



Fuente: <http://www.sangilturismo.com/index.php/sitios-turisticos-de-san-gil-santander/rio-fonce-de-san-gil-santander>

---

---

---

# Modelación Pearsoniana del Comportamiento de las Lluvias Multianuales en Santander con Énfasis en la Cuenca del Rio Fonce

---

---

---

Libonatti Cristian Fernando  
Rivera Hebert Gonzalo

# Modelación Pearsoniana del Comportamiento de las Lluvias Multianuales en Santander con Énfasis en la Cuenca del Río Fonce

LIBONATTI Cristian Fernando  
Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,  
u1102351@unimilitar.edu.co  
Estudiante Ingeniería Civil

RIVERA Hebert Gonzalo  
Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,  
hebert.rivera@unimilitar.edu.co  
Ph. D. Hidrología

*Resumen: Este trabajo presenta la modelación del comportamiento histórico de las precipitaciones totales anuales en 64 estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento (con énfasis en la cuenca del río Fonce) de Santander mediante el uso del Sistema de Pearson. Este sistema, a diferencia de los modelos estadísticos tradicionales (tipo Gumbel, Gamma y otros) permite enlazar el comportamiento de las lluvias al modelo FPK, cuya ventaja radica en modelar procesos no estacionarios a futuro. El ajuste de cada modelo estadístico del Sistema de Pearson se llevó a cabo mediante el criterio kappa K. Los resultados demuestran que el modelo pearsoniano tipo IX describe la mayor cantidad de comportamientos de la precipitación en Santander. Este esfuerzo es el resultado del proyecto de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada No. INV IMP 2134 de 2016, el cual fue financiado con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada y desarrollado junto con la Universidad de Pamplona. Copyright © L'sprit Ingenieux.*

*Palabras clave: Río Fonce, Sistema de Pearson, Precipitación.*

*Abstract: This paper presents the modeling of the historical behavior of the total annual rainfall in 64 meteorological stations located in the department of Santander using the Pearson system. The fit of each statistical model System Pearson carried out by the criterion kappa K. The type IV pearsoniano model describing Most of the precipitation behaviors in Santander. This effort is the result of the research project of the Militar Nueva Granada University INV IMP No. 2134 of 2016, which was financed with resources from the office of Research of the Militar Nueva Granada University and developed with the University of Pamplona. Copyright © L'sprit Ingenieux.*

*Keywords: Fonce River, meteorological stations, Pearson System*

## 1. Introducción:

En la actualidad se discute la existencia de procesos no estacionarios en el comportamiento del agua tanto en la atmósfera como en la hidrósfera y litosfera. El tema es exigente y pretende acabar con el paradigma de la estacionariedad en el diseño de obras que realizan los ingenieros. Modelos diversos se están explorando para dominar la no estacionariedad en los procesos y así superar las dificultades que podría afrontar la ingeniería a futuro. Una de las alternativas es presentada por Benjamin J. (1970) y Poveda G. (2012), la cual asume que combinar dos leyes de distribución de probabilidades (una en el caso estacionario y otra para el no estacionario) ofrece resultados satisfactorios y otra la han presentado Einstein A. (1905), Bachelier (1900), traducida a la ingeniería civil e hidrología por Kovalenko V. (1992), Domínguez Calle E. et al (2010), Rivera et al. (2013) que consiste en aplicar el modelo Fokker-Planck-Kolmogorov – FPK para ambos casos.

La ventaja de la segunda alternativa es que permite identificar y modelar la etapa de transición de una ley de distribución a otra diferente dependiendo de las propiedades físicas de la atmósfera, hidrósfera y litosfera, según sea el caso; sin embargo, su aplicación en la ingeniería civil, hidrología y meteorología ha resultado difícil, habida cuenta que exige tener conocimientos en materia del Sistema de Pearson y Teoría Moderna de Procesos Estocásticos, temas ajenos al ingeniero en nuestro país.

En este trabajo el problema radica en dar respuesta al interrogante ¿Es posible modelar el comportamiento de las precipitaciones mediante el Sistema de Pearson? Presenta un primer acercamiento a la aplicación del Sistema de Pearson para interpretar el comportamiento de la dinámica de las precipitaciones en las estaciones seleccionadas en Santander, con énfasis en la cuenca del río Fonce. Este esfuerzo es el resultado del proyecto de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada INV IMP 2134 de 2016, el cual fue financiado con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada y desarrollado junto con la Universidad de Pamplona.

## 2. Objetivos

Interpretar el comportamiento multianual de las precipitaciones totales anuales en estaciones referentes en Santander mediante el conjunto de modelos estadísticos del Sistema de Pearson.

## 3. Materiales y Métodos

Para el caso del departamento de Santander fueron seleccionadas en total 64 estaciones con mediciones de las lluvias en un periodo común que comprende los años desde 1975 hasta 2014. Los datos de precipitaciones corresponden a los valores totales anuales, a los cuales se les estimó el valor promedio. El método de los momentos estadísticos (iniciales y centrales) es la base que soporta la aplicación del conjunto de modelos estadísticos del Sistema de Pearson; su descripción detallada se encuentra en Pearson K. (1893), Elderton P. (1969), Fuentes Bacca J. et al. (2015), entre otras fuentes bibliográficas.

De acuerdo con Fuentes Bacca J. et al. (2015), el Sistema de Pearson “ofrece en total trece (13) modelos estadísticos diferentes (tabla 1). En ingeniería civil e hidrología el más conocido corresponde al tipo III, también llamado Gamma de 3 Parámetros [1], [2], [6], [11]”. Estos tipos se ilustran en la Tabla 1. Se identifican dos caminos de ajustar y seleccionar modelos estadísticos: el primero es correr los modelos conocidos como Gumbel, Normal, Gamma, entre muchos otros (el software Easy Fit ofrece más de 63 modelos diferentes) y el segundo es aplicar el Sistema de Pearson.

Según Fuentes Bacca J. et al. (2015) “En la estadística tradicional aplicada a los ámbitos hidrológicos, se conocen ampliamente los modelos tradicionales Gumbel, Gamma, Fisher, Student, Weibul, Gauss, los cuales han ofrecido resultados satisfactorios a la fecha [1], [6]. De otra parte, existe la familia de modelos que ofrece el Sistema de Pearson para modelar el comportamiento de los ríos, la cual permite enlazar el comportamiento estadístico con las condiciones físicas mediante su inclusión en el modelo generalizado de Fokker-Planck-Kolmogorov (FPK). Esta habilidad se

convierte en la mayor diferencia entre los modelos tradicionales y el Sistema de Pearson”.

La metodología consistió en lo siguiente. Para cada serie de valores de precipitaciones de las 64 estaciones meteorológicas seleccionadas se estimaron los momentos iniciales y centrales según la metodología de Pearson K. (1893), Elderton P. (1969), Fuentes Bacca J. et al. (2015).

Tabla 1. Tipos de modelos del sistema Pearson

TIPO	ECUACIÓN	CRITERIO
I	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{\beta_1} (1 - x^2/a_0)^{\beta_2}$	$k$ negativo
II	$y = \gamma_0(1 - x^2/a_0)^{\beta_1}$	$k = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 < 3$
III	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{\beta_1} e^{-\gamma x}$	$2\beta_1 - 6 + 3\beta_2$
IV	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{\beta_1} e^{-\gamma \tan^{-1}(x/a)}$	$0 < k < 1$
V	$y = \gamma_0 x^{-\gamma} e^{-\gamma/x}$	$k = 1$
VI	$y = \gamma_0(x - a)^{\beta_1} x^{-\beta_2}$	$k > 1$
VII	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{\beta_1}$	$k = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 > 3$
VIII	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{-\beta_1}$	$k$ negativo, $\lambda = 0$ $5\beta_2 - 6\beta_1 - 9$ negativo
IX	$y = \gamma_0(1 + x^2/a_0)^{\beta_1}$	$k$ negativo, $\lambda = 0$ $5\beta_2 - 6\beta_1 - 9$ positivo $2\beta_2 - 3\beta_1 - 6$ negativo
X	$y = \gamma_0 e^{-\gamma/x}$	$\beta_1 = 4, \beta_2 = 9$
XI	$y = \gamma_0 x^{-\beta_1}$	$k > 1, \lambda = 0$ $2\beta_2 - 3\beta_1 - 6$ positivo
XII	$y = \gamma_0 \left( \frac{\sigma(\sqrt{3+\beta_1} + \sqrt{\beta_1}) + x}{\sigma(\sqrt{3+\beta_1} - \sqrt{\beta_1}) - x} \right)^{\beta_1/3+\beta_2}$	$5\beta_2 - 6\beta_1 - 9 = 0$
CURVA NORMAL	$y = \gamma_0 e^{-x^2/2\sigma^2}$	$k = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 = 3$

Fuentes Bacca J. et al. (2015)

Luego se construyeron los 64 histogramas empíricos de frecuencias. Posteriormente se estimó el criterio kappa K para ajustar uno de los 13 modelos del Sistema de Pearson a cada uno de los 64 comportamientos de las precipitaciones. Una vez establecido el modelo de Pearson que mejor se ajusta al comportamiento histórico (en el periodo 1975-2014) de la precipitación se procedió a construir el histograma modelado de frecuencias para los 64 casos en estudio.

### 3.1. Evaluación de Resultados

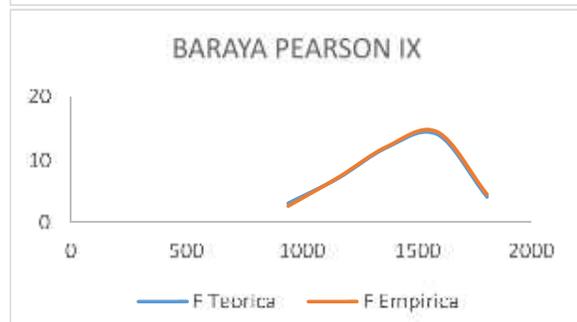
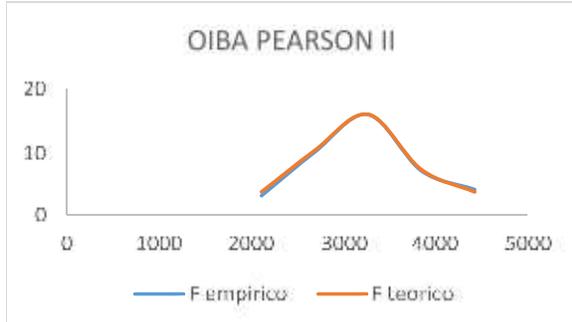
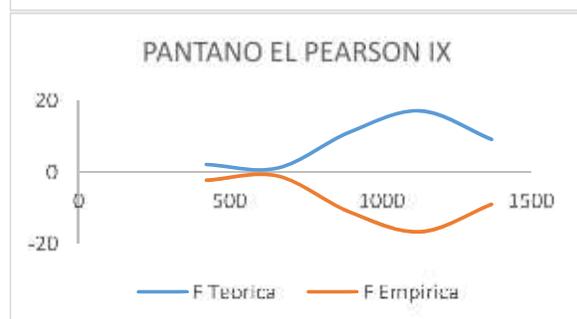
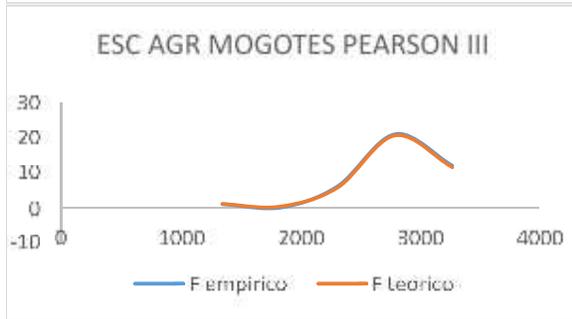
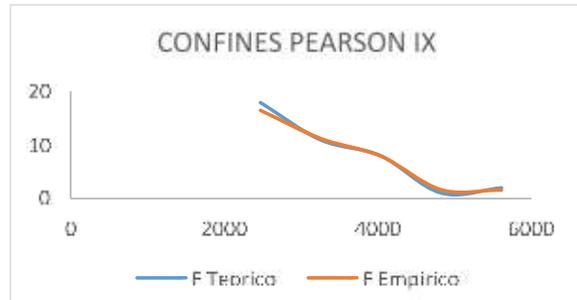
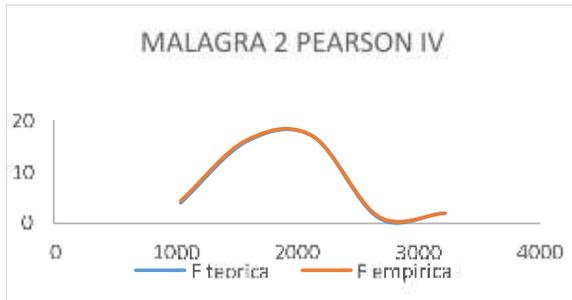
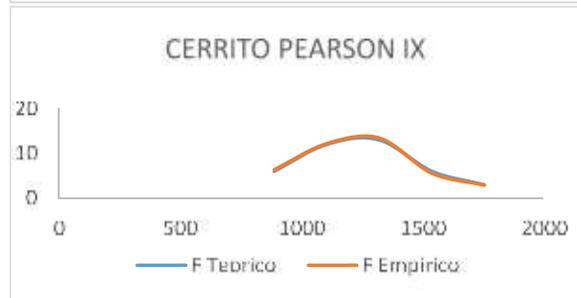
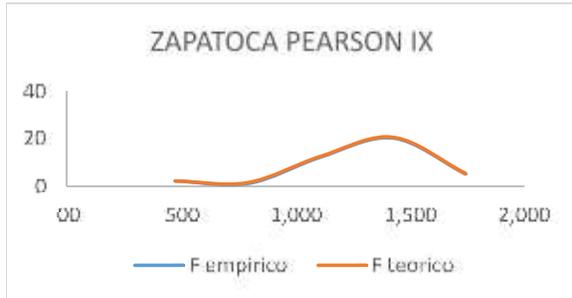
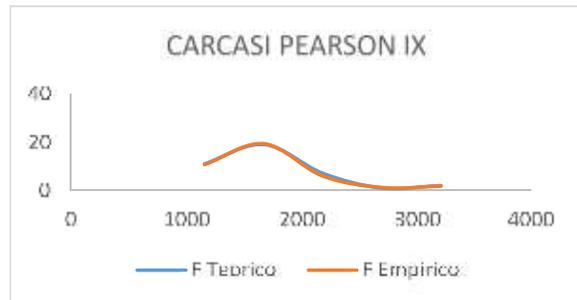
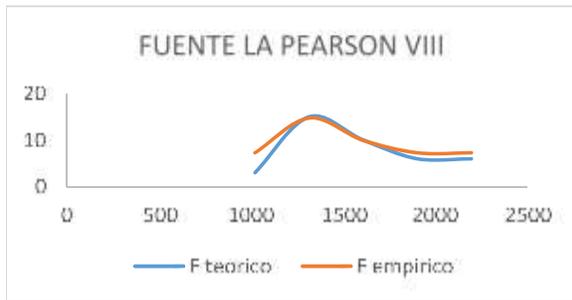
Los resultados muestran lo siguiente: de todos los tipos de modelos el que más se ajustó a las precipitaciones en las estaciones meteorológicas es el IX (con 35 casos de un total de 64), le sigue el II con 20 casos, luego el III con 10 y IV con 11 casos. En la tabla 2 se muestran estos resultados, en la cual se escriben los códigos de las estaciones meteorológicas a las cuales se les ajustó el tipo de modelo de Pearson. Los modelos tipo I, V, VI, X, XI, XII.

Estos resultados demuestran que es viable la aplicación de los modelos estadísticos de Pearson.

Tabla 2. Ajuste de modelos pearsonianos al comportamiento de las precipitaciones en las estaciones meteorológicas (Santander)

Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo VII	Tipo VIII	Tipo IX
23190280	23125060	24035260	24015260	24030300	24040050
24015250	24020040	23190140	24060040	24050100	24030320
24010210	23195130	23195110	23190130		24030210
24060050	24020130	24060070	37015020		24025050
23190280	24020040	24030290			24015280
24015250	23195130	23190140			23190600
24010210	24025040	23195110			24030630
24060050	23190700	24060070			23190260
24010240	24030200	24030290			23190440
24025020	24020130	24030950			23145020
23180080		24015270			24015280
23185010					23190600
24050060					24030630
24010660					23190260
24010670					23190440
23195090					23190340
23195200					24030340
23190300					24030370
23125120					23125040
24020120					23125050
					23180110
					24065010
					23190350
					23190360
					23180040
					23180070
					24050070
					24050110
					24030330
					24010650
					24020080
					23190450
					24055030
					24010230
					23145020

En el gráfico 1 se ilustran los comportamientos históricos de los valores totales anuales de las precipitaciones en cada una de las 64 estaciones meteorológicas y los histogramas teóricos ajustados mediante el Sistema de Pearson.



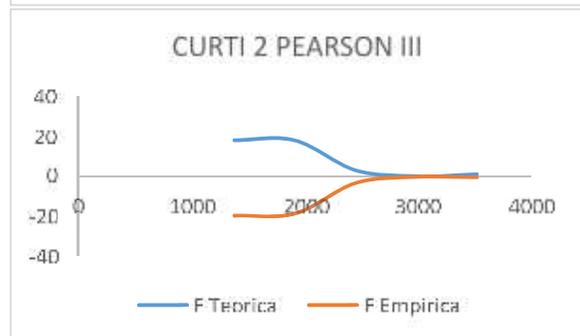
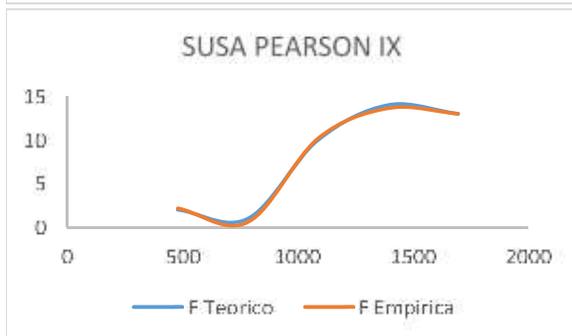
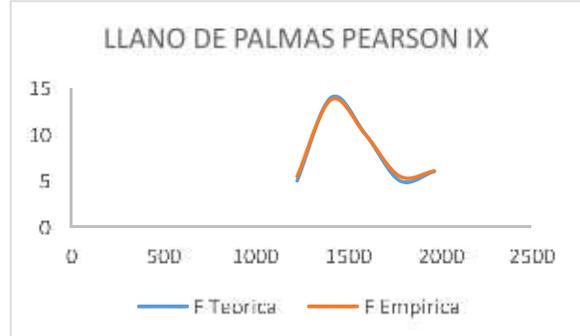
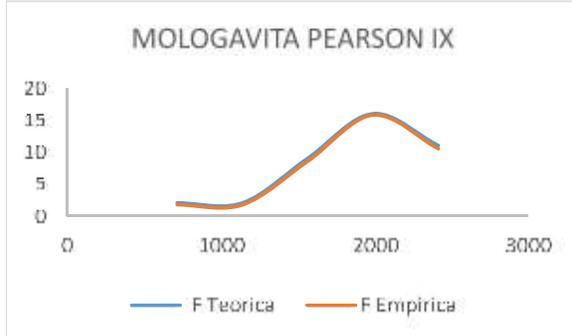
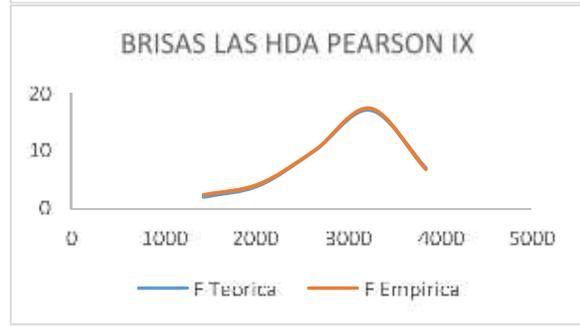
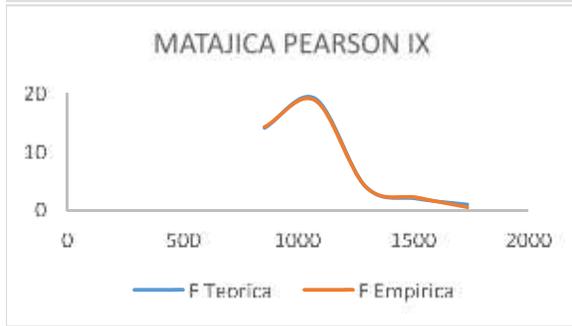
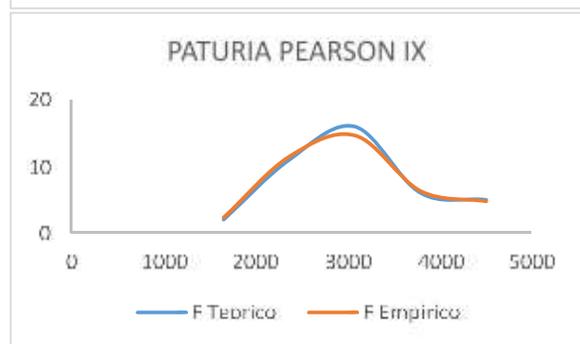
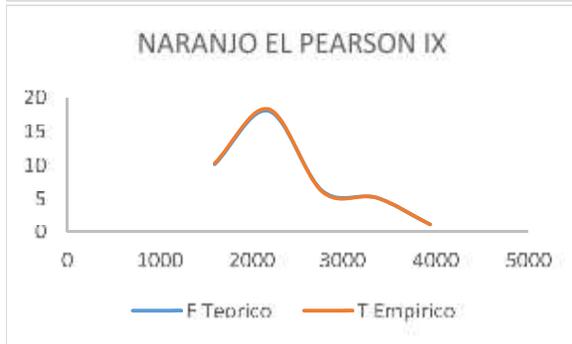
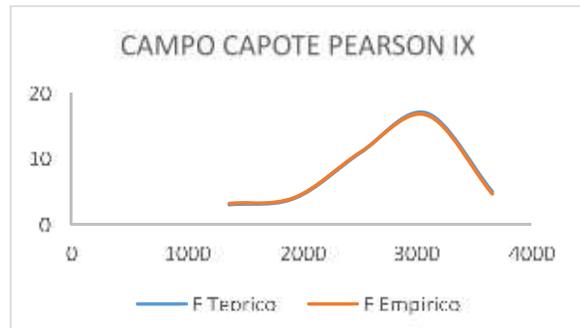
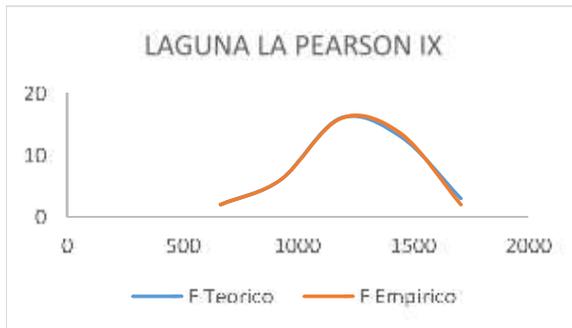




Gráfico 2. Histograma empírico y teórico de frecuencias de los valores totales anuales de las precipitaciones en cada una de las 64 estaciones meteorológicas en Santander.

En la estación Pantano El con código 23190600 no fue posible ajustar modelo alguno, aunque se presenta en el gráfico 1 el resultado de haber ajustado el modelo tipo IX, que fue el que mejor valor del criterio kappa obtuvo.

#### 4. Conclusiones

Los resultados del trabajo permiten confirmar que es viable aplicar el conjunto de modelos del Sistema de Pearson para la interpretación del comportamiento de las precipitaciones en Santander. En la estación El Pantano el modelo teórico ofreció resultados no satisfactorios.

No obstante lo anterior, se encontraron algunas dificultades para el ajuste de los modelos: a) los momentos estadísticos iniciales y centrales, al igual que el criterio kappa K son muy sensible a los decimales; b) algunos modelos (III, VIII, IX) requieren de procedimientos matemáticos especiales para su aplicación.

La experiencia en diseños de obras demuestra que el tipo más común es el tipo III, mientras que en este trabajo se señala que es el IX para el caso de las estaciones seleccionadas.

## 5. Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Militar Nueva Granada, a la Universidad de Pamplona, al instituto IDEAM, al instituto IGAC, a la corporación CAS, a la alcaldía de San Gil, a la empresa de acueducto ACUASAN por el apoyo brindado para la presente investigación.

## 6. Referencias

- **Elderton P.** 1906. Frequency curves and correlation. London, Institute of Actuaries, pp. 172.
- **Benjamin J.** 1970. Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineer. San Francisco, McGraw-Hill, San Francisco, pp. 685.
- **Rivera H. G. Palacio Gómez D., Rangel Guerrero F.,** 2013. Impacto de los escenarios de cambio climático en los recursos naturales renovables en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander. Bogotá, Otero Impresos – Universidad Nacional de Colombia, pp. 100.
- **Poveda G.,** 2012. El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio climático y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, No. 36, Bogotá.
- **Einstein A.,** 1905. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Ann. Phys. 17, 549. Lipzip.
- **Bachelier L.,** 1900. Théorie de la spéculation. Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure 3 (17), pp. 21–86, Paris.
- **Kovalenko V.,** 1992. Modelirovanie gidrologicheskix protsesos. Hidrometizdat, Leningrado.
- **Dominguez Calle E., Rivera H. (2010).** A Fokker–Planck–Kolmogorov equation approach for the monthly affluence forecast of Betania hydropower. Journal of Hydroinformatics.

## 7. Autores

CRISTIAN FERNANDO LIBONATTI GAMBOA, Estudiante en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como semillero en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016.

HEBERT GONZALO RIVERA, Docente Asistente en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como líder en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016. Es ingeniero hidrólogo, Master of Sciences en Ecología Hidrometeorológica, Ph. D. en Hidrología, cuenta con amplia experiencia docente, de investigación y ha publicado libros, artículos y escritos de opinión general.