

APLICACIÓN DEL MODELO FOKKER-PLANCK-KOLMOGOROV PARA ESTIMAR
PROBABILIDADES DE MAGNITUDES DE EVENTOS DE CAUDALES DEL RIO FONCE (SAN
GIL, SANTANDER)

PRESENTADO POR:
RAMON ALBERTO RIVERA QUINTERO 1102478
CAMILO ANDRES ARCE AVILA 1102499

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: ING HEBERT GONZALO RIVERA



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
BOGOTA
2019

APLICACIÓN DEL MODELO FOKKER-PLANCK-KOLMOGOROV PARA ESTIMAR
PROBABILIDADES DE MAGNITUDES DE EVENTOS DE CAUDALES DEL RIO FONCE (SAN
GIL, SANTANDER)

PRESENTADO POR:
RAMON ALBERTO RIVERA QUINTERO 1102478
CAMILO ANDRES ARCE AVILA 1102499

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: ING HEBERT GONZALO RIVERA



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
BOGOTA
2019

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DEL TUTOR

FIRMA DEL JURADO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos dado sabiduría, fortaleza, salud, coraje, y no dejarnos solos en los momentos difíciles, y permitirnos llegar a la meta de este gran proyecto.

A nuestros Padres, por creer en nosotros y por la comprensión y apoyo que nos dieron en la realización de este proyecto.

A nuestro director de trabajo de grado el Ingeniero Hebert Gonzalo rivera, por su buena disposición, paciencia, por el tiempo que nos dedicó para que este trabajo culminara exitosamente, nuestro agradecimiento sincero.

A las diferentes personas que en cierto modo aportaron para la realización de este trabajo de grado como lo son: Ing. Efraín Domínguez, Ing. Juan Carlos, Ing. Jorge Fuentes y demás personas que hicieron posible este trabajo.

A la Universidad de los Andes en especial al Ingeniero Mauricio Sánchez Silva por su paciencia y conocimiento en este tema.

A nuestra UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bendiciones y muchas gracias por el apoyo permanente, en el desarrollo de nuestras actividades, para hoy alcanzar un peldaño en nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO	
INTRODUCCION.....	7
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVOS	9
OBJETIVOS GENERAL:	9
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	9
MARCO REFERENCIAL	10
MARCO CONCEPTUAL:	10
Sistema Pearson	10
Modelado FPK	10
Mauricio Sánchez Silva	10
MARCO LEGAL.....	11
MARCO HISTÓRICO	11
Sistema de Pearson.....	11
Modelado FPK	11
METODOLOGIA.....	12
Sistema Pearson	12
Modelado FPK.....	16
Amenaza Dr. Mauricio Sánchez Silva	20
ANALISIS DE RESULTADOS.....	23
1. Análisis de la información.....	23
2. Procesamiento estadístico	24
2.1. Procesamiento de la serie de datos de precipitación en la estación Charalá (IDEAM) 24	
2.2. Procesamiento de la serie de datos de caudales en la estación San Gil	24
3. Pruebas de ajuste de bondad a los caudales medios del rio Fonce de la estación de Charalá (1955 - 2016).....	25
CONCLUSIONES.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	31
ANEXOS.....	32
Caudales medios	32
Datos de precipitación	33

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1UMNG sistema Pearson autor Ing. Jorge fuentes	13
Ilustración 2UMNG sistema Pearson autor Ing. Jorge fuentes	13
Ilustración 3caudales medios	14
Ilustración 4 ecuación k.....	17
Ilustration 5• The Pearson system of frequency curves digital computer program by N.R, Rich,L. Greene and R.C Graham	18
Ilustración 6 ruido blanco	19
Ilustración 7espectro de frecuencias.....	19
Ilustración 8sanchez silva	22
Ilustración 9 (Fuente UMNG autor Ing. Jorge fuentes)	23
Ilustración 10 (Fuente UMNG autor Ing. Jorge fuentes)	23
Ilustración 11 chi cuadrado log normal	25
Ilustración 12 chi cuadrado weibul	26
Ilustración 13 chi cuadrado gumbel.....	26
Ilustración 14 chi cuadrado normal	27

INTRODUCCION

El presente trabajo trata del cálculo de probabilidades de eventos en la cuenca del rio fonce en la estación de charala, por tres métodos conocidos en este tiempo que son:

- Métodos tradicionales probabilísticos (weibul, log normal, gumbel, etc.) y series de tiempo
- Sistema Pearson
- fpk Pearson

este estudio se basa en el libro escrito por el ingeniero Mauricio Sánchez silva (introducción a la confiabilidad y evaluación del riesgo) que sustenta sus cálculos a través del método tradicional probabilísticos.

Otro tema a abordar es la comparación del sistema fpk Pearson con el resto de sistemas debido a que en los otros métodos no tienen en cuenta la precipitación en la cuenca si no solo el caudal y la aplicación que nosotros le dimos tenemos en cuenta estos parámetros de la cuenca garantizando un mejor calculo y dando la oportunidad a generar pronósticos si se quisiese.

En general este trabajo trata de dar una visión diferente a como calcular estos eventos a lo que se hace tradicionalmente dando otro punto de vista con fundamento teórico ya que en nuestro país esta información no es muy conocida y por ello no se utiliza.

JUSTIFICACIÓN

Los modelos probabilísticos son una forma de obtener nuevo conocimiento sobre el comportamiento de los ríos. En el caso de la dinámica del agua superficial en los ríos, se suele relacionar la lluvia con el flujo subterráneo, entre otras variables.

En la dinámica del agua superficial de los ríos se identifican tres situaciones principales durante el transcurso de un año calendario, las cuales son:

1. Aguas abajo en épocas de sequía producto de bajos niveles de caudal.
2. Aguas arriba para desbordamientos e inundaciones generado por niveles altos de caudal.
3. Aguas medias siendo esta la transición de las dos anteriores.

Cada caso necesita un estudio enfocado debido a los diferentes riesgos que estos pueden presentar.

Este proyecto de investigación se enfoca en el riesgo generado con los picos altos de caudal del río Fonce. Estos riesgos se pueden determinar de forma probabilística usando diferentes modelos como lo son:

- a. Modelo de Pearson.
- b. FPK.

El río Fonce, ubicado en el municipio de San Gil departamento de Santander, norte de Colombia, es un río que siendo la principal arteria fluvial y turística del departamento presenta un alto nivel de estudios de entidades tanto públicas como privadas, estas intentan comprender el comportamiento del río en pro de tomar decisiones adecuadas con respecto a la forma de actuar ante esta.

- a. Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS es la autoridad ambiental que estudia el río en diversos ámbitos y recientemente publicó el estudio Plan de Manejo y Ordenación de la Cuenca del río Fonce.
- b. La empresa ACUASAN se encarga del sistema de acueducto y alcantarillado del municipio de San Gil y recientemente elaboró el Plan de Manejo y Alcantarillado, en el cual se contempla una captación de agua desde el cauce del río Fonce
- c. El Municipio de San Gil ha realizado diversos estudios de consultoría y diseño de obras para intervenir físicamente en su cauce
- d. En algunas universidades se vienen desarrollando estudios con tesis a nivel de pregrado y postgrado (Universidad Libre, Universidad San Gil, las cuales tienen sede en San Gil) y con ello se pretende entender el comportamiento del río
- e. La empresa ISAGEN adelantó el estudio climático e hidrológico del río para un tramo aguas abajo de San Gil para aprovechar su potencial hidroenergético.
- f. El instituto IDEAM ha adelantado diversos estudios sobre el régimen climático e hidrológico del departamento Santander.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL:

Obtener una solución de la ecuación Fokker-Planck-Kolmogorov (FPK) aplicada a los caudales máximos del río Fonce para la obtención de probabilidades de eventos que afecten este sector.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Compilar datos de caudales del río Fonce en San Gil del IDEAM
2. Procesar mediante el método de los momentos estadísticos los valores de caudales del río Fonce.
3. Determinar los parámetros del modelo FPK a partir de las series de los ruidos blancos.
4. Aplicar el modelo FPK para modelar probabilidades de magnitudes de eventos en situaciones de procesos estacionarios y no estacionarios.
5. Socializar los resultados.

MARCO REFERENCIAL

MARCO CONCEPTUAL:

Sistema Pearson

Este método probabilístico se deriva de una ecuación diferencial de primer orden permitiendo obtener valores de frecuencias teóricas solo contando con una serie de datos de cualquier origen (datos empíricos) después se aplica estadística básica generando su tabla de frecuencias teóricas que son el parámetro de modelación de cualquier proyecto en ingeniería civil.

De la ecuación general del sistema de Pearson se derivan 13 tipos distintos de Pearson contando con el tipo de curva normal que también se genera a partir de este. Para la aplicación del sistema de Pearson se debe cumplir con un criterio llamado el criterio kappa (K), algunos de estos tipos pueden depender no solo del valor de kappa, sino que también de los valores beta 1 y beta 2 (β_1 y β_2 respectivamente) lo que podemos observar en el libro de Elderton P. (1969).

Modelado FPK

A partir de la década de los años 30 del siglo pasado, los científicos, físicos y matemáticos los sabios de este tiempo crearon los modelos tipo FPK-Pearson que incluyen tanto las leyes deterministas como las probabilísticas para modelar los comportamientos de procesos diversos en varias maneras como lo son los procesos estacionarios y no estacionarios.

A partir de ello, inician los ingenieros y demás profesionales a aplicar estas herramientas novedosas en su diario proceder y se reconocen tres alternativas para estimar la probabilidad de un evento hidrológico, que en la teoría de riesgos se define con el concepto de “amenaza hidrológica”

- Probabilidad empírica
- Modelos probabilísticos tradicionales
- Funciones de distribución mixta
- FPK

El modelo Fokker-Planck-Kolmogorov es precisamente la herramienta física y estadística que permite enlazar en una ecuación diferencial en derivadas parciales las leyes físicas (clásicas y modernas), y los principios estadísticos (aplicados y teóricos).

Mauricio Sánchez Silva

El doctor Sánchez Silva, en su libro “Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos”, en el capítulo 3 hace referencia al término “amenaza” en el cual da una descripción de acuerdo al Diccionario Clave, en el cual lo interpretan como “advertencia o anuncio de algo malo o desagradable que va a ocurrir en un futuro próximo”. En este libro realiza un análisis probabilístico basado en la distribución de Poisson, con la busca determinar la curva de amenaza en función de la magnitud.

De esta forma es posible representar la probabilidad de ocurrencia en diferentes tiempos de observación, al igual que con diferentes ventanas de tiempo.

MARCO LEGAL

En el manual de drenaje de carreteras del INVIAS muestra una guía de diseño para obras hidráulicas basado es eventos predecibles, constantes a través del tiempo. De acuerdo al estudio realizado, se desea presentar unos eventos variables en el tiempo, con el fin de re-diseñar el manual teniendo en cuenta las macro variables.

En la ley 99 de 1993: "Por el cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organizó el sistema nacional ambienta, SINA y se dictan otras disposiciones"

El IDEAM con su sistema de información ambiental de Colombia da a conocer los mapas de inundación del país, mostrando en ellos una alta probabilidad de inundación, estas podrían ser estimadas bajo este sistema y las ecuaciones presentes en la investigación.

MARCO HISTÓRICO

Sistema de Pearson

Este sistema es desconocido en Colombia, esto se debe a la poca información que se encuentra de él. Este sistema dio inicio gracias al investigador Karl Pearson en 1983 que en sus escritos originales presenta una ecuación de primer orden la cual se deriva el sistema como tal, dando como resultado unas frecuencias teóricas y empíricas las cuales se deben tener en cuenta para al momento de realizar diseños hidrológicos o hidráulicos, gracias Elderton P. en 1969 un británico que tradujo los escritos se pueden tener mejor entendimiento de estos.

Los trabajos que se han realizado sobre este método los podemos encontrar en proyectos investigativos tal como el que presento Jorge Brandon Fuentes Bacca en su proyecto del alto impacto, en el cual nos presenta la clasificación y criterios de los diferentes tipos del sistema de Pearson, además de acuerdo con los datos y la forma de trabar con ellos, el profundiza en los tipos I, II, VIII y IX, dando a conocer su funcionamiento.

Modelado FPK

Esta ecuación al igual que el sistema anterior es desconocida en Colombia, pero puede proporcionar grandes cualidades en los procesos aleatorios. Esta ecuación se denominó así por Adriaan Fokker y Max Planck, conocida como ecuación avanzada de Kolmogórov esta última parte se debe a Andréi Kolmogórov, esta ecuación sirve para "describir la evolución temporal de la función de densidad de probabilidad que muestra la posición y la velocidad de una partícula, aunque puede generalizarse a otro tipo de variables" (ECUACIÓN FOKKER-PLANCK). La ecuación tuvo su primera intervención en la descripción estadística de una partícula en la superficie de un fluido.

Entre los trabajos recientes que han querido dar un buen uso a esta ecuación se encuentran los realizados por el ingeniero Efraín Antonio Domínguez Calle, el ingeniero Hebert Rivera, Diana Carolina Palacio Gómez, Carlos González Murillo, etc. Estos trabajos consisten en la pronosticación o estimación de amenazas hidrológicas. En el caso de los ingenieros Efraín y Hebert, en su trabajo "Aplicación de la ecuación de Fokker-Planck-Kolmogorov para el pronóstico de afluencias a embalses hidroeléctricos (caso práctico de la represa de Betania)", ellos presentan un modelo para pronosticar las curvas de densidad probabilística de los caudales mensuales y embalses

hidroeléctricos. En el trabajo de Diana y Carlos llamado "Reseña sobre el estado del arte de la aplicación del modelo Fokker-Planck-Kolmogorov en la estimación de amenazas hidrológicas" se presenta el estado del arte de la ecuación para la estimación de probabilidad de ocurrencia de uno o más eventos.

METODOLOGIA

- Compilación de los datos de caudales medios y precipitación de la estación de Charalá de la cuenca del río Fonce
- Para la aplicación del método FPK se necesitan los datos del IDEAM de precipitación.

Luego de la compilación de estos datos se procede a hacer la tabulación de los datos y a aplicar los dos métodos de Pearson FPK y sistema Pearson.

Sistema Pearson

"El sistema de Pearson es un método probabilístico que se deriva de una ecuación diferencial de primer orden, permite obtener valores de frecuencias teóricas con solo obtener una serie de datos temporales (Frecuencias empíricas), después de aplicado el modelo se obtienen esas frecuencias teóricas que son con las que se debe modelar en realidad cualquier tipo de estudio u obra civil que se esté realizando. De la ecuación general del sistema de Pearson se derivan 12 tipos distintos de Pearson más uno el tipo de la curva normal que suman en su totalidad 13 tipos de Pearson. Para la aplicación del sistema de Pearson se debe cumplir con un criterio llamado el criterio kappa (K), algunos de estos tipos pueden depender no solo del valor de kappa, sino que también de los valores beta 1 y beta 2 (β_1 y β_2 respectivamente), lo anterior se encuentra descrito a continuación en la siguiente tabla

TIPO	ECUACIÓN	CRITERIO
I	$y = y_0 (1 + x/a_1)^{\beta_1} (1 - x/a_2)^{\beta_2}$	κ negativo
II	$y = y_0 (1 - x^2/a^2)^m$	$\kappa = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 < 3$
III	$y = y_0 (1 + x/a)^{\beta_2} e^{-\gamma x}$	$2\beta_2 = 6 + 3\beta_1$
IV	$y = y_0 (1 + x^2/a^2)^{-m} e^{-\gamma \tan^{-1}(x/a)}$	$0 < \kappa < 1$
V	$y = y_0 x^{-p} e^{-\gamma/x}$	$\kappa = 1$
VI	$y = y_0 (x - a)^{\beta_1} x^{-\beta_2}$	$\kappa > 1$
VII	$y = y_0 (1 + x^2/a^2)^{-m}$	$\kappa = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 > 3$
VIII	$y = y_0 (1 + x/a)^{-m}$	κ negativo, $\lambda = 0$, $5\beta_2 - 6\beta_1 - 9$ negativo
IX	$y = y_0 (1 + x/a)^m$	κ negativo, $\lambda = 0$ $5\beta_2 - 6\beta_1 - 9$ positivo $2\beta_2 - 3\beta_1 - 6$ negativo
X	$y = y_0 e^{-x/\sigma}$	$\beta_1 = 4, \beta_2 = 9$
XI	$y = y_0 x^{-m}$	$\kappa > 1, \lambda = 0, 2\beta_2 - 3\beta_1 - 6$ positivo
XII	$y = y_0 \left(\frac{\sigma(\sqrt{3+\beta_1} + \sqrt{\beta_1}) + x}{\sigma(\sqrt{3+\beta_1} - \sqrt{\beta_1}) - x} \right)^{\sqrt{\beta_1/3-\beta_1}}$	$5\beta_2 - 6\beta_1 - 9 = 0$
XIII	$y = y_0 * e^{-x^2/2\sigma^2}$	$\kappa = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 = 3$

Fuente: Elaboración Propia – Extraída de Elderton P. (1969)

Ilustración 1UMNG sistema Pearson autor Ing. Jorge fuentes

Una gráfica que nos facilita la forma de clasificar los tipos de Pearson es la que se muestra a continuación:

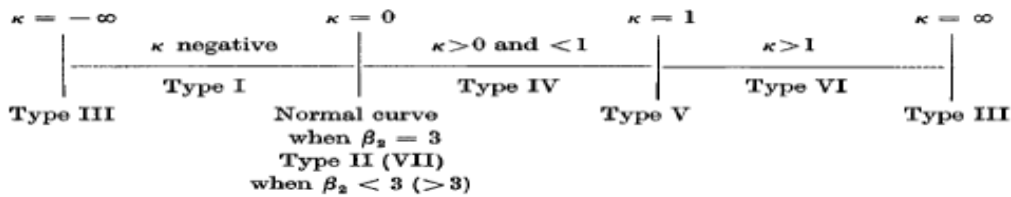


Ilustración 2UMNG sistema Pearson autor Ing. Jorge fuentes

Obtención del valor o criterio kappa (K)

Cuando contamos con una serie temporal de datos lo primero que debemos saber es el valor de kappa para así saber por cuál de los tipos del sistema debemos abordar el ejercicio o los datos que estamos trabajando.

Lo primero que se debe es observar el comportamiento a través del tiempo de la serie de datos a utilizar para ver si es un comportamiento estacionario o no estacionario.

Los datos que vamos a ver graficados son caudales medios mensuales

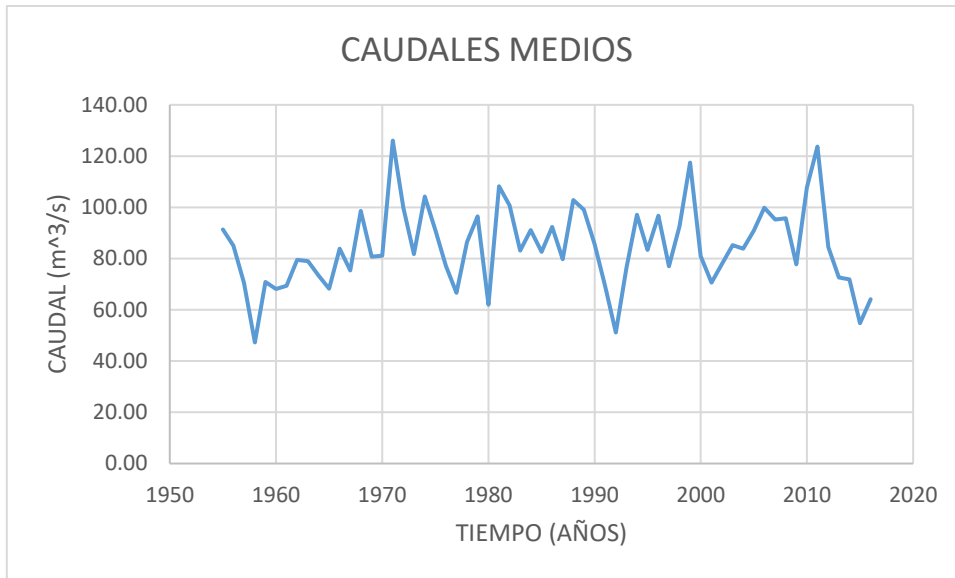


Ilustración 3 caudales medios

Podemos apreciar que es un proceso estacionario por su constancia a lo largo del tiempo por lo que podemos decir que es aplicable el sistema de Pearson, así que se procede a obtener el valor de kappa (K).

El valor del criterio kappa (K), es el valor que se debe obtener en primera instancia siempre que se quiera aplicar el modelo probabilístico, por lo a continuación se muestra detalladamente como obtener dicho criterio.” Entregable 1. Jorge Fuentes.

De acuerdo a los datos de caudales medios, se obtuvo la siguiente tabla:

n	Marca clase		Frecuencia	x_j	$x_j \cdot f$	$x_j^2 \cdot f$	$x_j^3 \cdot f$	$x_j^4 \cdot f$
1	47,25	58,504	3	-3	-9	27	-81	243
2	58,504	69,759	7	-2	-14	28	-56	112
3	69,759	81,013	16	-1	-16	16	-16	16
4	81,013	92,267	17	0	0	0	0	0
5	92,267	103,521	13	1	13	13	13	13
6	103,521	114,776	3	2	6	12	24	48
7	114,776	126,030	3	3	9	27	81	243
Sumatoria			62		-11	123	-35	675

Con estos datos podemos deducir los parámetros primarios de Pearson con el fin de poder determinar que a qué tipo clasifica.

Parámetros primarios	
$v'1$	-0,17741935
$v'2$	1,98387097
$v'3$	-0,56451613
$v'4$	10,8870968

$v'1=d$	-0,1774193
---------	------------

Coeficiente Sheppard	
u2	1,86906001
u3	0,48024571

Clasificación Pearson	
B1	0,03532297
B2	2,83712054
K	-0,06198993
TIPO I	

Momentos iniciales	
d	-0,17741935
v2	1,95239334
v3	0,48024571
v4	10,8581852

u4	9,91115521
Desviación estándar	
1,367135694	

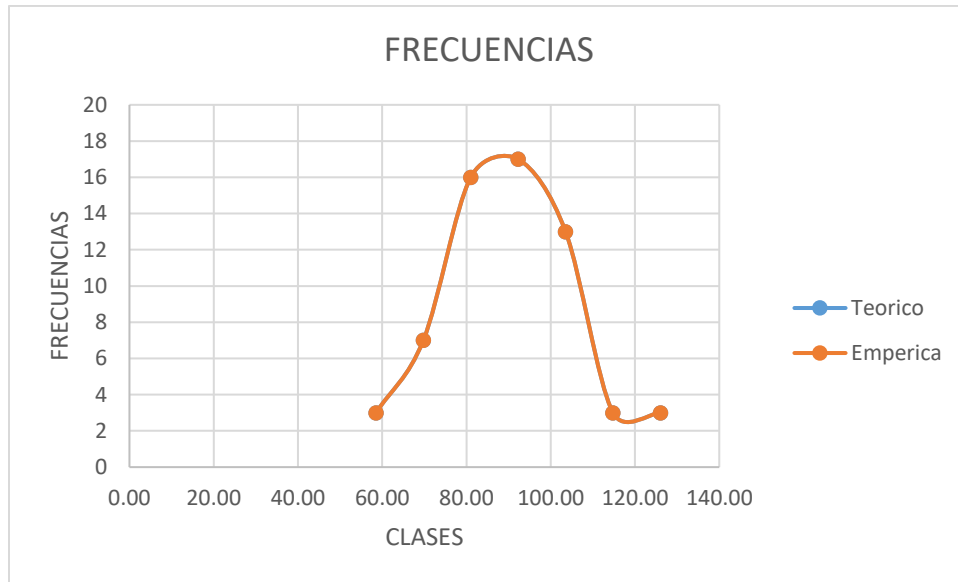
5*B2-6*B1-9	4,97366484
2*B2-3*B1-6	-3,43172785
6+3*B1	6,10596892

El resultado obtenido de estos cálculos nos indica que los datos con siete (7) intervalos se comportan como un Pearson tipo I. Para este caso se debe aplicar el siguiente método.

r	25,0407414
m1	16,9908505
m2	29,0906324
a1+a2	14,3789936
m2/m1	1,71213515
a2	9,07726899
a1	5,30172457
y0	24,5818188

n	Marca clase		Frecuencia	X	1-X/a1	1-X/a2	y
1	47,25	58,50	3	2,16240408	0,592131947	0,76177812	3,00002003
2	58,50	69,76	7	1,66611588	0,685740771	0,816451856	7,00020308
3	69,76	81,01	16	0,96612596	0,817771379	0,893566451	16,0001149
4	81,01	92,27	17	0,89431527	0,831316157	0,901477496	17,0001811
5	92,27	103,52	13	1,18036604	0,777361871	0,869964629	12,9999997
6	103,52	114,78	3	2,16240408	0,592131947	0,76177812	3,00002003
7	114,78	126,03	3	2,16240408	0,592131947	0,76177812	3,00002003

De esta manera, la gráfica definitiva de este procedimiento se presenta a continuación:



Dando como resultado una curva ajustada a los datos reales.

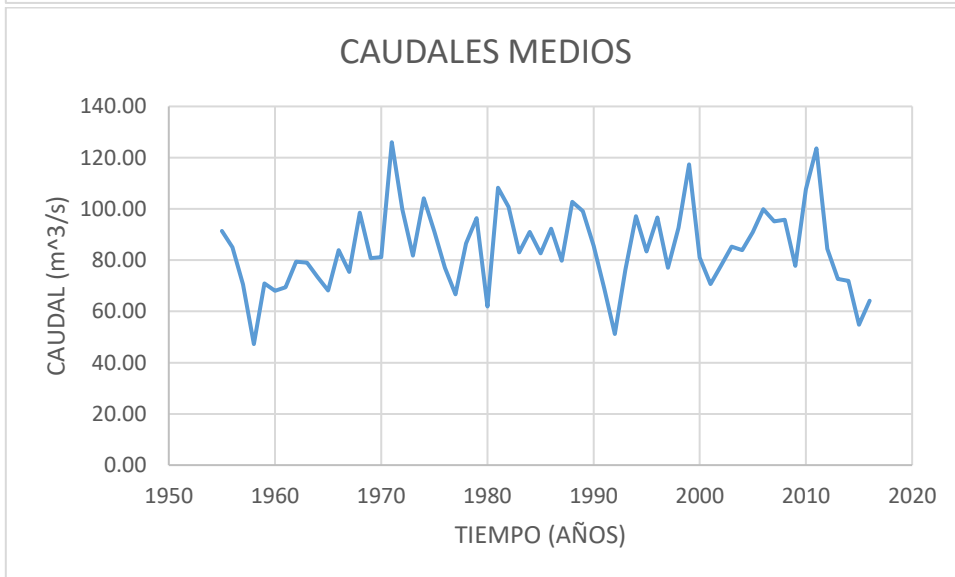
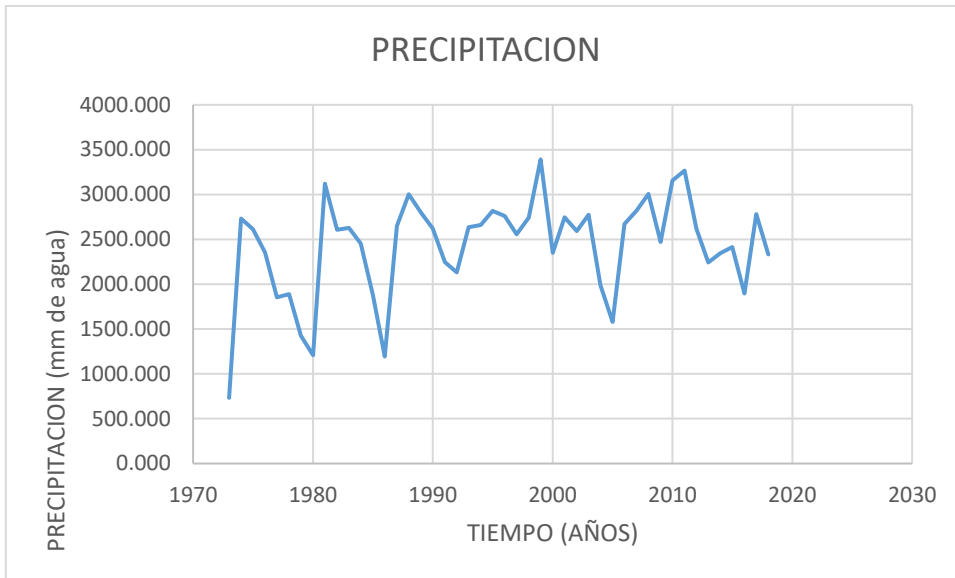
Para continuar con el procedimiento de FPK es necesario obtener cuatro (4) valores los cuales son los de a , b_0 , b_1 y b_2 , ya que con estos podremos desarrollar los cálculos adecuados.

σ	1,36713569
γ_1	0,18794407
β_1	0,03532297
β_2	2,83712054
D	9,94732969

a	0,15077606
b_0	-2,1124193
b_1	-0,1507760
b_2	0,04340138

Modelado FPK

Análisis estadístico de los datos de caudales medios y precipitación.



Obtención del coeficiente de escorrentía

$$k = \frac{E(Q)}{E(N)}$$

Ilustración 4 ecuación k

Obtención del ruido blanco con el software de sistema de análisis de datos del ingeniero EFRAIN DOMINGUEZ

Obtención de los parámetros de Pearson hallados en la aplicación del sistema Pearson a los caudales medios a, b0, b1 y b2.

$$a = \frac{1}{D} [\sigma \gamma_1 (3 + \beta_2)]$$

$$b_0 = \frac{1}{D} [\mu_2 (3\beta_1 - 4\beta_2)]$$

$$b_1 = -\frac{1}{D} [\sigma \gamma_1 (3 + \beta_2)]$$

$$b_2 = \frac{1}{D} [-2\beta_2 + 3\beta_1 + 6]$$

$$\text{if } D \neq 0 \text{ where } D = 2(5\beta_2 - 6\beta_1 - 9)$$

Illustration 5• The Pearson system of frequency curves digital computer program by N.R, Rich,L. Greene and R.C Graham

Datos de Pearson	
a	0,1508
b0	-2,1124
b1	0,1508
b2	0,0434

Calculo de los momentos estadísticos.

Momentos estadísticos	
M1	2,263195427
M2	2,257203447
M3	9,608070699

Calculo de intensidad

INTENSIDADES Y OTROS	
CPROMEDIO	-360.611122
NPROMEDIO	0
CCURVA	
NCURVA	
Gc	30
Gn	-1460.15125
Gcn	-104.219769

Después de estos cálculos previos y la obtención del diagrama de caudales medios y precipitación del rio Fonce se procede a la obtención del ruido blanco con el archivo de análisis de datos de la autoría del Ing. Efraín Domínguez.



Ilustración 6 ruido blanco

Obtención del espectro a partir del software lab view a partir del ruido blanco previamente calculado.

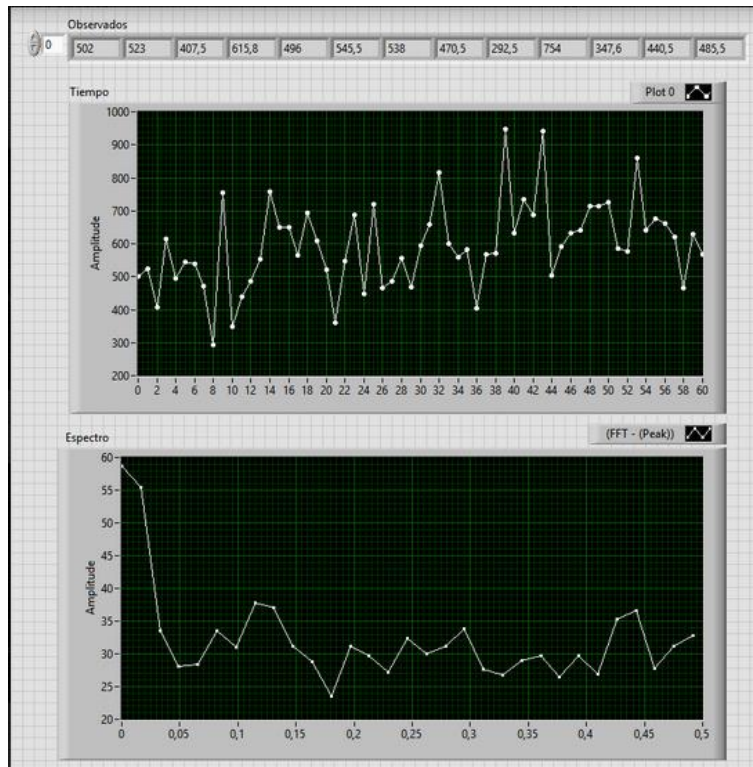


Ilustración 7 espectro de frecuencias

Calculo de los coeficientes de correlación.

coeficiente de correlación	
r	0,467222628
COV(X,Y)	4146,201614

Obtención de la gráfica de frecuencias.

coeficiente de correlación	
r	0,467222628
COV(X,Y)	4146,201614

Amenaza Dr. Mauricio Sánchez Silva

De acuerdo con los datos de caudales medios obtenidos del IDEAM, se clasifican en 7 intervalos, esta clasificación se realiza de forma aleatoria. Para un total de 52 datos, en el cual el máximo valor es 946.80 y el mínimo es 292.50, se procede a realizar el rango en el cual estos datos trabajan, como se dijo anteriormente la cantidad de intervalos a usar serán 7 y con estos dos datos podremos obtener el rango para cada intervalo el cual será 93.571.

n	62
c	11,286
Max	126,03
Min	47,25
rango	79
m	7

Con las clases establecidas, se procede a obtener la magnitud que será el resultado del promedio del intervalo. El número de eventos o frecuencia será la cantidad de datos que se encuentren dentro del intervalo.

Clases		Magnitud	No. Eventos
47,25	58,54	52,89	3
58,54	69,82	64,18	7
69,82	81,11	75,46	17
81,11	92,39	86,75	17
92,39	103,68	98,04	12
103,68	114,96	109,32	3
114,96	126,25	120,61	3

Los datos de caudal se modelarán con la distribución de Poisson dejando como resultado una gráfica en función de la magnitud. La columna $N(M \geq m_i)$ se obtiene del número de eventos acumulados mayores e iguales a cada valor de magnitud.

El valor de la columna v_i se da como resultado de la división de la columna $N(M \geq m_i)$ en T , el cual será el tiempo de observación, el cual en este caso es de 100 años.

Clases		Magnitud	No. Eventos	$N(M \geq m_i)$	v_i
47,25	58,54	52,89	3	62	0,62
58,54	69,82	64,18	7	59	0,59
69,82	81,11	75,46	17	52	0,52
81,11	92,39	86,75	17	35	0,35
92,39	103,68	98,04	12	18	0,18
103,68	114,96	109,32	3	6	0,06
114,96	126,25	120,61	3	3	0,03

Las ventanas de tiempos en las cuales se desea realizar el análisis son los siguientes:

Años a estudiar
2
10
50
100

Para obtener la probabilidad de ocurrencia de la amenaza se debe calcular $p(M \geq m)$, este se calculará para cada ventana de tiempo. Esta se obtiene con la siguiente ecuación:

$$p(M \geq m) = 1 - e^{-(t \cdot v_i)}$$

t = Ventana de tiempo

Clases		Magnitud	No. Eventos	$N(M \geq m_i)$	v_i	$p(M \geq m)_{2\text{años}}$
47,25	58,54	52,89	3	62	0,62	0,711
58,54	69,82	64,18	7	59	0,59	0,693
69,82	81,11	75,46	17	52	0,52	0,647
81,11	92,39	86,75	17	35	0,35	0,503
92,39	103,68	98,04	12	18	0,18	0,302
103,68	114,96	109,32	3	6	0,06	0,113
114,96	126,25	120,61	3	3	0,03	0,058

De esta forma la probabilidad de ocurrencia para las diferentes ventanas de tiempo es:

$p(M \geq m)_{2\text{años}}$	$p(M \geq m)_{10\text{años}}$	$p(M \geq m)_{50\text{años}}$	$p(M \geq m)_{100\text{años}}$
0,711	1	1	1
0,693	1	1	1
0,647	1	1	1
0,503	0,970	1	1

0,302	0,835	1	1
0,113	0,451	0,950	1
0,058	0,259	0,777	0,950

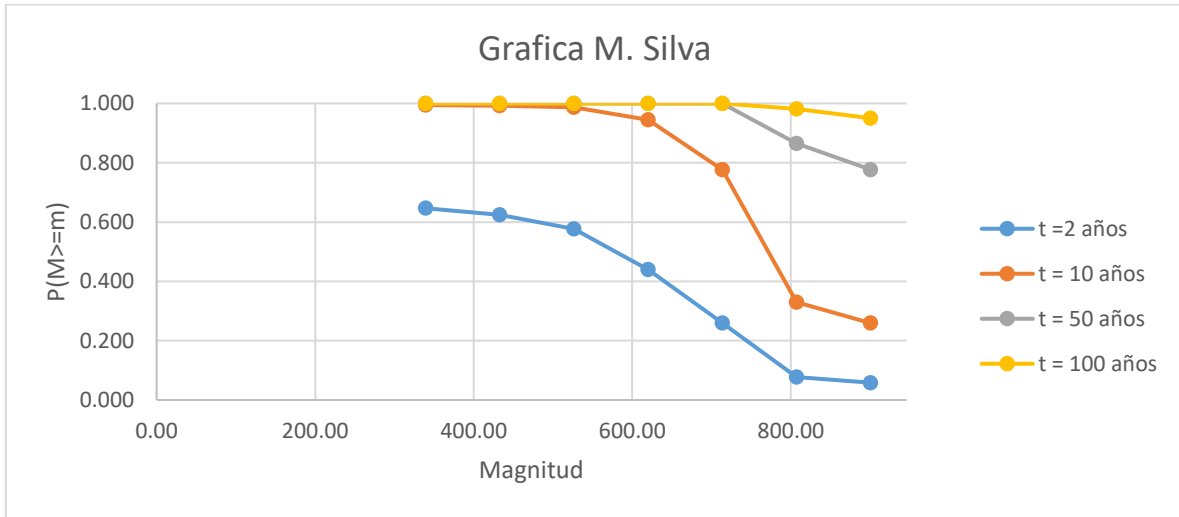


Ilustración 8sanchez silva

ANALISIS DE RESULTADOS

1. Análisis de la información

Con base en el río Fonce se detallará las estaciones hidrológicas que se ubican en esta cuenca, en la siguiente grafica se presentará el número de cada estación para la ubicación geográfica y el código con el cual se identifica en el IDEAM el cual nos dará información pertinente sobre el nivel del agua y el caudal en esta zona. Para este ejercicio escogeremos la estación de Charalá.

Numero	Nombre	Código
1	Curiti 2	24020150
2	Hda El Mamonal	24020150
3	San Gil	24027010
4	El Cucharo	24025020
5	Mogotes	24025040
6	Valle de San José	24020080
7	Coromoro	24020120
★ 8	Charala	24025050
9	Pueblo Viejo	24020230
10	Las Pavas	24020220
11	Encino	24020040

Ilustración 9 (Fuente UMNG autor Ing. Jorge fuentes)

La siguiente ilustración es la repartición geográfica de las estaciones en la cuenca del río Fonce.



Ilustración 10 (Fuente UMNG autor Ing. Jorge fuentes)

A continuación, vemos los municipios por los cuales pasa el río Fonce (más cercanos)

Municipios del río Fonce
La Pinuela
Valle de san José
El rozo
Las flores
San José
El Japal
Charalá
Riachuelo
El llano
San gil
Mogotes
Paramo

2. Procesamiento estadístico

2.1. Procesamiento de la serie de datos de precipitación en la estación Charalá (IDEAM)

Con los valores totales mensuales de precipitación de la estación Charalá obtenidos del IDEAM, se realizó el cálculo de: Promedio, desviación estándar, Curtosis (Cs) y coeficiente de asimetría (Ck).

Dando como resultado los siguientes valores:

Promedio	2429.278
Desviación estándar	558.264
Cs	1.241
Ck	-1.064

2.2. Procesamiento de la serie de datos de caudales en la estación San Gil

Con la obtención de los datos a través de IDEAM de caudales medios de la estación de San Gil, se realizó el cálculo del punto anterior los cuales son: Promedio, desviación estándar, Curtosis (Cs) y coeficiente de asimetría (Ck).

Dando como resultado los siguientes valores:

Promedio	84,47
Desviación estándar	15,895966
Cs	0,43632568
Ck	0,26700407

3. Pruebas de ajuste de bondad a los caudales medios del rio Fonce de la estación de Charalá (1955 - 2016)

A los datos del rio Fonce utilizamos el programa llamado easyfit el cual nos permite ver de una manera más clara que tipo de prueba que se ajusta más a nuestros datos efectuando una comparación a través de Kolmogorov, Andersen y chi cuadrado.

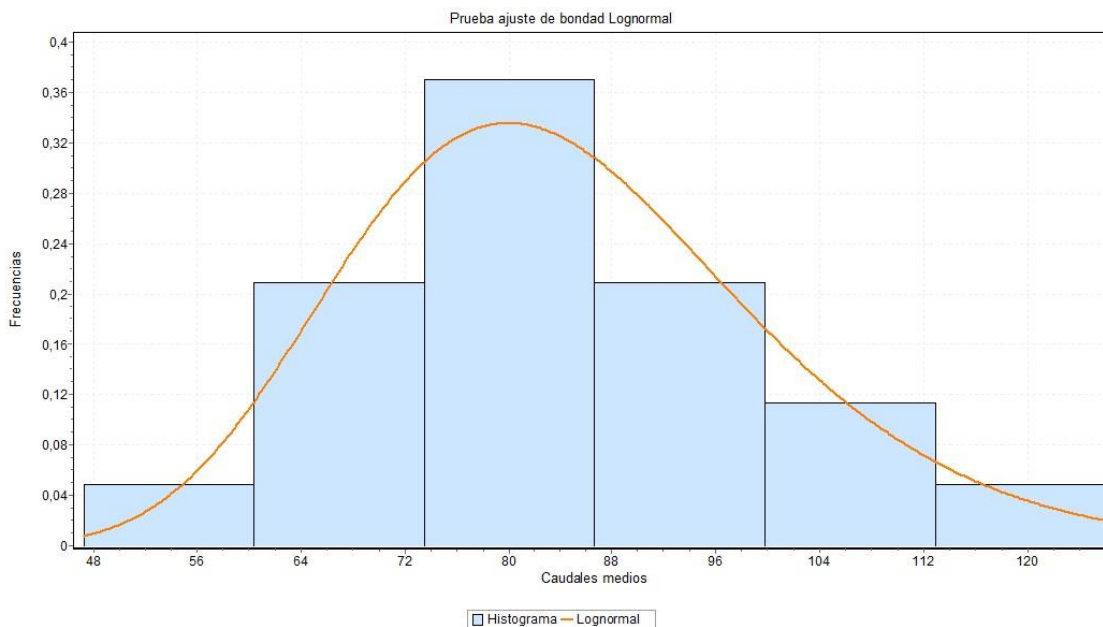


Ilustración 11 chi cuadrado log normal

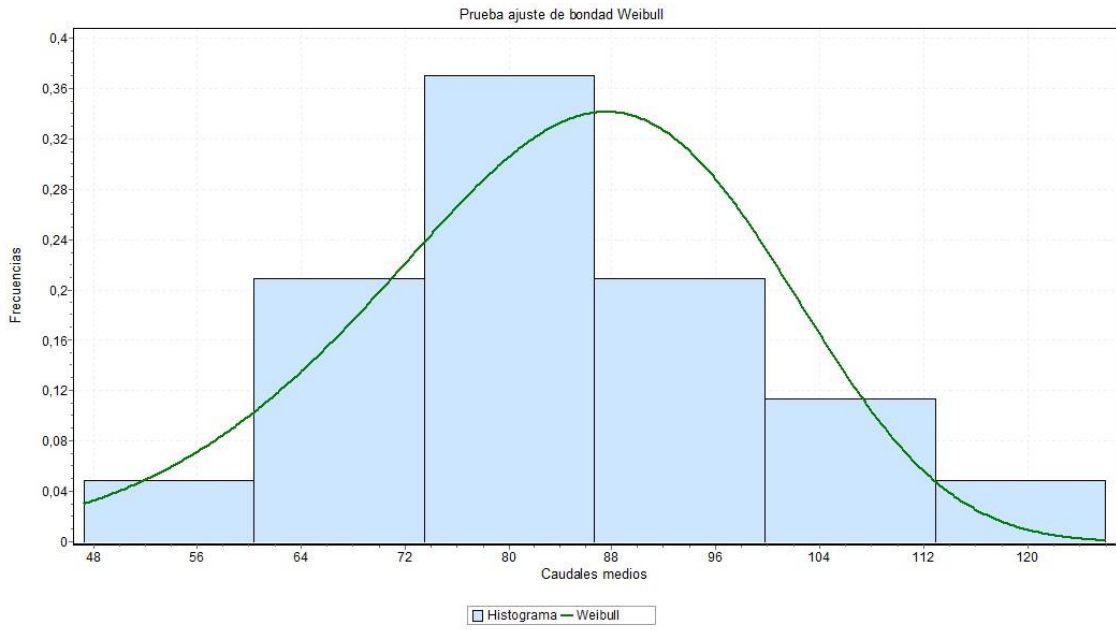


Ilustración 12 chi cuadrado weibul

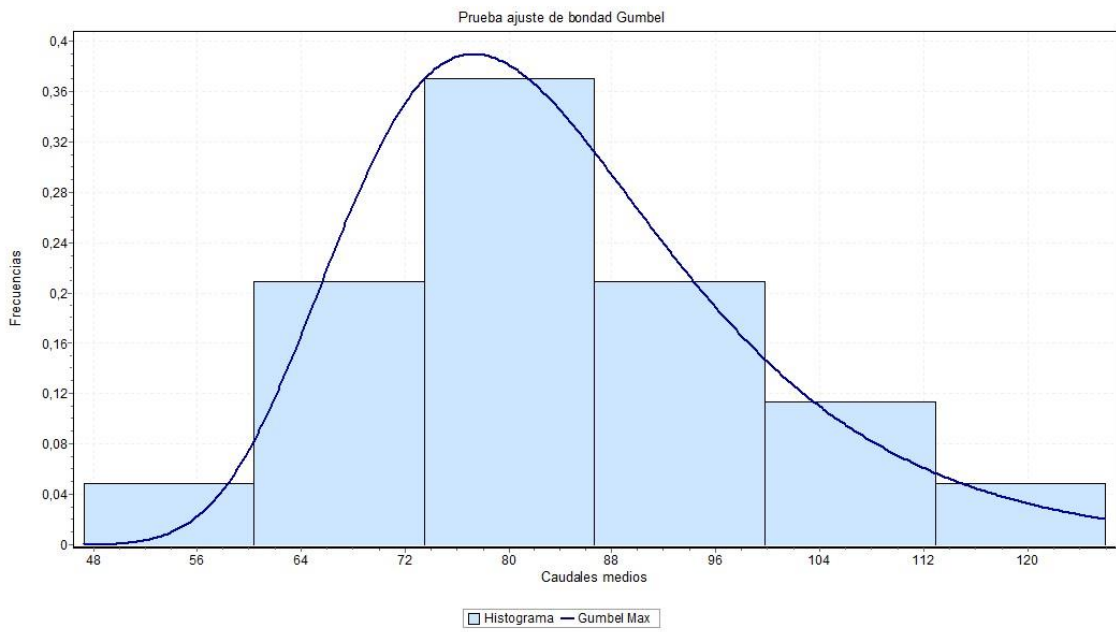


Ilustración 13 chi cuadrado gumbel

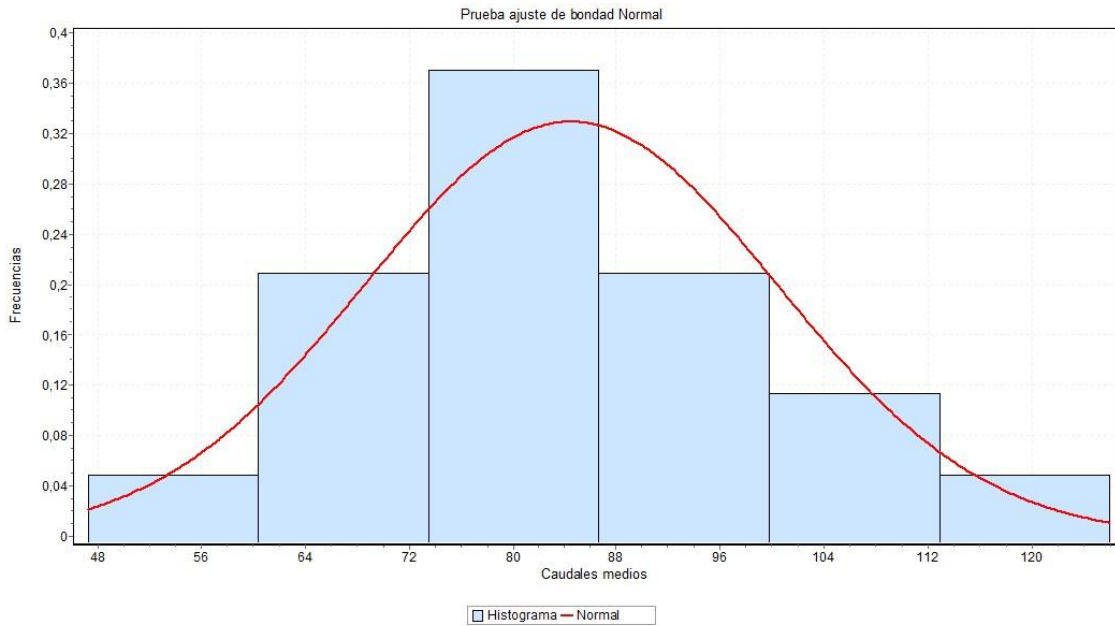
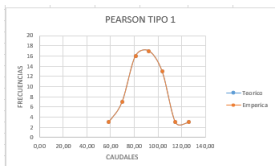
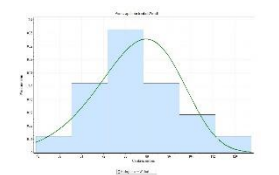
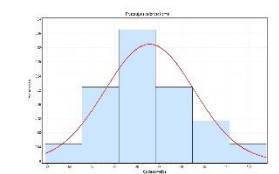
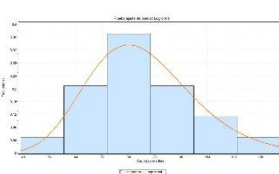
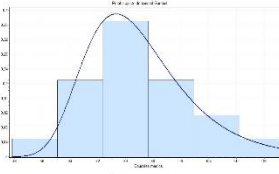


Ilustración 14 chi cuadrado normal

Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Log normal	0,05762	1	0,32102	22	1,8892	12
Wiebull	0,09696	42	0,63825	34	3,4325	27
Gumbel	0,08692	34	0,79031	40	1,2317	3
Normal	0,08701	35	0,31269	21	2,5697	25

De acuerdo a los resultados dados por el programa, la distribución que mejor se ajusta a los datos de caudales medios del río Fonce es Log normal, dado por las pruebas de bondad de Kolmogorov, Anderson y Chi-cuadrado.

Tabla de comparación de los diferentes métodos

Métodos	Graficas
Pearson	
Weibul	
Normal	
Log normal	
Gumbel	
FPK Pearson	

1. A partir de estas graficas podemos apreciar los diferentes métodos de probabilidad utilizados para la tabulación de datos de hidrología y podemos observar su ajuste, pese a que estos métodos son ampliamente conocidos e utilizados podemos partir que el sistema FPK Pearson abarca más parámetros a la hora de efectuar estos cálculos es por esto que este sistema permite crear pronósticos debido a que cuenta con muchos más parámetros de la cuenca.
2. La grafica entre los métodos que no incluyen la precipitación muestra una diferencia entre si debido a sus parámetros que evalúan, pero sistemáticamente la que mejor se ajusta a los datos de caudales medios sin tener en cuenta la precipitación es la distribución log normal.

3. El método usado por el Dr. Mauricio Sánchez nos presenta las probabilidades de ocurrencia de los caudales a través del tiempo establecido, indicando que la probabilidad de obtener mayores caudales en tiempos largos es alta lo cual es un estimativo adecuado.

CONCLUSIONES

1. El sistema FPK Pearson permite de alguna manera tener una mejor visualización de que es lo que está pasando en la cuenca del río Fonce dado porque involucra la precipitación y los caudales.
2. La utilización de los métodos tradicionales que se encuentran en el manual de drenaje vial para el cálculo de probabilidades dan una percepción un poco limitada ya que su esquematización no tiene en cuenta más parámetros lo cual genera cierta duda relevante en estos resultados.
3. El sistema FPK Pearson se puede utilizar manejando los parámetros de ruidos blancos sin anular ningún coeficiente, para generar unos pronósticos más acertados en la probabilidad de eventos.

BIBLIOGRAFIA

- <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/13/resenia-sobre-el-estado-del-arte-de-la-aplicacion-del-modelo-fokker-planck-kolmogorov.pdf>
- http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero08/08_03.pdf
- http://www.colombiamania.com/geografia/index_geografia/index_geografia_hidrografia.html
- ECUACIÓN FOKKER-PLANCK. <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/400229>
- Entregable 1. Jorge Fuentes
- Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos autor Mauricio Sánchez silva.
- Manual de drenaje vial INVIAS
- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INTENSIDADES DE RUIDO INVARIANTES EN LA FORMULACIÓN DE ESCENARIOS HIDROLÓGICOS UTILIZANDO LA SOLUCIÓN PSEUDO-ESTACIONARIA DE LA ECUACIÓN DE FOKKER – PLANCK – KOLMOGOROV autor ALEXANDER HASSIDOFF MARTÍ
- Estimating time trends in Gumbel-distributed data by means of generalized linear models by Robin T. Clarke
- MODELADO DE LOS HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS DE LOS VALORES DIARIOS DE CAUDALES Y ARRASTRE DE SEDIMENTOS DEL RIO FONCE (SAN GIL, SANTANDER) MEDIANTE EL SISTEMA DE PEARSON autor JUAN SEBASTIAN SALINAS UYABAN
- EASY FIT (software de probabilidad)
- The Pearson system of frequency curves digital computer program by N.R, Rich,L. Greene and R.C Graham

ANEXOS

Caudales medios

CAUDALES MEDIOS	
AÑO	MED(m ³ /s)
1955	91,39
1956	84,97
1957	70,48
1958	47,25
1959	70,88
1960	68,06
1961	69,43
1962	79,44
1963	78,98
1964	73,40
1965	68,19
1966	83,90
1967	75,37
1968	98,54
1969	80,74
1970	81,15
1971	126,03
1972	99,81
1973	81,79
1974	104,17
1975	91,14
1976	77,06
1977	66,65
1978	86,47
1979	96,41
1980	61,95
1981	108,27
1982	100,71
1983	83,08
1984	91,05

1985	82,63
1986	92,32
1987	79,76
1988	102,81
1989	99,14
1990	85,50
1991	68,97
1992	51,15
1993	76,30
1994	97,13
1995	83,39
1996	96,70
1997	76,99
1998	92,59
1999	117,40
2000	81,04
2001	70,64
2002	77,93
2003	85,25
2004	83,85
2005	90,90
2006	99,87
2007	95,17
2008	95,78
2009	77,77
2010	107,67
2011	123,65
2012	84,43
2013	72,67
2014	71,89
2015	54,80
2016	64,15

Datos de precipitación

PRECIPITACION	
AÑO	mm de agua
1973	732,746
1974	2732,054
1975	2614,300
1976	2351,900
1977	1852,400
1978	1888,600
1979	1425,000
1980	1207,750
1981	3120,050
1982	2604,900
1983	2628,900
1984	2454,500
1985	1880,200
1986	1193,900
1987	2648,304
1988	3001,592
1989	2800,158
1990	2620,746
1991	2244,500
1992	2130,446
1993	2633,525
1994	2659,629

1995	2817,700
1996	2761,000
1997	2558,200
1998	2742,600
1999	3391,700
2000	2350,500
2001	2744,000
2002	2593,900
2003	2774,400
2004	1990,100
2005	1578,500
2006	2670,700
2007	2822,300
2008	3007,517
2009	2469,983
2010	3156,700
2011	3267,900
2012	2615,483
2013	2241,517
2014	2345,700
2015	2413,000
2016	1896,800
2017	2779,808
2018	2330,692