



**MODELO DE IMPACTO DE LAS PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES  
EN EL CAUDAL MÍNIMO MENSUAL DE LAS CUENCAS DEL RÍO CAUCA**

**IMPACT MODEL OF MONTHLY AVERAGE RAINFALL IN MINIMUM  
MONTHLY FLOW ABOUT SOME CAUCA'S RIVER BASIN**

Carlos Arturo Jiménez García  
[cajimenezg@libertadores.edu.co](mailto:cajimenezg@libertadores.edu.co)  
Fundación Universitaria Los Libertadores

**RESUMEN**

El río Cauca, es el segundo río más importante de nuestro país, pronosticar su comportamiento en cada una de sus cuencas, podría ser de gran utilidad para evitar problemas asociados a las variaciones de su caudal como desbordamientos e inundaciones; bajo la metodología Box & Jenkins y el método de datos panel de efectos fijos, se encontró un modelo explica el 89% de la variabilidad de los datos, el pronóstico fuera de muestra arroja datos por encima de los esperado en dos de las tres cuencas analizadas; muy útil para establecer límites mensuales y realizar un seguimiento al pronóstico previendo posibles crecimientos anormales del caudal.

**Palabras clave:** *Palabras clave:* ciclo hidrológico, caudal, precipitación, modelo hidrológico, datos panel.

**ABSTRACT**

Cauca's river is the second more important river in our country, try to forecast the behavior of the river on each basin, could be useful to avoid related to overflowing and flooding; using the Box & Jenkins methodology and data panel structure was found a model that explain the 89% of the variability about the statistics and forecast daring statistics above the expected on two of three basin's, quite useful to carry out monitoring to the forecast for to subnormal growth in flow.



**Keywords:** hydrological cycle, flow, rainfall, hydrological model, data panel.

## INTRODUCCIÓN

En el año 2015, el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), generó un informe denominado “*Los Nuevos escenarios de Cambio climático para Colombia*” (IDEAM, Los nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100, herramientas para la toma de decisiones., 2015); después de este informe, dicha entidad emana una serie de boletines de prensa; en particular el titulado “*Fuertes Impactos del Cambio Climático en los Páramos de Colombia*” (IDEAM, [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co), 2015) el cual deja claro que el cambio climático afectará los páramos de nuestro país y dichas afectaciones se verán representadas en un aumento circunstancial de la temperatura máxima entre un  $0.97^\circ$  y  $1.17^\circ$  en pisos térmicos entre los 3700 m y los 4700 m de altitud; además del aumento circunstancial de la temperatura máxima entre un  $0.36^\circ$  y  $0.54^\circ$  en pisos térmicos entre los 3100 m y los 3700 m de altitud; el IDEAM hace la siguiente claridad en el comunicado: “Estos resultados son preocupantes por que los páramos se han catalogado como ecosistemas estratégicos de alta montaña, debido al papel crucial que desempeñan en la regulación del agua y a la oferta de otros servicios ambientales, como la captación de carbono, la producción de oxígeno y la biodiversidad”.

La misma entidad presenta un informe por regiones en el cual involucra cada departamento a nivel nacional y describe de manera general los principales cambios en la precipitación, la temperatura y algunas afectaciones de orden particular con renglones económicos principales de la región; sin embargo no se hace referencia explícita a que estos cambios generen afectaciones positivas o negativas a los diferentes caudales de los ríos que componen la geografía nacional dejando abierta la posibilidad de la realización de estudios hidrológicos en los distintos departamentos de las diferentes regiones que componen la geografía de nuestro país.

Precisamente en el 2015 cuando ejercía como docente de la I.E. Augusto E. Medina perteneciente a la Caja Compensación Familiar de Fenalco Tolima, bajo directrices de la



rectoría y de las decisiones tomadas en el área de matemáticas, se decidió implementar el análisis de gráficos y medidas de tendencia central a partir de los datos reales que se proporcionaban en la página del IDEAM (IDEAM, [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co), 2015); al realizar los diferentes estudios con el estudiantado, de las tendencias del caudal de río Cauca, con gran preocupación se evidenció un descenso muy marcado el caudal del mismo sin especificación geoespacial alguna; se debatieron las posibles causas con los estudiantes pero no se llegó a ninguna conclusión directa sobre la disminución de dicho caudal; de allí el interés personal por el estudio de las razones que pueden llevar a una fuente hídrica tan importante para el país a poseer una tendencia a la baja tan significativa en su caudal.

Es de vital importancia conocer los procesos, componentes, elementos y afectaciones que se pueden dar alrededor de una fuente hídrica para tomar decisiones que tienen que ver con la gestión del recurso; por ejemplo, la agresividad de las precipitaciones es uno de los problemas que puede afectar directamente el caudal de una fuente hídrica a partir de las precipitaciones, su agresividad y el aumento de las escorrentías (escurrimientos); estas a su vez involucran varios tipos de deslizamientos que pueden ocasionar pérdidas materiales y de vidas humanas (Medina, 2014). Bajo una premisa similar el trabajo de caracterización hidrológica de los puntos de monitoreo de la cuenca baja del río Cauca de Gómez y Galindo (Gómez Valbuena & Galindo Galindo, 2017) exponen:

La ubicación de nuestro país en la zona tropical lo hace mucho más susceptible a los impactos que acarrea el cambio climático; fenómenos climáticos como “El niño” y “La niña”, generan que el territorio nacional se vea afectado por temporadas de lluvias intensas, o por lo contrario temporadas de largas sequías, ambos fenómenos son igualmente perjudiciales, ya que la ausencia de lluvia trae consigo afectaciones en la geomorfología de los suelos; afectaciones que una vez llegan las lluvias causan desprendimientos y sus consecuentes inundaciones (p.12).

Además de traer consecuencias de abastecimiento y consumo del recurso hídrico para actividades económicas que dependen del mismo como lo especifica en sus resultados el



trabajo de grado de Vivas y Parrado (Parrado Montes & Vivas Díaz , 2018), quienes concluyeron que debido a la baja del porcentaje del caudal del río Blanco-Negro-Guayuriba se presentaron problemas de consumo principalmente para las poblaciones que desarrollan cultivos.

Entonces se hace necesario una gestión de los recursos hídricos de manera responsable, con una visión sostenible y con la idea de preservación del recurso; de allí la importancia del enfoque ecosistémico para la GIRH (Martínez Valdés & Vallejo García , 2020):

Millones de personas dependen de los servicios ecosistémicos provistos por las cuencas: ríos, lagunas, humedales, sistemas de agua subterránea y las cuencas altas proveen servicios ecosistémicos críticos que muchas veces son vitales para las comunidades, sociedades y economías. En particular los ecosistemas de agua dulce son extremadamente productivos y por eso toman gran parte de los niveles mínimos de subsistencia, especialmente de las poblaciones rurales pobres. Los servicios ecosistémicos contribuyen directamente al mantenimiento de la salud humana, en particular de la gente más pobre. (p. 59).

Por estas y otras razones es relevante y pertinente realizar estudios de orden hidrológico que nos ayuden a entender mejor el comportamiento de las fuentes hídricas, en especial los ríos de nuestro país; lo cual debería convertirse en una política de estado y en las instituciones educativas de todos los órdenes a nivel nacional; por ahora este trabajo pretende generar una contribución, aunque pequeña pero muy significativa, para otros trabajos en el mismo orden y de mayor o menor envergadura.

## **REFERENTES TEORICOS**

El ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual el agua sufre transformaciones a partir de la incidencia de agentes externos, en palabras de Allen Bateman:



# LOS LIBERTADORES

## FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

El agua líquida proveniente de las lluvias o proveniente de las nieves derretidas forma los torrentes y cascadas en la alta montaña para luego formar los cauces de ríos y lagos, para llegar a los océanos (Bateman, 2007).

Bateman define la forma en que el proceso hidrológico genera acuíferos por escurrimiento de agua y capas de nieve en las altas montañas que terminan dando vida a los ríos; también aclara el concepto de cuenca como “unidad hidrológica superficial” y el concepto de río como “sistema dinámico de flujo de agua y sedimentos” (Bateman, 2007). Al tratar de interiorizar esta información es imposible desligar dicho flujo como un elemento que posee característica medible en el tiempo y además dicha característica varía a paratir de los procesos del ciclo hidrológico (Precipitación, evaporación entre otros) y de los procesos antrópicos a los cuales es sometido dicha flujo.

El flujo como elemento que posee característica medible de un río en el tiempo, se asemeja a lo que conocemos como caudal; “Volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinado” (Parrado Montes & Vivas Díaz , 2018) y se puede medir a partir de una fórmula matemática por medio del método volumétrico (magnitud litros o galones por segundo) (Corantioquia, 2014) o se puede estimar a partir de modelación hidráulica o hidrológica; el análisis del comportamiento de este flujo es de vital importancia para planes de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) y para los Sistemas de Alerta Temprana (SAT).

Pero no se puede hablar de caudal sin hacer referencia relevante al concepto de precipitación, debido que es uno de los procesos del ciclo hidrológico que incide en la variación del volumen de flujo del agua; definida como “Agua meteórica recogida sobre la superficie; básicamente lluvia, nieve y granizo” (Rivas Escobar, 2014) o “Conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera como lluvia, llovizna, nieve, granizo, neblina, rocío, escarcha, chubasco, tromba” su magnitud es el  $mm$  representado como la altura de un litro de agua en superficie de  $1m^2$ , radio entre  $0.5 mm$  y  $7 mm$  y velocidad de  $3 \frac{m}{s}$  (Ramírez Medina, 2014).



Las mediciones son tomadas por un pluviómetro o un pluviógrafo entre los cuales se encuentran algunos con mecanismos sencillos pero muy eficientes como el pluviómetro tradicional, el de sifón y el cangilómetro; los cuales son de tipo mecánico; también se encuentran Sensores de Precipitación Total y precipitación medida a través de radares (Renom, 2011). Como todo mecanismo, los pluviómetros y los sensores están sujetos a errores y en la realidad es complejo capturar la información debido a la sensibilidad de característica de la precipitación con respecto a la velocidad y dirección del viento y la evaporación.

## **METODOLOGÍA**

La metodología que hizo posible este trabajo es de tipo descriptivo estadístico ya que se realiza una exploración gráfica previa para identificar algunas características de comportamiento de los caudales de las tres cuencas del río Cauca, en tres estaciones pluviográficas e hidrológicas (una por cada cuenca) que llevan el mismo nombre; los datos fueron obtenidos de la página web del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) en la cual se encuentran dichos datos de manera abierta para su descarga y posterior tratamiento; dicho tratamiento se desarrollará a partir de una herramienta econométrica denominada “Datos tipo Panel” que permite el análisis de la heterogeneidad de los efectos fijos de una variable o varias variables explicativas a una variable explicada y también los efectos temporales; lo anterior sustentado en la metodología propuesta por George Box y Gwilym Jenkins en el año de 1976 para el tratamiento de modelos autorregresivos y de medias móviles.

El enfoque desarrollado es de tipo cuantitativo, ya que se trató de identificar a partir de un modelo de pronóstico, la relación de causalidad y el efecto de las precipitaciones caudales de las siguientes estaciones ubicada en diferentes municipios de los diferentes departamentos que recorre el río Cauca:



Nombre de la Estación	Tipo de Estación	Cuenca	Ubicación	
			Municipio	Departamento
La Virginia	Pluviográfica e Hidrológica	Alta	La Virginia	Risaralda
Bolombolo	Pluviográfica e Hidrológica	Media	Venecia	Antioquia
La Coquera	Pluviográfica e Hidrológica	Baja	Caucasia	Antioquia

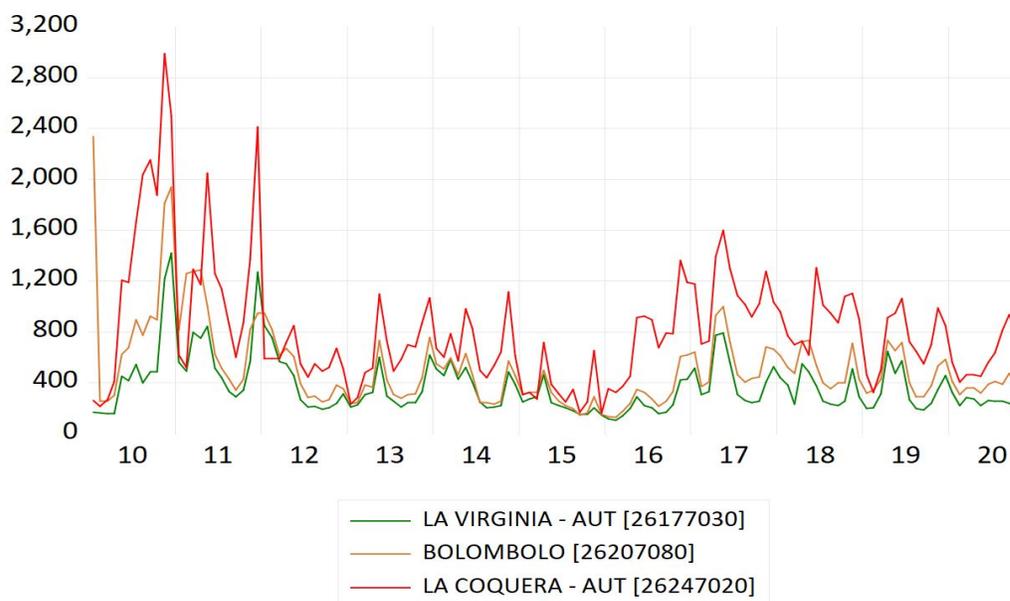
*Tabla 1 Estaciones Hidrometeorológicas y pluviométricas*

La metodología de Box & Jenkins para datos panel se basó en realizar la prueba de Hausman para realizar la identificación y definir si el tipo de modelo adecuado es un “Modelo de Efectos Fijos” o un “Modelo de Efectos Variables” para su posterior estimación y verificación de diagnóstico, con el fin de precisar un pronóstico futuro del comportamiento del caudal basado en la precipitación.

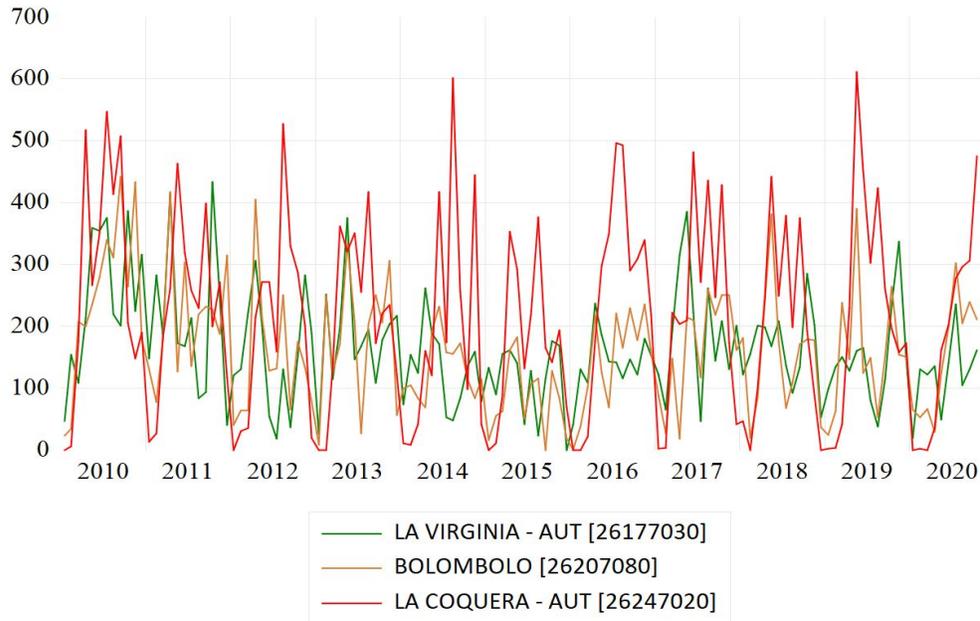
## RESULTADOS

### 5.1. Análisis descriptivo

Al realizar un análisis descriptivo de los datos se encontraron los siguientes resultados:



*Ilustración 1 Grafica de Secciones Cruzadas Caudales*



*Ilustración 2 Gráfica de Secciones Cruzadas Precipitación*

La mayor precipitación y el mayor caudal lo presenta la cuenca baja de río Cauca, representada por la estación “La Coquera” ubicada en el municipio de Caucasia, en el departamento de Antioquia; mientras que la cenca alta representada por la estación “La Virginia” ubicada en el municipio de La Virginia en el departamento de Antioquia; presenta menor precipitación y por ende menor caudal en los periodos de tiempo comprendidos en entre el primero de enero de 2010 y el 31 de octubre de 2020.

Descriptive Statistics for CMM  
Categorized by values of CMM  
Date: 11/22/20 Time: 15:42  
Sample: 2010M01 2020M10  
Included observations: 390

CMM	Mean	Max	Min.	Std. Dev.	Obs.
[0, 1000)	456.6232	986.0000	106.0000	218.8624	345
[1000, 2000)	1262.921	1939.000	1003.000	238.8420	38
[2000, 3000)	2355.000	2991.000	2037.000	332.8598	7
All	569.2590	2991.000	106.0000	406.3655	390

*Tabla 2 Estadísticos por Clasificación del caudal*



Descriptive Statistics for PMM  
Categorized by values of PMM  
Date: 11/22/20 Time: 15:41  
Sample: 2010M01 2020M10  
Included observations: 390

PMM	Mean	Max	Min.	Std. Dev.	Obs.
[0, 200)	103.7490	199.0000	0.000000	60.93456	239
[200, 400)	266.2000	399.0000	200.0000	55.98718	125
[400, 600)	455.4167	547.0000	405.0000	40.64257	24
[600, 800)	606.5000	611.0000	602.0000	6.363961	2
All	180.0359	611.0000	0.000000	122.2447	390

*Tabla 3 Estadísticos por clasificación de la precipitación*

Los caudales se encuentran entre 106 y 2991 litros por segundo; la mayoría de estos caudales se ubican entre 106 y 986 litros por segundo, con un promedio de volumen 563.3 litros por segundo. Mientras que las precipitaciones oscilan entre 0 y 611 milímetros, ubicándose la mayoría entre 0 y 199 milímetros con un promedio general de precipitación de 180 milímetros por mes.

La variable CMM (Caudal Mínimo Mensual) no supero la prueba de igualdad de varianza, se intuyó que se debía realizar una transformación a la variable, dicha transformación consistió en aplicar el logaritmo a cada uno de los datos de las variables; y se sometió a las pruebas de rutina para diagnosticar el modelo.



## 5.2. Modelo de Pronóstico

Dependent Variable: LOG(CMM)  
 Method: Panel Least Squares  
 Date: 11/28/20 Time: 12:04  
 Sample: 2010M01 2019M12  
 Periods included: 120  
 Cross-sections included: 3  
 Total panel (balanced) observations: 360

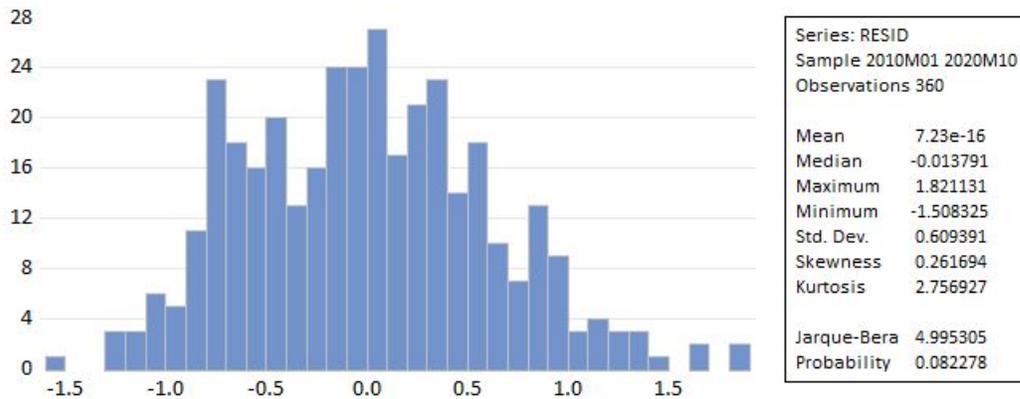
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(PMM)	0.075261	0.016384	4.593599	0.0000
C	5.800481	0.079596	72.87411	0.0000
Effects Specification				
Cross-section fixed (dummy variables)				
Period fixed (dummy variables)				
Root MSE	0.211029	R-squared	0.888727	
Mean dependent var	6.160650	Adjusted R-squared	0.831447	
S.D. dependent var	0.633506	S.E. of regression	0.260087	
Akaike info criterion	0.409687	Sum squared resid	16.03190	
Schwarz criterion	1.737439	Log likelihood	49.25634	
Hannan-Quinn criter.	0.937626	F-statistic	15.51555	
Durbin-Watson stat	0.815502	Prob(F-statistic)	0.000000	

*Tabla 4 Modelo de pronóstico*

El modelo explica aproximadamente el 89% de la variabilidad de los datos y los aportes de la variable precipitación media mensual y el intercepto son significativos; el modelo se estableció con las variables en un periodo temporal de 10 años a partir de enero de 2010 hasta diciembre de 2019; tenemos un panel balanceado de 120 periodos temporales y 360 observaciones.

El modelo supero las pruebas habituales que se realizan en proceso de diagnóstico

## 5.3. Diagnóstico del Modelo



*Ilustración 3 Prueba de normalidad de los residuales*

Redundant Fixed Effects Tests  
Equation: Untitled  
Test cross-section and period fixed effects

Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section F	275.266088	(2,237)	0.0000
Cross-section Chi-square	432.303872	2	0.0000
Period F	9.639287	(119,237)	0.0000
Period Chi-square	635.301840	119	0.0000
Cross-Section/Period F	14.329205	(121,237)	0.0000
Cross-Section/Period Chi-square	762.534659	121	0.0000

*Tabla 5 Prueba de máxima verosimilitud de los efectos fijos*

La prueba normalidad muestra que los residuales de los datos provienen de una distribución normal debido con un 95% de confianza, además tanto los efectos fijos de los individuos y de los periodos son significativos para el modelo.



Cross-Section Dependence Test

Series: RESID

Null hypothesis: No cross-section dependence (correlation)

Sample: 2010M01 2020M10

Periods included: 120

Cross-sections included: 3

Total panel observations: 360

Note: non-zero cross-section means detected in data

Cross-section means were removed during computation of correlations

Test	Statistic	d.f.	Prob.
Breusch-Pagan LM	193.7502	3	0.0000
Pesaran scaled LM	77.87344		0.0000
Bias-corrected scaled LM	77.86083		0.0000
Pesaran CD	13.87302		0.0000

*Tabla 6 Prueba de correlación de los residuales*

Test for Equality of Variances of RESID

Categorized by values of RESID

Date: 11/28/20 Time: 16:32

Sample (adjusted): 2010M01 2019M12

Included observations: 360 after adjustments

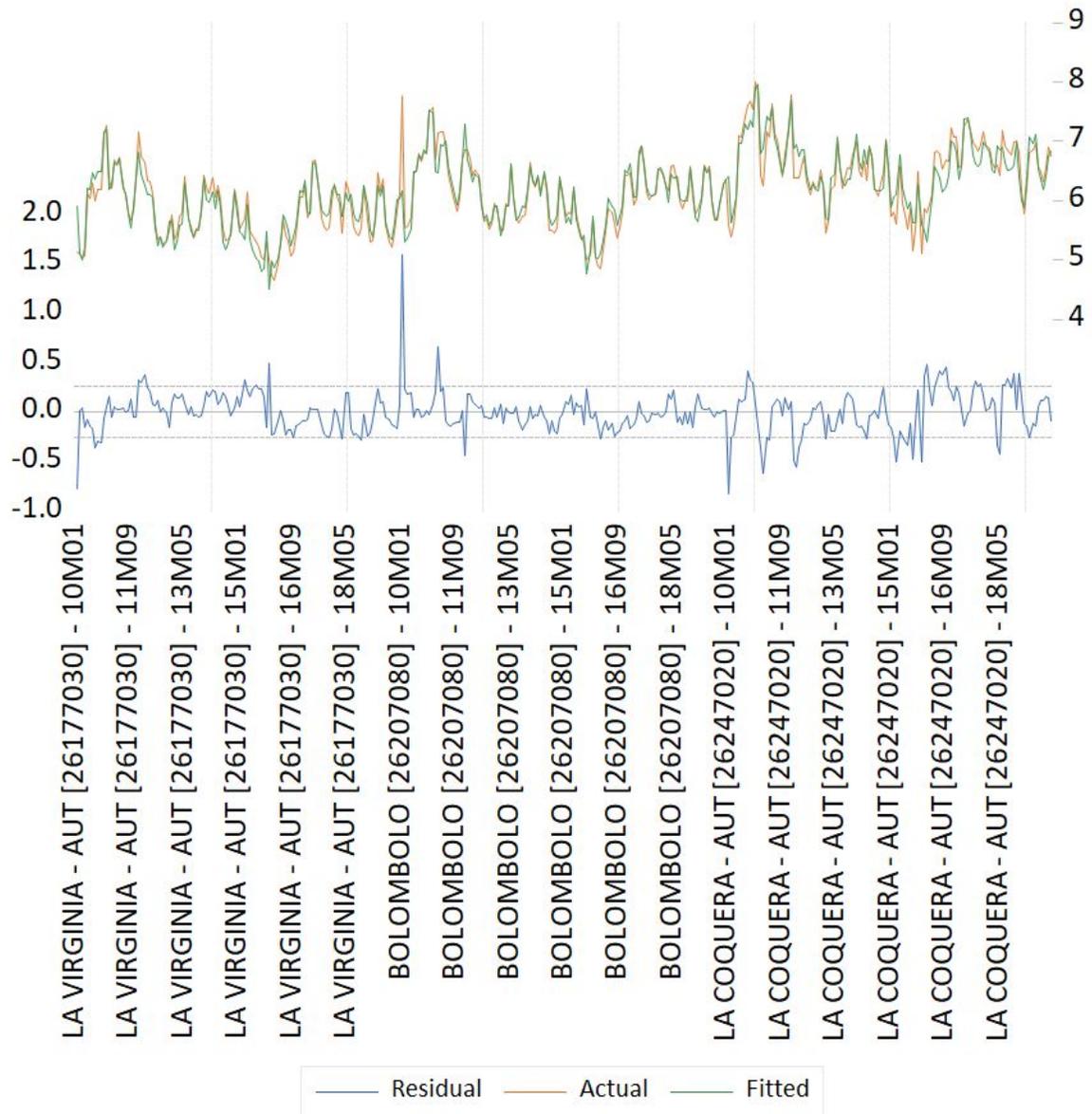
Method	df	Value	Probability
Bartlett	3	9.447751	0.0239
Levene	(3, 356)	5.102036	0.0018
Brown-Forsythe	(3, 356)	4.760253	0.0029

*Tabla 7 Prueba de Heterocedasticidad de los residuales*

Los residuales (errores) del modelo no tienen correlación serial y por ende son transversalmente independientes; además estos son heterocedásticos, lo cual indica que la varianza de los errores no es constante entre las secciones.

#### 5.4. Ecuación del Modelo y su Representación

$$\log \log CMM = 5.8005 + 0,075261 \log \log PMM - 0.368699 E1 - 0.051891 E2 + 0.420590 E3 + 0.1865$$



*Ilustración 4 Comparativo del modelo*

5.5. Pronóstico fuera de la Muestra



# LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

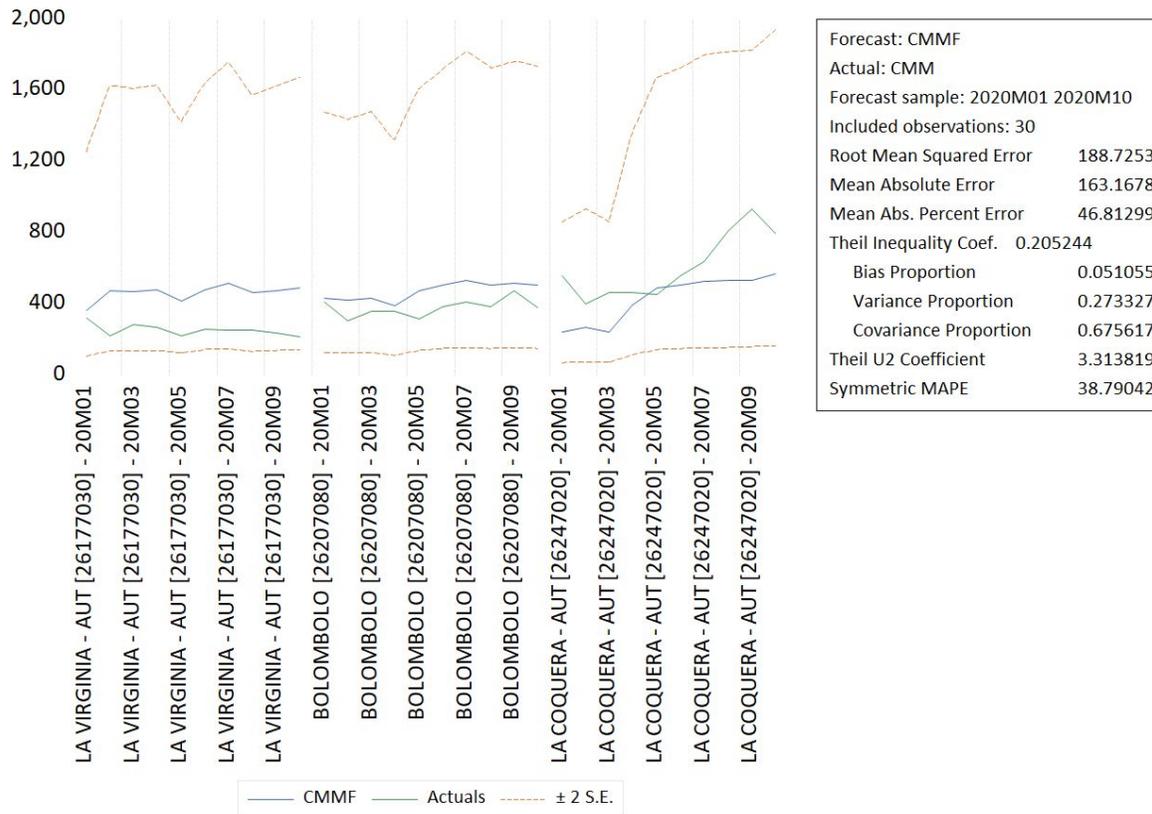


Ilustración 5 Pronóstico del modelo

El modelo seleccionado se ajusta mejor al individuo de la segunda sección, tratando de seguir los valores originalmente capturados por las estaciones en cuanto a caudal se refiere; el modelo presenta un buen ajuste.

Estación	Fecha	Caudal	Caudal Estimado
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/01/2020	325	369
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/02/2020	223	480
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/03/2020	287	475
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/04/2020	274	481
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/05/2020	223	420
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/06/2020	262	484
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/07/2020	255	519
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/08/2020	255	465



LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/09/2020	239	479
LA VIRGINIA - AUT [26177030]	1/10/2020	218	493
BOLOMBOLO [26207080]	1/01/2020	412	436
BOLOMBOLO [26207080]	1/02/2020	309	423
BOLOMBOLO [26207080]	1/03/2020	361	437
BOLOMBOLO [26207080]	1/04/2020	359	391
BOLOMBOLO [26207080]	1/05/2020	318	475
BOLOMBOLO [26207080]	1/06/2020	390	508
BOLOMBOLO [26207080]	1/07/2020	412	537
BOLOMBOLO [26207080]	1/08/2020	387	510
BOLOMBOLO [26207080]	1/09/2020	476	520
BOLOMBOLO [26207080]	1/10/2020	380	512
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/01/2020	564	248
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/02/2020	406	272
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/03/2020	465	248
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/04/2020	465	401
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/05/2020	454	493
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/06/2020	564	509
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/07/2020	640	531
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/08/2020	817	536
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/09/2020	939	538
LA COQUERA - AUT [26247020]	1/10/2020	800	571

*Tabla 7 Datos actuales vs pronóstico*

## CONCLUSIONES

El modelo explica aproximadamente el 89% de la variabilidad de los datos, por lo cual existe un buen ajuste de este para el pronóstico futuro.

Los estadísticos de este modelo son paramétricos, en la ilustración 4 se observa que hay algunos valores de los residuales fuera de las bandas de confianza, lo cual puede



representar un problema de consistencia del modelo para predicciones en periodos de tiempo extensos.

Gran parte de los valores estimados por el modelo en las estaciones denominadas La Virginia y Bolombolo, durante los primeros 10 meses del año 2020 se encuentran por encima de los valores capturados por dichas estaciones; sin embargo, en la estación denominada La Coquera gran parte de los valores estimados por el modelo se encuentran por debajo de los capturados por dicha estación.

El impacto de las precipitaciones medias mensuales es directamente proporcional al aumento del caudal, sin embargo, los valores pronósticos por el modelo se encuentran por debajo del límite de caudal mínimo mensual, el cual es de  $900 \frac{L}{s}$ .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bateman, A. (2007). *Hidrología Basica Aplicada*. Cartagena: Universidad Politénica de Cartagena. Obtenido de [www.upct.es](http://www.upct.es).

Corantioquia. (2014). *Medición del Caudal*. Medellín: Corantioquia.

Gómez Valbuena, J. A., & Galindo Galindo, J. A. (2017). *Caracterización hidrológica de 10 puntos de monitoreo de la cuenca baja del río Cauca*. Bogotá D.C.

IDEAM. (2015). *Los nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100, herramientas para la toma de decisiones*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2015). [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Fuertes+Impactos+del+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+los+P%C3%A1ramos+de+Colombia.pdf/932d5138-9d91-45ac-baa8-4295634aefb>

Martínez Valdés, Y., & Vallejo García, V. M. (2020). *Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos*. La Habana.



- Medina, C. R. (2014). *Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de su agresividad en la cuenca de los ríos Ubaté y Suárez en el noroccidente del departamento de Cundinamarca*. Bogotá D.C.
- Nieto, J. (2017). Modelo de regresión lineal múltiple para determinar influencias del índice niño. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 25-30.
- Parrado Montes, M. L., & Vivas Díaz, N. A. (2018). *Análisis comparativo de caudales máximos en un multi-escenario de cambio climático en la cuenca del río Blanco-Negro-Guayuriba, Meta*. Villavicencio.
- Parrado Montes, M. L., & Vivas Díaz, N. A. (2018). *Análisis Comparativos de Caudales Máximos en Multiescenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Río Blanco-Negro-Guayuriba*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Ramírez Medina, C. (2014). *Análisis del Comportamiento de las Precipitaciones y de su Agresividad Climática en las Cuencas del Río Ubaté y Suárez en el Noroccidente del Departamento de Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.
- Renom, M. (2011). *meteo.fisica.edu.uy*. Obtenido de [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA\\_teotico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf)
- Rivas Escobar, J. A. (2014). *Análisis de la Correlación de Datos de la Precipitación entre el Satélite TRMM y las Estaciones Pluviométricas Ubicadas en la Cuenca del Río Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.
- Varela Márquez, M. A. (2020). *Caudal Ecológico con Instrumento para el Ordenamiento del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.
- Vengoechea, A. (2012). *Library.fes*. Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09155.pdf>
- Zarama-Alvarado, S. (2018). Los desafíos de tratar con contaminantes nitrogenados en aguas subterráneas. *Revista Científica*, 33(3), 230-242. <https://doi.org/10.14483/23448350.13545>