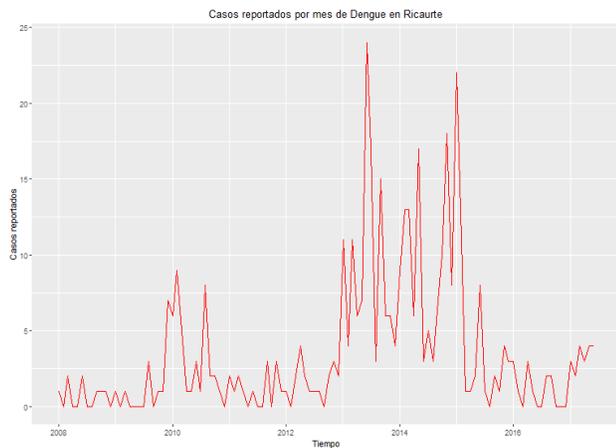


Análisis descriptivo de la serie variable dependiente

Durante el período de análisis, en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca se observaron 3 periodos epidemiológicos de máxima transmisión, los cuales correspondieron a los años 2013 al 2015 Figura 11. Con máximo casos de contagios mensual reportados de 24 para el año 2013, 18 casos reportados máximo para el año 2014 y un máximo valor de 22 casos reportados para el primer mes del año 2015, mostrando un

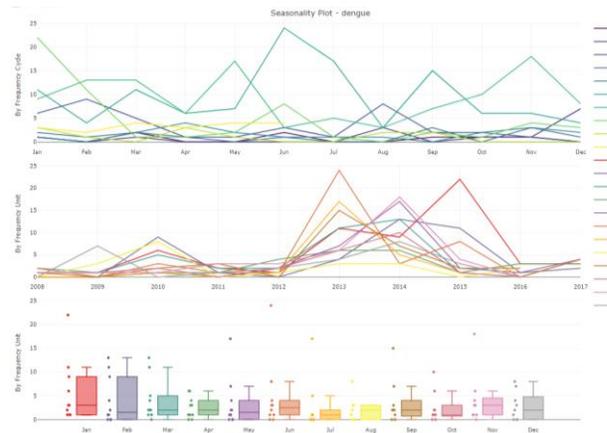
comportamiento fluctuante con reporte de casos de dengue entre 8 a 114 casos mensual.

Figura 11
Gráfico de la serie de dengue municipio de Ricaurte.



Se observó variación en los casos reportados de dengue mensual Figura 12., mostrando la mayor dispersión en los meses de enero y febrero, con concentración de casos para los meses de julio y octubre. Presentando mayores casos de contagio en los meses de enero a junio y menores contagios en el segundo semestre meses de julio a noviembre con presencia de altos contagios en el mes de diciembre. A su vez, se identificaron datos atípicos en todos los meses, principalmente en febrero. Los años 2013, 2014 y 2015 presentaron mayor variación de los datos.

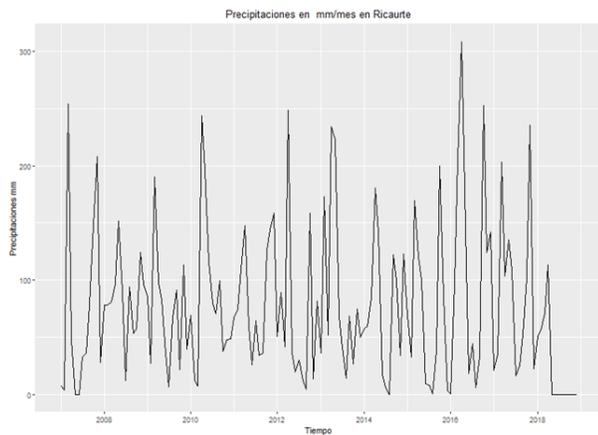
Figura 12
Gráfico de estacionalidad comportamiento de la variable dengue municipio de Ricaurte. Fuente: elaboración propia



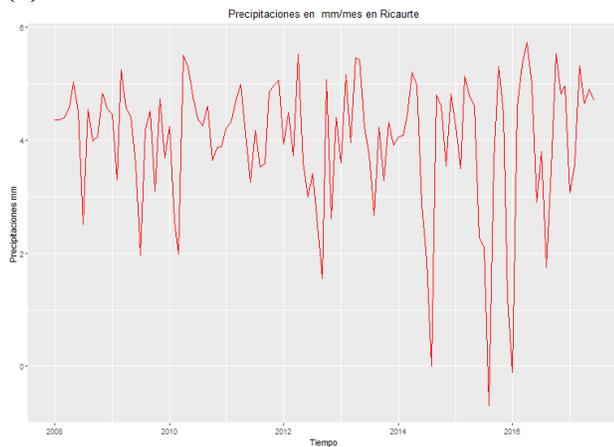
Análisis descriptivo de la serie variable independiente

El comportamiento mensual de la precipitación promedio en milímetros (mm) para el municipio de Ricaurte, Cundinamarca durante el periodo 2008-2017 Figura 13a., registró el mayor volumen de precipitaciones durante los años 2013 al 2016, con una mayor frecuencia en los meses de marzo, abril, mayo y octubre, con resultados superiores a los 150 milímetros (mm), la Figura 13b. refiere precipitaciones, en logaritmo, realizado con el fin de disminuir la variación con relación a la media, el año que reportó menos precipitaciones fue el 2012 con un 43% inferior al año más alto 2016 que reportó 1378 milímetros (mm) y el mes que registro menos precipitación fue agosto con un 1 milímetro (mm).

Figura 13
Gráfico de la serie de precipitaciones mm municipio de Ricaurte



(a)

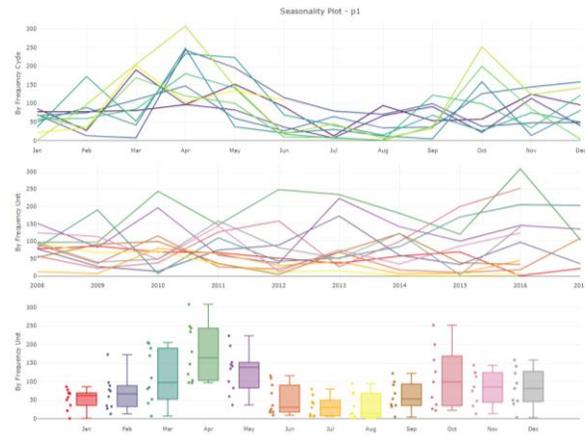


(b)

En la serie Figura 14. se observa el promedio de lluvia total mensual fue de 83.83 milímetros (mm). Durante el año las lluvias se distribuyeron en periodos de menor precipitaciones y altas precipitaciones. Los meses de diciembre, enero, febrero y los meses junio, julio y agosto presentaron bajas precipitaciones; siendo los meses de marzo a mayo y septiembre a octubre meses con mayores precipitaciones.

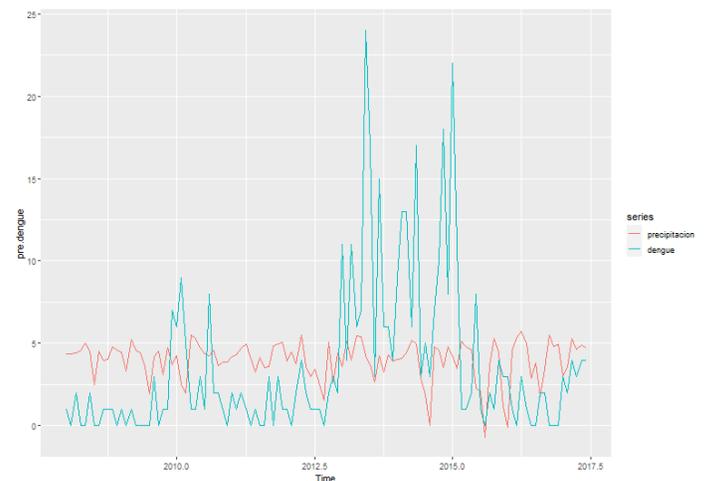
Figura 14

Gráfico de estacionalidad comportamiento de la variable precipitaciones en el municipio de Ricaurte



Se puede observar en la Figura 15. comportamiento no estacionario de las series de precipitación promedio mensual (mm) y casos reportados de dengue mensual para el municipio de Ricaurte, Cundinamarca. El periodo de mayor volumen de precipitaciones corresponde a una fracción de los periodos epidemiológicos que presentan mayores casos reportados de dengue en el municipio de Ricaurte del 2013 al 2015.

Figura 15. Gráfico de con las dos series



3.3. Identificación del modelo

Al estudiar la incidencia de las precipitaciones en milímetros (mm) con los casos de dengue reportados en el municipio de Ricaurte, con el fin

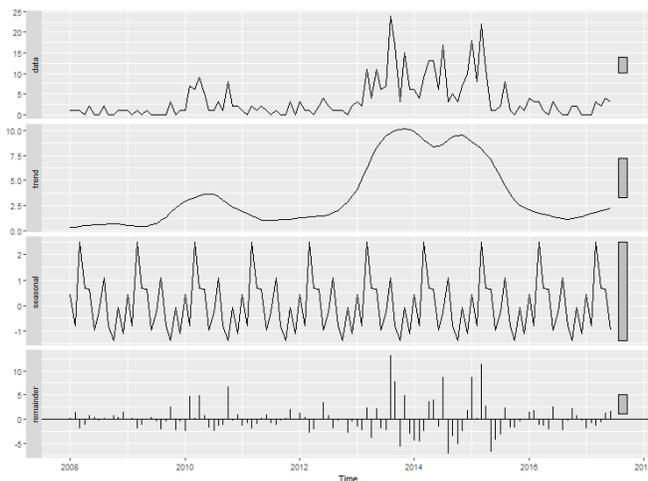
de realizar la identificación del modelo fue seleccionada como variable dependiente los casos reportados de dengue mensual.

Descomposición de la serie

Como resultado de la descomposición aditiva Figura 16. se identificó comportamiento de la serie no estacionaria con tendencia marcada por ciclos y presencia de datos aleatorios.

Figura 16

Gráfico descomposición aditiva de la variable dengue

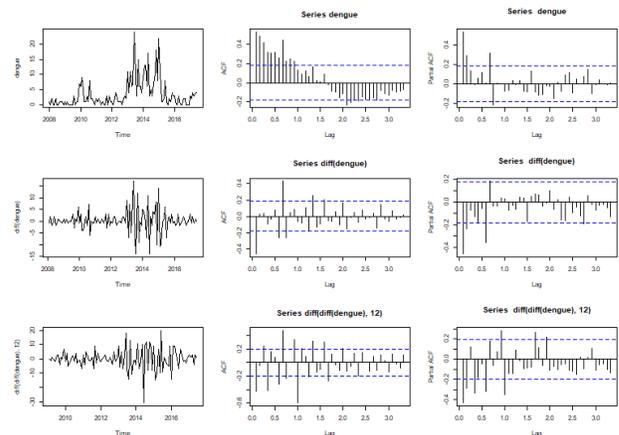


Aplicando metodología de Box-Jenkins para eliminar la tendencia de las series univariadas casos de dengue reportados.

En esta serie de tiempo Figura 17., en la primera fila se observó decaimiento lento de la curva haciendo referencia a un comportamiento no estacionario, eliminado por medio de una diferencia ordinaria, además presentó un comportamiento estacional en la segunda fila, a la cual se le realizó una diferencia estacional, finalmente dio como resultado una serie con una diferencia ordinaria y estacional.

Figura 17

Gráfico eliminación de tendencia y de la serie dengue



A continuación, se verifico la estacionariedad para la serie, con diferencia ordinaria y con diferencia estacional aplicando las pruebas aumentadas **Dickey-Fuller** o **Phillips-Perrón**, como se resume en la Tabla 2., evidenciando comportamiento no estacionario en la serie original y un comportamiento estacionario al aplicar tanto la diferencia ordinaria como la estacional, por ende, se seleccionó la serie con diferencia ordinaria y estacional.

Tabla 2

Pruebas raíz cuadrada de la serie casos de dengue

Diferencias	Dickey-Fuller	Phillips-Perron
Serie	p-value = 0.2736 No es estacionaria	p-value = 0.01 Es estacionaria
diferencia ordinaria	p-value = 0.01 Es estacionaria	p-value = 0.01 Es estacionaria
Diferencia estacional	p-value = 0.01 Es estacionaria	p-value = 0.01 Es estacionaria

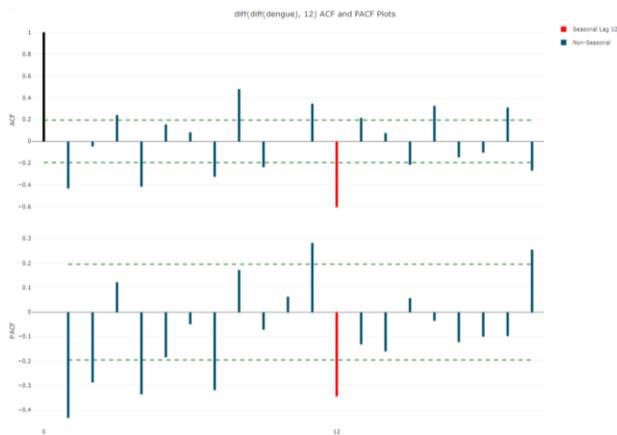
Nota [Columna de diferencias se refiere a la serie original de los casos de dengue, la segunda fila cuando se aplica la diferencia ordinaria y la tercera fila diferencia estacional]

Identificación del modelo por ACF / PACF

Se identifico el modelo SARIMA figura 18., por medio de la función de autocorrelación (ACF) y función de autocorrelación parcial (PACF). Identificando 36 modelos SARIMA(p,d,q) x (P,D,Q)s,.

Figura 18

Gráfico para identificación de los modelos



Posteriormente, se realizó el diagnostico a cada uno de los modelos por medio de visualización gráfica y pruebas analíticas a los residuos referenciados en la metodología, en la Tabla 3., se resumen los resultados obtenidos para el modelo SARIMA(0,1,9)x(0,1,1)12 seleccionado, el cual cumplió a satisfacción los test autocorrelación de **Ljung-Box**, test de normalidad basado en sesgo y curtosis. **Jarque Bera**, test de aleatoriedad **Runs** y BIC (Criterio de Información Bayesiana).

Tabla 3

Resultados diagnósticos de los residuales, modelo SARIMA seleccionado

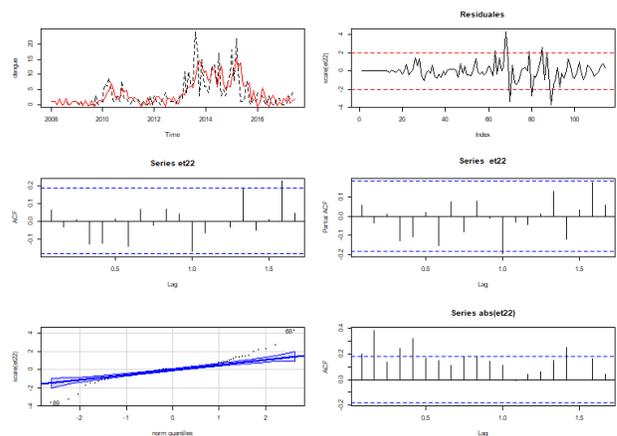
Modelo	BIC	Ljun_Box	Runs Test	Jarque Bera Test
SARIMA(0,1,9)x(0,1,1)12	602,0782	p-value = 0,6294 No se rechaza Ho.	p-value = 0,353 Los residuos son aleatorios	p-value < 2.2e-16 Se rechaza Ho. Los residuos no provienen de una distribución normal

Diagnostico por medio gráfico.

En la Figura 19 se observó una tendencia del residuo del modelo a ajustarse con la serie de datos reales, así mismo varios puntos se alejaron de la curva de normalidad y por último en la prueba de heterocedasticidad se observó puntos 1,3 y 4 por fuera del intervalo.

Figura 19

Gráfico para evaluar el comportamiento de los residuos.

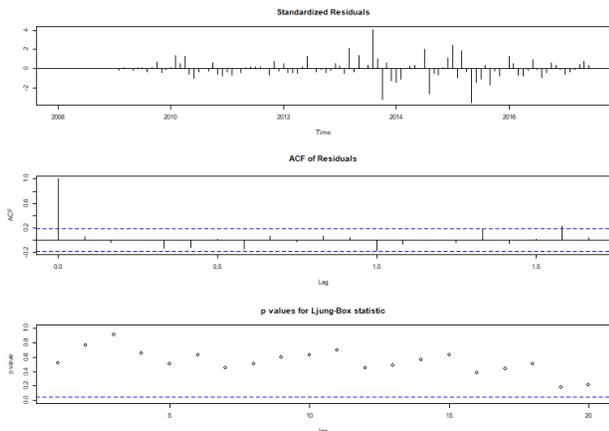


En la Figura 20. para la prueba de autocorrelación de Ljun_Box gráficamente se pudo corroborar que tienen un buen comportamiento para el lag establecido.

Figura 20

Gráfico autocorrelación de Ljun_Box

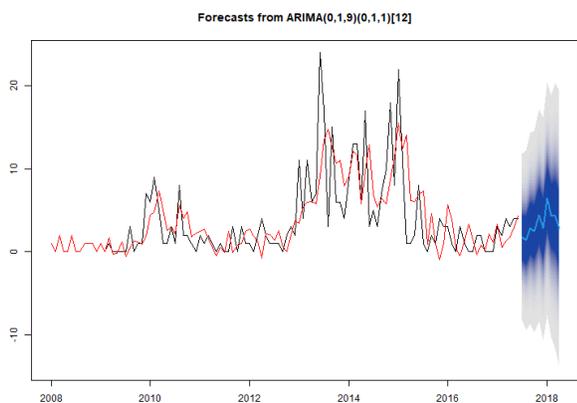
Análisis estadístico casos de dengue por mosquitos vector (*Aedes aegypti*) con relación a la variable climática precipitación en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, Cundinamarca mediante series temporales multivariantes



3.4. Evaluación del Modelo Univariado SARIMA (p,d,q)x(P,D,Q)

En la Figura 21. se observó el pronóstico de los casos de dengue reportados en el municipio de Ricarte, Cundinamarca para el modelo SARIMA, con tendencia a ajustarse a los datos reales.

Figura 21
Gráfico pronostico serie variable dependiente

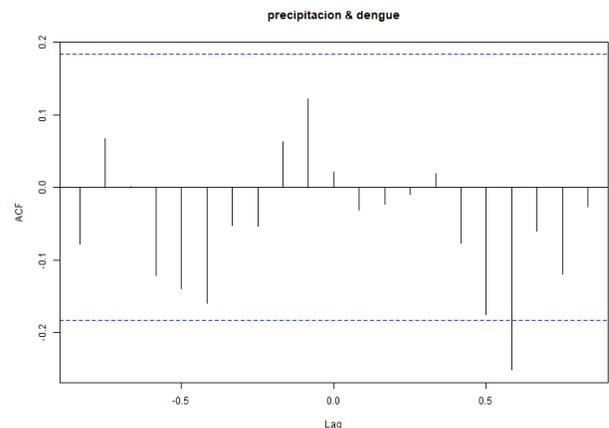


3.5. Modelo SARIMAX

Una vez seleccionado el modelo SARIMA(0,1,9)x(0,1,1)12, se identificaron los rezagos entre la variable dependiente casos de dengue reportados en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca con la variable independiente

precipitación promedio en milímetros (mm), por medio de la función de correlación cruzada de muestra (CCF). Figura 22.

Figura 22
Gráfico Funciones de correlación cruzada y relaciones entre 2 series temporales



En síntesis, se identificaron los rezagos que presentaron mayor correlación lo cuélas fueron en los periodos 4 a 6.

3.5.1. Identificación y diagnóstico del modelo

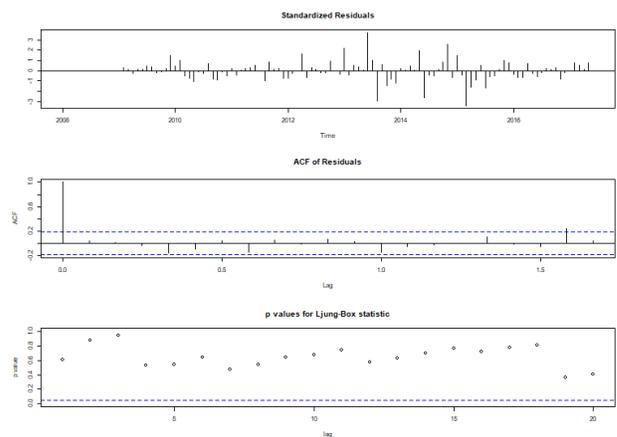
Se realizó el diagnostico al modelo SARIMA(0,1,9)x(0,1,1)12, con 5 rezagos, los resultados de test autocorrelación de Ljung-Box, test de normalidad basado en sesgo y curtosis Jarque Bera y BIC (Criterio de Información Bayesiana), se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4
Resultados diagnósticos de los residuales, modelo SARIMAX seleccionado

Modelo	BIC	Ljun_Box	Jarque Bera Test
SARIMA(0,1,9)X(0,1,1) sin rezago	628,187	p-value = 0.9634 No se rechaza Ho. No hay autocorrelación serial	p-value < 2.2e-16 Se rechaza Ho. Los residuos no provienen distribución
SARIMA(0,1,9)X(0,1,1) con 5 rezagos	644,638	p-value = 0.8691 No se rechaza Ho. No hay autocorrelación serial	p-value < 294 e-12 Se rechaza Ho. Los residuos no provienen distribución normal
SARIMA(0,1,9)X(0,1,1) con 5 rezagos ajustado	603,1862	p-value = 0.5718 No se rechaza Ho. No hay autocorrelación serial	p-value < 2.2e-16 Se rechaza Ho. Los residuos no provienen distribución normal
SARIMA(0,1,9)X(0,1,1) rezagado en 5	628,1423	p-value = 0,9203 No se rechaza Ho. No hay autocorrelación serial	p-value < 2.2e-16 Se rechaza Ho. Los residuos no provienen distribución normal

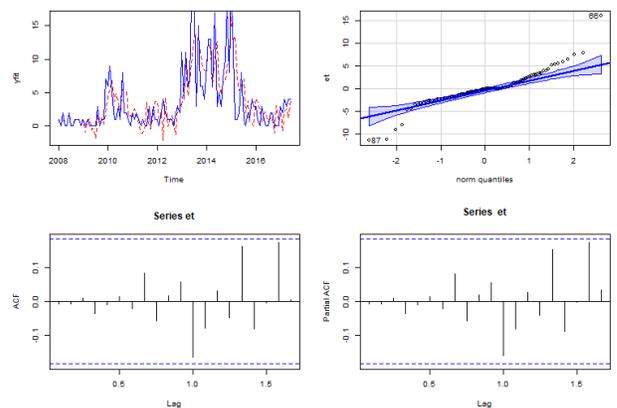
La Figura 23. test autocorrelación de Ljung-Box los residuos presentaron un buen comportamiento para el lag 20.

Figura 23
Gráfico autocorrelación de Ljun_Box



En la Figura 24. se observa que los residuos del modelo tienden a ajustarse a los datos reales, a su vez como lo evidenciaron las pruebas los puntos tienden a salirse de la normalidad y se cumplió la prueba de heterocedasticidad.

Figura 24
Gráfico de residuales del modelo SARIMAX



3.6. Evaluación del modelo

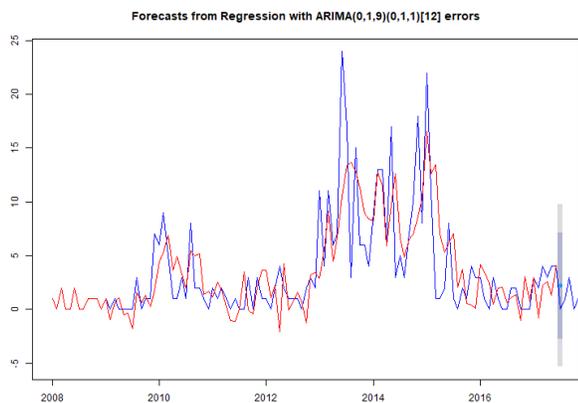
Una vez identificado el modelo que mejor se ajustó a los datos en el periodo comprendido entre enero del 2008 a junio del 2017, se verifico la capacidad de pronóstico con el segmento de periodo reservando julio a noviembre de 2017 (5 rezagos), como se observa en la Figura 25.

En la Tabla 5. y Figura 25. se observan los resultados del pronóstico para el periodo de 5 meses del modelo SARIMAX, el cual permitió establecer que la precipitación promedio mensual en el municipio de Ricaurte origina posibles casos de dengue en un tiempo de 5 meses.

Tabla 5
Resultados datos de la predicción modelo SARIMAX seleccionado.

Predicción	Julio	agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
\$pred3					
2017	2,187828	2,070086	2,886259	2,994515	4,426726
\$se					
2017	3,856788	4,150192	4,422498	4,680695	4,922743

Figura 25
Gráfico pronostico del modelo SARIMAX con 5 rezagos. serie variable dependiente



La capacidad de pronóstico del modelo se midió mediante el cálculo de la raíz del error cuadrático de la media (Root Mean Square Error, RMSE), Erro porcentual, obteniendo una mejor métrica para el modelo ajustado con 5 rezagos Tabla 6.

Tabla 6
Resultados capacidad de pronóstico RSME modelos SARIMAX.

Modelo	RSME
Modelo 1 sin rezagos	116,3421
Modelo 2 con 5 rezagos	116,2783
Modelo 3 ajustado con 5 rezagos	115,2196
Modelo 4 con 5 rezagos	143,7535

El modelo desarrollado permite dar cuenta del efecto que tienen las precipitaciones dentro de un periodo de 5 meses sobre los casos reportados de dengue en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca. A su vez, estudios realizados en la provincia de Sancti Spíritus en Cuba, reportaron que el número de focos para el crecimiento fue significativo en el período lluvioso en relación con el período seco ($t= 4,09$; $p= 0,04$). (10), con ello se puede inferir que las precipitaciones son un factor importante en el aumento de los contagios ya que genera ambientes propicios para el desarrollo del ciclo de vida del mosquito vector transmisor del dengue.

Así mismo, estudios realizados en Colombia, señalan que la precipitación fue la variable climática que mostró una asociación estadísticamente significativa con la incidencia del dengue, pero con un rezago de 20 semanas (Rúa G, *et al*,2013)

De los estudios que desarrollaron este tipo modelo cabe resaltar el realizado en Chiang Rai, Thailand, donde sus resultados mostraron una incidencia significativa del dengue con precipitación mensual (Wongkoon S, *et al*, 2011). El estudio realizado en Venezuela donde se evaluaron las condiciones de precipitación y temperatura del aire ocurridas una semana anterior a la evaluación en tiempo actual de los casos de dengue describieron una relación entre el 17 al 25% entre

las variables (Sáez V,2006). A sí mismo un estudio realizado en Sir Lanka desarrollo un modelo para evaluar cuantitativamente la relación entre las lluvias y los brotes de dengue y su idoneidad para predecir los brotes de dengue. (Pathirana S, *et al*, 2009).

4. Conclusiones

Con el estudio descriptivo se evidencio una distribución asimétrica y variabilidad de la precipitación promedio mensual demostrando las altas fluctuaciones durante el año con un promedio de precipitación superior a la mediana.

Los casos reportados de dengue para el municipio de Ricaurte demuestran un comportamiento estacional con mayores contagios durante el primer semestre y menores contagios durante el segundo semestre.

El modelo desarrollado multivariado SARIMA (p,d,q)x(P,D,Q)s con variable exógena permite describir la relación entre la variable precipitación en el desarrollo de la transmisión del dengue por la picadura de mosquitos infectados (*Aedes aegypti*), en zonas tropicales como el municipio de Ricaurte, Cundinamarca y predecir el comportamiento de esta enfermedad para periodos de 5 meses.

El modelo desarrollado para análisis de las variables permite evidenciar que la precipitación incide en la aparición de casos de dengue, lo cual da la posibilidad de extrapolar este estudio en otras regiones del país y el planeta con condiciones climáticas similares.

Se logro contrastar este estudio con los realizados en otras regiones logrando evidenciar que las variables precipitación y dengue presentan una relación estadística, lo cual confirma la importancia de implementar

programas de control y prevención para la diseminación de la infección, con el fin de evitar pérdidas económicas asociadas, y eliminación de los factores que faciliten su desarrollo en estas zonas.

Es importante continuar realizando estudios a nivel local de las condiciones climáticas principalmente precipitación con el fin de contar con las herramientas suficientes para evitar este tipo de vectores que afectan la salud pública y ocasionan pérdidas económicas y humanas.

Se requieren realizar más estudios predictivos no solo con la variable climática precipitaciones sino con otras con el fin de realizar proyecciones del dengue para desarrollar estrategias adecuadas de prevención, control y vigilancia

5. Referencias

1. Brady OJ, Gething PW, Bhatt S, Messina JP, Brownstein JS, Hoen AG, et al. Refining the Global Spatial Limits of Dengue Virus Transmission by Evidence-Based Consensus. *PLoS Negl Trop Dis.* 012;6(8):15. Recuperado de www.healthmap.org/dengue/
2. Instituto nacional de Salud (INS). Grupo de Vigilancia y Control de enfermedades transmisibles endoepidémicas y relacionadas con salud. Protocolo de Vigilancia de Dengue - 2022. Fecha de consulta 10 de noviembre de 2022. Recuperado de https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Lineamientos/Pro_Dengue.pdf
3. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. Actualización Epidemiológica: Dengue, chikunguña y Zika en el contexto de COVID-19. 23 de diciembre de 2021. Washington, D.C. OPS/OMS. 2021. Recuperado de

<https://bit.ly/2Pes0li>

4. Padilla J.C, Rojas D.P, Sáenz-Gómez R. (2012). Dengue en Colombia: epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Guías de impresión Ltda.; 2012. 248 p. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INV/Dengue%20en%20Colombia.pdf>

5. Gómez S.E. (2015). Informe de evento dengue, Colombia. Instituto Nacional de Salud. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscadoreventos/Informesdeevento/Dengue2015.pdf>

6. Gómez S.E. (2016). Informe de evento dengue, Colombia. Instituto Nacional de Salud. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscadoreventos/Informesdeevento/Dengue2016.pdf>

7. Rodríguez A.J, González D, Pardo L.C. (2019). Informe de evento dengue, Colombia. Instituto Nacional de Salud. Recuperado de https://www.ins.gov.co/buscadoreventos/Informesdeevento/DENGUE_2019.pdf

8. Gagnon S, Bush B, Smoyer-Tomic K. (2001). Dengue epidemics and the El Niño southern oscillation. *Clim Res.* 2001;19:35-43. Recuperado de file:///C:/Users/toshiba/Downloads/Dengue_Epidemics_and_the_El_Niño_Southern_Oscillat.pdf

9. Cruz C, Sebrango C, Cristo M, Pina C, Marquetti M, Sánchez L. (2010). Season and weather-dependent behavior of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) mosquitoes in Sancti Spiritus in the period 1999-2007. *Rev Cubana Med Trop* v.62 n.1 Ciudad de la Habana ene.-abr. 2010. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602010000100001

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017000900005

10. Palú A, García G, Tercero D, Torres M, Estrada L. (2017). Características del virus del dengue y su pronóstico bioclimático en el Departamento de Cortés. *MEDISAN* vol.21 no.9 Santiago de Cuba set. 2017. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017000900005

11. Rúa G, Carolina Suárez C, Chauca J, Ventosilla P, Almanza R. (2013). Modelado del efecto de la variabilidad climática local sobre la transmisión de dengue en Medellín (Colombia) mediante análisis de series temporales. *Biomédica* 2013;33(Supl.1):142-52 Rúa-Urbe GL, Suárez-Acosta C. Recuperado de <https://doi.org/10.7705/biomedica.v33i0.1444>

12. Rodríguez G, De la Hoz F. (2004). Dengue and dengue and vector behaviour in Cáqueza, Colombia, 2004. *Rev Salud Pública.* 2005; 7:1-15. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42270101>

13. Ramírez, A. (2021). 3 Most Popular Data Science Methodologies. Recuperado de <https://medium.com/@aj.ramirez23/3-most-popular-data-science-metho-e61f6600b83f>

14. Observatorio Regional y Ambiental y de Desarrollo Sostenible del río Bogotá. Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá. Recuperado de <https://orabo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/informacion-general-municipio?cd=c6f7d2a2ea2d1b8a09aca5844010d2d7>

15. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Censo Nacional de Población y Vivienda. Recuperado de

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>.

16. Instituto Nacional de Salud. Estadísticas de vigilancia rutinaria. 2019. Recuperado de <http://portalsivigila.ins.gov.co/Paginas/Vigilancia-Rutinaria.aspx>

17. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Precipitaciones Totales Mensuales. Recuperado de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Precipitaciones-Totales-Mensuales/mb4n-6m2g>

18. Fuente, S. (s.f.). Series Temporales modelo ARIMA Metodología de Box – Jenkins Instrumentos Estadísticos Avanzados. Universidad autónoma de Madrid. Recuperado de <https://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf>

19. Brockwell P, Davis R..(Eds). (2016). Introduction Time Series and Forecasting. Third Edition. Springer International Publishing Switzerland.

20. Wongkoon S, Jaroensutasinee M, Jaroensutasinee K. (2011). Climatic variability and dengue virus transmission in Chiang Rai, Thailand. *Biomédica*. 2011;27:5-13. Recuperado de <http://www.thebiomedicapk.com/articles/227.pdf>

21. Pathirana S, Kawabata M, Goonatilake R. (2009). Study of potential risk of dengue disease outbreak in Sri Lanka using GIS and statistical modeling. *J Rural Trop Public Health*. 2009;8:8-17. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/45072977_Study_of_potential_risk_of_dengue_dis

[ease_outbreak_in_Sri_Lanka_using_GIS_and_statistical_modelling](#)

22. Sáez V. Estudio correlativo entre dengue, precipitación y temperatura del aire, período 1995 a 2002. (2006). Municipio Libertador. Distrito Capital. Venezuela. *Terra*. 2006; 22: 123-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72103205.pdf>

23. Tsay R,S.(2014).Multivariate time series análisis. Chicago.Wiley.

24. Instructivo uso del estilo APA 7ª edición. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. 2020.