

"METODOLOGIA APLICADA PARA SELECCIONAR UN SISTEMA
DE PRONOSTICOS DE AVENIDAS, UTILIZANDO UN PROCESO
DE SIMULACION".

DISERTACION

SOMETIDA A LA CONSIDERACION

DE LA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

DE LA

UNIVERSIDAD DE SONORA

POR

LORENZO YANES ROBLES

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO CON
ESPECIALIDAD EN IRRIGACION.

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

"METODOLOGIA APLICADA PARA SELECCIONAR UN SISTEMA
DE PRONOSTICOS DE AVENIDAS, UTILIZANDO UN PROCESO
DE SIMULACION".

DISERTACION

LORENZO YANES ROBLES.

ABRIL DE 1987

A MIS PADRES

JESUS YANES SCQUI

ROSA ROBLES DE YANES

A MI ESPOSA E HIJA

LOURDES SAAVEDRA DE YANES

YAZMIN YANES SAAVEDRA

A MIS HERMANOS

JESUS

ARMANDO

GLORIA

LIDIA

JOSE LUIS

ALMA DELIA

RECONOCIMIENTOS.

Con agradecimiento a la Escuela de Agricultura y Ganadería y a su planta de maestros y en especial:

ING. HUEZ.

ING. PRECIADO.

DR. CASTILLO.

Por sus oportunas observaciones técnicas, estructurales, de forma y fondo, emanadas de su cuidadosa revisión - de este trabajo.

Deseo agradecer especialmente las sugerencias y orientación del Dr. Christopher Watts y del M.I. Oscar Camara, - quienes me proporcionaron bibliografía sobre el tema.

Agradesco la colaboración que me brindó el personal de la Maestría de Administración de los Recursos Hidráulicos - (I.T.SON.) en cuyas oficinas se elaboró este trabajo.

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
LITERATURA REVISADA	3
CONCLUSIONES	24
RECOMENDACIONES	28
BIBLIOGRAFIA	30

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Representación de diferentes niveles de gastos.	7
Número de pluviógrafos requeridos para el pronóstico de avenidas.	33
Función de distribución acumulada de probabilidad de la magnitud de los eventos mayores que un valor "V".	34
Función de distribución acumulada de probabilidad del lapso entre eventos.	35

INDICE DE PROGRAMAS.

Pag.

Programa que calcula la distribución de probabilidad teorica de la magnitud de eventos dañinos.	36
Programa que calcula la probabilidad observada de los gastos máximos.	37
Programa que calcula la magnitud de los gastos generados (reales).	38
Programa que calcula la función de distribución acumulada teorica de lapso entre eventos dañinos.	39

INDICE DE CUADROS.

	Pag.
Gastos máximos registrados en la estación de- "Camecuaro" en M3/Seg.	40
Gastos máximos mayores o iguales que el nivel critico seleccionado	41
Distribución de probabilidad acumulada teori- ca de la magnitud de los eventos dañinos	42
Probabilidad observada de los gastos máximos ?....	43
Magnitud de los gastos generados (reales)	45
Función de distribución teorica del lapso en- tre eventos dañinos.....	47
Lapso entre gastos máximos registrados (en -- días)	48
Probabilidad observada del lapso entre gastos máximos registrados.....	49
Lapso generado entre gastos máximos	50
Error de los gastos "pronosticados".....	52
Número de pluviógrafos requeridos para pronos- tificar el gasto con un cierto error según el - criterio de Eagleson.	54

INTRODUCCION

Por los enormes costos económicos que supone a la comunidad, la complicada organización de un servicio de alertamiento para el caso de avenidas justifica su existencia en función de su utilidad pública. Basta una sola proporción para dar idea de los gigantescos beneficios que reportan los servicios meteorológicos: según evaluaciones de la O.M.M. (Organización Meteorológica Mundial) la relación beneficio/costo se sitúa en un valor aproximado de 20/1, abarcando la información meteorológica, en la práctica, todos los campos de actividad.

Una de las ayudas básicas de un servicio de alertamiento para el caso de avenidas es la eficaz contribución en la lucha contra las situaciones de catástrofe (ejem. -- inundaciones, etc.).

Sin embargo, pese a la advertencia, que capacita para la prevención de algunos desastres, y el adiestramiento y distribución de consignas entre el público (como el siguiente ahorro de vidas y propiedad), nada puede hacerse con el solo pronóstico para que el grado de devastación disminuya notablemente. En estas circunstancias, únicamen-

te es útil la modificación de las condiciones de formación de la avenida, intentando reducir su gran energía; hacia estas metas se ha orientado la investigación, que ofrece resultados altamente esperanzadores.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un ejemplo, basado en la metodología que presenta Eagleson y coautores (1973), para evaluar la factibilidad de implantar un sistema de alertamiento para el caso de avenidas, utilizando un proceso de simulación.

En la primera parte del trabajo se describe la metodología en forma detallada, mencionándose las hipótesis propuestas. En la segunda parte se presenta el ejemplo de aplicación.

LITERATURA REVISADA

Una de las tareas más complicadas entre las que integran un programa enfocado a la previsión de avenidas es recolectar información confiable en forma oportuna.

La recolección de datos se trata aquí como un problema de estimación, en el cual un evento estocástico, la lluvia, que es continuo en espacio y en tiempo, debe obtenerse a partir de observaciones discretas, en tiempo y espacio.

El problema de diseñar una red de medición, consiste en relacionar el sistema que proporcione la mejor estimación del evento real (lluvia); para ello debe de establecerse algún criterio como la exactitud de las variables medidas.

La exactitud de la medición a su vez es función de: la aleatoriedad de la lluvia, el lugar de las observaciones y los errores inherentes de los instrumentos usados.

El diseño de redes de medición se debe de basar en la premisa siguiente: la información es útil si su obtención puede causar un cambio de decisión o acción y su valor se mide por la ganancia económica asociada con el cambio de acción.

El proceso que se debe seguir para establecer un sistema de pronóstico de avenida es:

1.- Seleccionar la cuenca. Para ello se analizará los daños producidos por las inundaciones anteriores y se especificarán los daños que se pretenden evitar mediante el sistema de pronóstico. También se estudiarán algunas características generales de la cuenca como su forma, áreas, tamaño, topografía, etc. con el fin de proponer el tipo de sistema de medición por emplear (red de pluviómetros o red formada por pluviómetros y limnómetros).

2.- A continuación se efectúa un análisis que permite determinar las características de la red de medición con el rango de error con el cual debe operar. Esto se hace mediante la metodología descrita en este trabajo.

3.- La red de medición seleccionada permitirá pronosticar los gastos con un cierto error medio; sin embargo, en función del presupuesto disponible se deberá proponer la red definitiva, considerando para ello la localización exacta de los medidores y el sistema de transmisión y recepción de la información.

4.- Enseguida se establece el sistema de medición, con el equipo respectivo de transmisión, recepción y procesamiento.

En México el primer sistema de este tipo que se implan
tó fué el de Chicoasén (Dominguez y otros 1979); conviene,-
con base en los costos de éste, buscar relaciones que permi
tan calcular en forma aproximada el costo de sistemas que -
se deseen implantar en cualquier cuenca del país.

Es recomendable también mantener una vigilancia conti-
nua del sistema mencionado con el fin de obtener mayor in--
formación de beneficios, exactitud, etc.

5.- Por último se deberá construir o modificar el mode
lo lluvia-escurrimiento que permita elaborar el pronóstico-
y calibrarlo con los datos disponibles.

Debe recordarse que se denomina como beneficios "posi-
bles" en este trabajo a los generados por las medidas no es
tructurales (Yevjevich, 1974) que se toma como consecuencia
de un pronóstico oportuno (por ejemplo evacuación). Para po
der ejecutar dichas medidas, es necesario disponer de tiem
po suficiente.

Por tal motivo, para estudiar la factibilidad de implan
tar un sistema de pronósticos, con base en datos de lluvia,
sólo se tomarán en cuenta aquellas cuencas cuyo tiempo de -
concentración sea mayor que el requerido para efectuar las-
siguientes actividades; elaboración del pronóstico, disemina
ción del mismo y ejecución de las medidas no estructurales.

El proceso de simulación utilizado para determinar los beneficios, asociados a redes de pluviógrafos de diferentes densidades, es el siguiente:

- Se genera un conjunto de gastos máximos, así como el lapso entre ellos, para el sitio de interés.
- Se generan varios conjuntos de gastos "pronosticados" con base en el conjunto de gastos generados en el inciso anterior y en la simulación del comportamiento de redes de pluviógrafos de diferentes densidades, cada una de las cuales permitiera medir la precipitación con una cierta exactitud, seleccionandose aquélla que genere el máximo beneficio. A continuación se precisa la secuela mencionada, presentandose al final el ejemplo de aplicación.

Generación de los gastos máximos.

Shane y Lynn (1964) propusieron un modelo matemático para evaluar el riesgo de las inundaciones. Mediante éste generan una serie formada por gastos pico mayores que un nivel crítico (V). A tales eventos los denominan "eventos dañinos".

En el caso de pronósticos de avenidas debe seleccionarse un nivel crítico menor que el nivel que produce daños. Así por ejemplo, si el gasto pronosticado, traducido a nivel, es mayor que el nivel de daños y el gasto que se presenta ("real"), traducido a nivel, es mayor que el nivel

crítico pero menor que el nivel de daños (Fig. 1), se generará un costo de movilización por la respuesta positiva de los ocupantes de la zona.

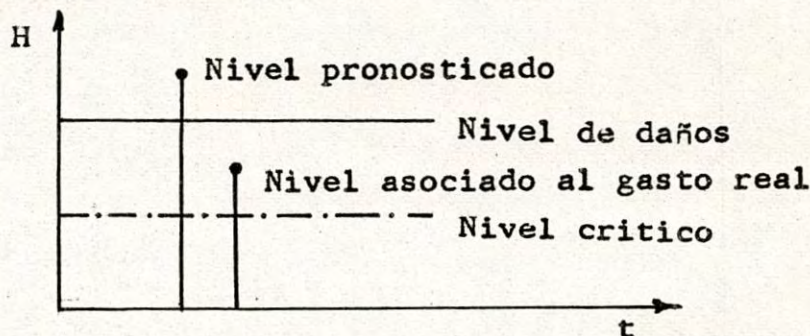


Fig. 1 Representación de diferentes niveles de gastos.

Por lo tanto el seleccionar un nivel crítico menor que el nivel que produce daños, permite tomar en cuenta los costos generados por una respuesta positiva de los ocupantes de la zona advertida, ante un aviso falso de inundación. El valor crítico (ν) se escoge por inspección, con objeto de que la probabilidad de no considerar los costos de falsas alarmas sea mínima.

Shane (1964) dedujo que la distribución teórica de la magnitud de "eventos dañinos" es de forma exponencial con función de distribución acumulada de la forma:

$$F_{Q/\nu}(q) = 1 - e^{-(q-\nu)/\gamma} \quad 1)$$

donde $Q(M3/S)$ es la magnitud del pico, ν el nivel crítico-arriba del cual se cataloga a un evento como dañino y γ un parámetro. Se considera que la magnitud de un evento dañino es independiente de la magnitud de todos los demás.

Shane (1964) comenta que no es extraño el buen ajuste de los datos a la distribución exponencial, ya que una serie de este tipo (eventos dañinos) es sólo una muestra de una población, cuya función de distribución corresponde a la cola de la función de distribución asociada con una población (todos los gastos pico).

Se considera que: $\gamma = \bar{Q} - \nu$ 2)

siendo $\bar{Q} = \frac{\sum Q_i}{N}$ 3)

y $N =$ número de eventos dañinos.

La generación de la magnitud de los eventos dañinos se hace de la siguiente manera:

- 1.- Se escoge el nivel crítico (ν) del registro histórico de gastos máximos del punto en estudio.
- 2.- Se obtiene N , \bar{Q} y γ .
- 3.- Se genera un número aleatorio (N_a) con distribución uniforme entre cero y uno, el cual se supondrá que es igual al valor de la función de distribución acumulada $F_{Q/\nu}(\gamma)$, dada por la ec. 1.

$$N_a = 1 - e^{-(\gamma - \nu)/\gamma}$$

4.- Se despeja el valor de Q el cual es el gasto máximo ---
"generado".

$$Q = V - \gamma \ln [1 - Na] \quad 4)$$

Los gastos máximos "generados" que en lo que sigue se denominarán como gastos "reales", se consideran como sustitutos de los del registro histórico ya que conservan la media y la varianza de ellos y permitan aumentar el tamaño -- del registro de gastos.

Generación del lapso entre gastos máximos.

Shane (1964) demuestra de una forma simple, que el lapso entre dichos eventos sigue una distribución exponencial, cuya función de distribución acumulada es de la forma:

$$F_T(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad 5)$$

$$\lambda = \frac{N}{t_r} \quad 6)$$

donde:

t_r es la longitud del registro en años y N el número de eventos dañinos.

El lapso entre eventos dañinos generados se calcula - mediante el siguiente procedimiento:

- 1.- Se calcula λ con la ecuación 6.
- 2.- Se genera un número aleatorio con distribución uniforme entre cero y uno (Na), el cual se supone que es igual al valor de la función de distribución acumulada - dada por la ecuación 5.

$$N_a = 1 - e^{-\lambda t}$$

3.- Se despeja el valor de t de la ecuación anterior:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln[1 - N_a] \quad 7)$$

El número de lapsos generados (t) dependerá del tamaño del registro que se desee obtener. Dicho registro se construirá asociando a cada gasto máximo "generado" (Gasto "real") el lapso generado correspondiente (t).

Con el fin de comparar cuanto se ajustan los gastos máximos registrados a la función de distribución acumulada dada por la ecuación 1; y el lapso entre eventos del registro histórico a la función de distribución acumulada dada por la ecuación 5, se calcula la probabilidad observada de ambos eventos.

Se define como probabilidad observada a:

$$P(x_i) = P(X < x_i) \quad 8)$$

dicha probabilidad está dada por:

$$P(X < x_i) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad 9)$$

donde T_r es el período de retorno. Para calcularlo se pueden utilizar varias fórmulas; una de las más empleadas es la de Weibull (Linsley, 1975).

$$T_r = \frac{N+1}{m} \quad 10)$$

en la que N es el número de datos y m es el número de orden que ocupa el evento X_i en el conjunto de datos ordenados de mayor a menor.

Generación de los gastos "pronosticados" con una cierta desviación estándar.

Para calcular los gastos "pronosticados" definiremos - la variable X_p como:

$$X_p = \frac{\text{Gasto "pronosticado"}}{\text{Gasto "real"}} = \frac{Q_p}{Q_r} \quad 11)$$

Eagleson y Grayman (1971) demuestran que esta variable sigue aproximadamente una distribución log - normal, cuyos parámetros son función de varias características: climáticas (intensidad y duración de la lluvia, estructura de correlación espacial de la tormenta), de la cuenca (tamaño, forma, tiempo de respuesta), y de la red de medición (número de pluviógrafos, distribución).

Para calcular el valor de X_p es necesario definir primero su función de distribución acumulada, o su función de densidad. Esto se consigue una vez que se conocen los parámetros de la misma, o sea la media (μ_L), la desviación estándar (σ_L) y su límite inferior (a_L), los cuales están dados por:

$$\mu_L = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(\mu - a_L)^4}{(\mu - a_L)^2 + \sigma^2} \right] \quad 12)$$

$$\sigma_L^2 = \ln \left[\frac{(\mu - a_L)^2 + \sigma^2}{(\mu - a_L)^2} \right] \quad 13)$$

En este caso se considera $a_L=0$ para que la variable X_p no resulte negativa en ningún caso.

Para evaluar μ_L y σ_L es necesario conocer μ y σ . Si se hace un ajuste por momentos, la media (μ) y la desviación estándar (σ) de la población, se estiman con la media μ_{X_p} y la desviación estándar (σ_{X_p}) de la muestra compuesta en este caso por los valores de X_p .

Si se supone que no existen errores sistemáticos, la media de los valores de X_p es igual a uno, lo que implica que el registro de gastos "pronosticados" no tiene tendencia.

o sea:
$$\mu_{X_p} = 1 \quad 14)$$

Esto equivale a que la media de los gastos "pronosticados" sea igual a la media de los gastos "reales".

Puesto que en este caso $a_L=0$ y $\mu_{X_p}=1$, basta suponer un valor de la desviación estándar (σ_{X_p}), para poder definir la función de distribución log - normal de X_p (ec. 12 y 13).

Una vez definida la función de distribución de X_p para

una desviación estándar supuesta (σ_{X_p}), se pueden calcular los gastos "pronosticados" simplemente generando valores de X_p y utilizando la ecuación 11.

Para simplificar el proceso de generación de X_p se puede tratar la distribución log - normal como una distribución normal, siempre y cuando se empleen logaritmos de las variables aleatorias.

De esta manera, la probabilidad de que una variable aleatoria con distribución logaritmo - normal tome un valor entre a y b , será igual a la probabilidad de que una variable aleatoria con distribución normal y con $\mu = \mu_L$ y $\sigma = \sigma_L$, tome un valor entre $\ln a$ y $\ln b$ o sea:

$$P(a \leq X \leq b) = F \left[\frac{\ln(b-a_L) - \mu_L}{\sigma_L} \right] - F \left[\frac{\ln(a-a_L) - \mu_L}{\sigma_L} \right] \quad 15)$$

Los valores dados por la ecuación 15 se obtiene en cualquier tabla de valores de la distribución normal (Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas, serie Schaum's).

A continuación se explica la forma de calcular los valores de X_p .

1.- Se genera un número aleatorio (N_a) con distribución uniforme entre cero y uno, el cual se supone que es igual al valor de la función de distribución acumulada de X_p o sea:

$$N_a = P(X \leq X_p) \quad 16)$$

donde:

$$P(X \leq X_p) = F \left[\frac{\ln(X_p - Q_L) - \mu_L}{\sigma_L} \right] = F [K_\alpha] \quad 17)$$

2.- Se obtiene el valor de la abscisa de la distribución normal estándar $[K_\alpha]$, correspondiente al valor de la función de distribución acumulada de X_p , valuada de $-\infty$ a K_α .

3.- Se despeja el valor de X_p de la ecuación 17.

$$K_\alpha = \frac{\ln(X_p - Q_L) - \mu_L}{\sigma_L} \quad 18)$$

puesto que $Q_L = 0$ se tiene:

$$X_p = e^{(\mu_L + K_\alpha \sigma_L)} \quad 19)$$

donde:

$$\begin{aligned} K_\alpha &= -Y & ; & \text{ si } 0.0 \leq n < 0.5 \\ K_\alpha &= Y & ; & \text{ si } 0.5 \leq n < 1.0 \end{aligned} \quad 20)$$

Se generarán tantos valores de X_p como gastos se desee "pronosticar". El lapso entre los gastos "pronosticados" será el mismo que para los gastos "reales".

Obsérvese que el conjunto de gastos "pronosticados" está asociado a una cierta desviación estándar de X_p , lo que equivale a decir que se pronosticaron con un cierto error.

Si se define el error medio de los gastos "pronosticados" (\bar{E}) como:

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{N} \quad 21)$$

donde:
$$E = \frac{|Q_{\text{pronosticado}} - Q_{\text{real}}|}{Q_{\text{real}}} \times 100 \quad 22)$$

se podrá conocer el valor de dicho error medio para cada -- conjunto de gastos "pronosticados" con una cierta desvia--- ción estándar de la variable X_p .

Una vez calculado el error medio de un conjunto de gastos "pronosticados", se relaciona a éste con el número de - pluviógrafos que permite pronosticar el gasto con dicho --- error.

Lo anterior se logra mediante el uso de la relación -- (Fig. 2) que se acepta igual que la propuesta por Eagleson- con la cual se calcula el número de pluviógrafos (G) en fun- ción: del tipo de tormenta (ciclónica o convectiva); la es- tructura de correlación de la misma (r_c); y la forma y ta- maño de la cuenca.

Ejemplo de aplicación.

El ejemplo que se presenta no es completamente supuesto. La cuenca analizada pertenece al sistema del Río Lerma. Los gastos máximos que se tomaron como base son los registrados en la estación hidrométrica Camécuaro, Mich.

El objetivo principal de este ejemplo no es resolver un caso específico sino más bien ilustrar una metodología que permita estudiar la factibilidad económica de implantar un sistema de pronóstico de avenidas, en forma general.

Generación de la magnitud de los gastos máximos.

El nivel crítico de daños (V) se seleccionó buscando que se presentaran tres o cuatro gastos que rebasaran ese nivel en el año (Cuadro No. 1).

$$V = 25 \text{ M}^3/\text{s}.$$

Así se obtuvo un valor medio para los "eventos dañinos" de (Cuadro No. 2).

$$\bar{Q} = 37.78 \text{ M}^3/\text{s}.$$

y por lo tanto:

$$\sigma = \bar{Q} - \nu = 37.78 - 25 = 12.78$$

La función de distribución acumulada de magnitud de los eventos dañinos se obtuvo mediante la ecuación 1, programa 1 (Cuadro No. 3)

$$F_{Q/\nu}(q) = 1 - e^{-(q - 25)/12.78}$$

Para comprobar el grado de ajuste de los datos del registro histórico, a la distribución teórica, se calculó la probabilidad observada de la magnitud de los gastos máximos programa 2 (cuadro No. 4).

$$P(X < X_i) = 1 - \frac{m}{N + 1} = 1 - \frac{m}{74}$$

En la figura 3 se presenta la función de distribución acumulada (teórica) y la probabilidad observada de los gastos que producen daños.

Enseguida se generan las magnitudes de los eventos dañinos mediante la ecuación 4, programa 3 (Cuadro No. 5).

$$q = 25 - 12.78 \ln [1 - N_a]$$

Así por ejemplo, para el primer valor de dicho cuadro:

$$N_a = 0.14 \text{ ===== } q = 27 \text{ M3ts.}$$

Generación del lapso entre gastos máximos.

En el cuadro 1 se observa que la probabilidad de ocurrencia de los eventos dañinos ($Q > 25 \text{ M}^3/\text{s}$) es similar para los meses de julio, agosto y septiembre. Se tomaron en cuenta, sin embargo, los meses de junio y octubre para aumentar un poco el tamaño del registro y para no desprestigiar los eventos dañinos ocurridos en esas fechas.

El promedio de ocurrencia de los eventos dañinos es -- (ecuación 6).

$$\lambda = \frac{73}{28} = 2.61 \text{ eventos/año.}$$

La función de distribución acumulada del lapso entre eventos se calcula mediante la ecuación 5, programa 4 (Cuadro No. 6).

$$F_T(t) = 1 - e^{-2.61t}$$

Los lapsos entre gastos máximos registrados se presentan en el cuadro No. 7 y la probabilidad observada de los mismos en el cuadro No. 8.

En la figura 4 se graficaron los resultados obtenidos y la función de distribución acumulada del lapso entre eventos.

A continuación se generan los lapsos mediante la ecuación 7, (Cuadro No. 9).

$$\text{si: } t = - \frac{1}{2.61} \ln [1 - Na]$$

$$Na = t = 0.072$$

Puesto que sólo se consideraron cinco meses para el análisis, el lapso entre eventos expresados en días será:

$$t = 150 \text{ días} \times 0.072 = 11 \text{ días.}$$

Si se observa por ejemplo el quinto evento de el cuadro No. 9 se verá que el lapso acumulada en días, es 167; esto indica que el evento se presentó 17 días después del primer año o sea el 17 de junio del año dos, ya que el primer mes se considera es junio.

En el ejemplo se escogió una vida útil de la red de 30 años. Esto equivale a un registro de 4,500 días. En el cuadro 9 se observa que en este caso se requirió generar 83 eventos para tener un registro de tal longitud.

El proceso seguido hasta este punto, se ejecuta una so la vez.

Generación de los gastos "pronosticados".

A partir de aquí se hará el análisis tantas veces como puntos se desee obtener para definir las relaciones número-de pluviógrafos vs. error medio de los gastos pronosticados. En el ejemplo se calcularon 4 alternativas.

A continuación se describe la secuela empleada para generar los gastos "pronosticados" y para calcular el error medio de dichos gastos.

a) En todas las alternativas se supone:

$$\mu_{Xp} = 1.0$$

b) Se supone por ejemplo:

$$\sigma_{Xp} = 0.15$$

c) Se calculan los parámetros de la distribución log - normal a la que se ajusta la variable X_p .

de la ecuación 12:

$$\mu_L = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1.0}{1 + (0.15)^2} \right] = - 0.011125304$$

de la ecuación 13:

$$\sigma_L^2 = \ln \left[\frac{1 + (0.15)^2}{1} \right] = 0.022250609$$

$$\sigma_L = 0.149166380$$

d) Se genera un número aleatorio (N_a) entre 0 y 1, con distribución uniforme.

e) De la ecuación 16:

$$N_{a_i} = P(X \leq X_p) = 0.7201252$$

Si se busca el valor de la abscisa de la distribución normal estándar (K_α) de un cuadro donde la probabilidad se cuantifique de " $-\infty$ " a " K_α " se tiene:

$$K_\alpha = 0.582848846$$

f) De la ecuación 19.

$$X_p = e^{(-0.011125304 + .582848846 \times 0.14916638)}$$

$$X_p = 1.078764223$$

g) Para calcular los gastos "pronosticados" se debe conocer el gasto "real"; de el cuadro No. 5 se observa que el primer gasto es de 27 M³/s.

De la ecuación 11:

$$Q_p = 1.079 \times 27 = 29.13 \text{ M}^3/\text{s}.$$

h) El error asociado a dicho gasto es:

De la ecuación 22:

$$E_i = \frac{29.13 - 27.0}{27} \times 100 = 7.78\%$$

i) Se repite la secuela a partir del inciso "d", tantas veces como gastos "pronosticados" se desee generar.

j) El error medio de los gastos "pronosticados" es; (Cuadro No. 10).

De la ecuación 21.

$$\bar{E} = \frac{963.8}{83} = 11.61\%$$

El cálculo se puede ordenar como se muestra en el cuadro No. 10. El resumen de los resultados obtenidos de las 4 alternativas se muestran en el cuadro No. 11.

Cálculo del número de pluviógrafos.

Conocido el error medio de los gastos pronosticados se diseñó la red mediante el criterio de Eagleson. El proceso de cálculo es el siguiente:

a) Se selecciona el tipo de tormenta: para este caso será convectiva.

b) Se calcula el radio de correlación de la tormenta: de estudios hechos en la zona, se seleccionó un valor de -----
 $r_c = 10 \text{ Km.}$

c) Se estiman la longitud del cauce principal (L_s) y la longitud promedio transversal de la cuenca ($2L_c$).

$$L_s = 60 \text{ Km.} \quad ; \quad 2L_c = 20 \text{ Km.}$$

$$A = L_s \times 2L_c = 1,200 \text{ Km}^2.$$

d) Se calculan: el factor de amplitud de la tormenta (β) y el factor de la forma de la cuenca (λ):

$$\beta = \frac{L_s}{r_b} = \frac{60}{10} = 6 \quad \lambda = \frac{L_c}{L_s} = \frac{10}{60} = 0.166$$

e) Con ayuda de la figura 2 para $\bar{E} = 11.61\%$ y $\beta = 6$ se obtiene:

$$\frac{2G}{\lambda\beta} = 4.3 \quad \text{=====} \quad G = \frac{4.3 \lambda\beta}{2} = 2.14$$

En el cuadro No. 11 aparece el número de pluviógrafos que se requiere para cada una de las 4 alternativas estudiadas en el ejemplo.

CONCLUSIONES.

Aunque el pronóstico de la ocurrencia de avenidas se ha podido mejorar mucho, el aspecto cuantitativo del mismo todavía tiene considerables deficiencias.

Actualmente se estudia la forma de mejorar el aspecto cuantitativo del pronóstico de avenidas a escala local; se cree que las técnicas estadísticas con ayuda de la computadora pueden ser las herramientas más sencillas y rápidas para resolver en forma aproximada dicho problema.

El ciclo hidrológico es un proceso bastante complejo que involucra una cantidad muy grande de factores; la variabilidad de éstos en tiempo y espacio es distinta; algunos pueden variar rápidamente y otros en plazo muy largo por lo cual se podrían considerar como constantes.

Los modelos matemáticos empleados en la hidrología paramétrica son, hasta la fecha, la representación más sencilla de dicho ciclo, aunque posiblemente no la más exacta.

Por otra parte, a pesar de que los sistemas hidrológicos son no lineales, se utilizan generalmente modelos lineales ya que no es conveniente emplear en algunos casos otro-

enfoque que complique el proceso de cálculo, si no se cuenta con datos suficientes y confiables.

Es necesario buscar métodos que permitan cuantificar mejor las pérdidas, con el fin de establecer relaciones lluvia-escurrimiento más confiables.

En el trabajo se explicó que los costos y beneficios del sistema de alertamiento son función de los gastos pronosticados con determinado error y que dicho error depende del número de pluviógrafos.

En el ejemplo se estudió el efecto que producían diferentes incrementos marginales de los gastos pronosticados, o sea se analizó la ventaja que podría presentar el difundir un pronóstico cuyo gasto fuera mayor que el gasto pronosticado con cierto error.

De los resultados obtenidos del ejemplo (cuadro 11) se observa que para un error promedio de 2.0 en el pronóstico el número de pluviógrafos requeridos es de 23 y a medida que disminuye el número de pluviógrafos el error promedio del pronóstico va en aumento por lo que en función del presupuesto disponible se deberá proponer la red definitiva.

Lo que se pretende enfatizar, es que deben de efectuarse análisis de este tipo para determinar si es conveniente to-

mar determinadas medidas (en este caso específico, sobrepro-
nóstico), con el fin de tratar de obtener beneficios netos-
mayores.

Se considera que un sistema de recopilación y transmi-
sión automática de datos de lluvia y de escurrimiento ofre-
ce ventajas tales como: bajos costos de operación, informa-
ción más confiable, oportuna y precisa ya que se puede medir
con mayor frecuencia un cierto parámetro, independientemen-
te de las condiciones climáticas y de la hora y el lugar --
del muestreo.

Las desventajas que presenta el sistema automático son
entre otras: que se requiere personal especializado para a-
tender las actividades de calibración periódica, mantenimien-
to y reparaciones en general; su alto costo inicial com-
parado con los dispositivos no automáticos, en el que se in-
cluyen los costos asociados a una mejor y mayor protección-
y el costo de los equipos auxiliares de procesamiento, ----
transmisión y recepción.

Por lo tanto, la conveniencia de establecer un sistema-
de este tipo, debe analizarse desde el punto de vista econó-
mico. Cuando los beneficios no pueden cuantificarse en una -
forma precisa, se considera como medida útil del proceso de-
toma de decisiones, a la efectividad de un sistema propuesto
para alcanzar un objetivo específico.

Por tal motivo la metodología propuesta por Eagleson, además de ser bastante sencilla, permite evaluar en forma rápida y económica la ventaja de implantar un sistema de pronóstico de avenidas. El problema que se presenta es idéntico al de todos los criterios existentes: la falta de información sobre costos y beneficios atribuibles al sistema.

RECOMENDACIONES

Dependiendo de las limitaciones presupuestales y de la topografía de la zona, podría ser más conveniente la instalación de un número mayor de pluviógrafos; esto disminuiría la probabilidad de que el centro de la tormenta no fuera detectada por ninguno de los medidores y además permitiría lograr pronósticos un poco más exactos, lo que a su vez redundaría en una mejor respuesta de la población al pronóstico.

En cuencas grandes, se debe buscar la forma de reducir el número de pluviógrafos, por ejemplo, mediante el uso de limnigrafos; esta medida podrá tomarse, cuando el tiempo de translación de la avenida desde el sitio aforado hasta el punto de interés, es menor o cuando más igual, al tiempo de concentración de la lluvia en la subcuenca considerada.

Cabe mencionar que un sistema de información, por eficiente que sea, no será útil si no se cuenta con los modelos para procesar o transformar la información recopilada en valores que se pueden contrastar con índices prefijados y de cuya comparación puedan adoptarse medidas de acuerdo con una cierta política de operación o control.

Es necesario además que se intensifique la investigación de metodologías que permitan cuantificar los efectos económicos y sociales inherentes al problema de las inundaciones.

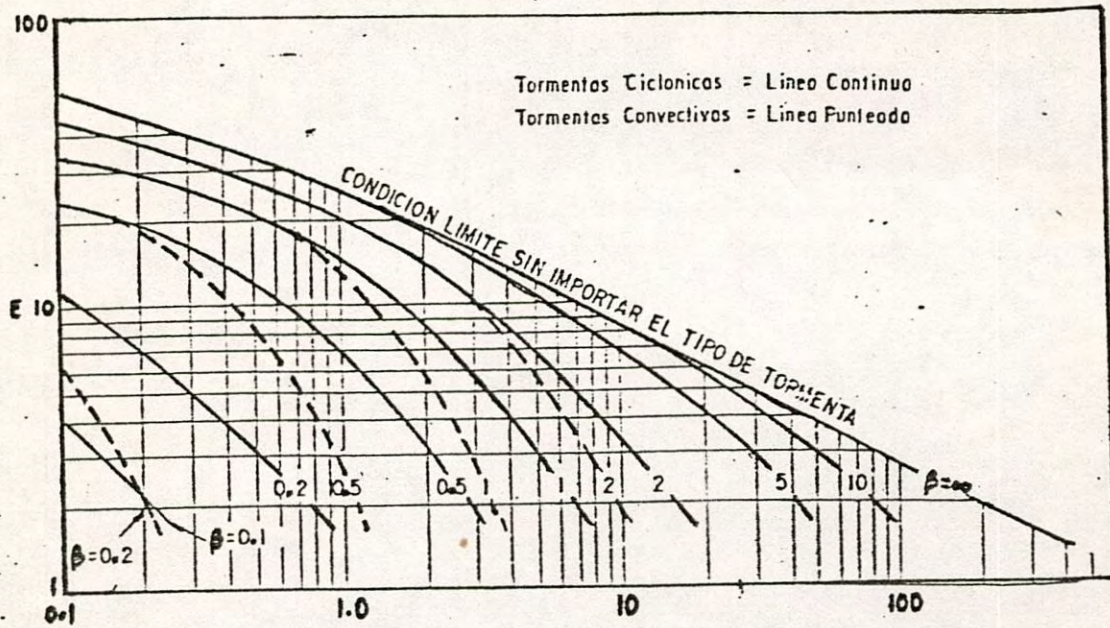
Es necesario tener conocimientos muy amplios de las distintas disciplinas que intervienen en la planeación de los recursos hidráulicos.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Almazán, R., et al. 1978-a. "Algunas Características de la Precipitación en México", Nota técnica DIT-1-78, Subdirección de Previsión Atmosférica, DGCRISH, SARH.
- 2.- Almazán, R., Barrera, T.M. 1978-b. "Memorandum Tec. DIT-5-78" Subdirección de Previsión Atmosférica, DGCRISH, SARH.
- 3.- Baras, R.L., y Rodríguez - Iturbe I. 1975. "Rainfall - Runoff as Spatial Stochastic Processes. Data Collection -- and Synthesis", Ralph M. Parsons Lab. of Water Res. and Hyd., MIT, Rep., No. 196, Cambridge, Mass.
- 4.- Chow, V.T. 1964 "Handbook of Applied Hydrology", McGraw Hill Book Co., N.Y.
- 5.- Domínguez M.R., et al. 1977. "Aplicación de los Sistemas de Informática a la Previsión de Hidrogramas", Estudio del Inst. Inv. de la Facultad de Ingeniería de la UNAM para la SARH.
- 6.- Domínguez M.R., Quas W.R., Legaria M.G. 1979. "Sistema telemétrico de previsión de avenidas para la presa Chi-

- coasén, Chiapas", Publicación Interna del Inst. Inv. de la Fac. de Ing. de la UNAM.
- 7.- Eagleson, P.S. 1967. "Optimum Density of Rainfall Networks", Water Resources Research, Vol 3, No. 4, pp 1021 1033.
 - 8.- Eagleson, P.S., y Grayman, W.M. 1971. "Evaluation of Radar and Raingage Systems for Flood Forecasting", Ralph M. Parson Lab. of Water Resources and Hydrodynamics, -- MIT, Rep. No. 138, Cambridge, Mass.
 - 9.- Fleming, G. 1975. "Computer Simulation Techniques in -- Hydrology", Ed. American Elsevier Publishing Co. Inc., -- New York.
 - 10.- Grayman W.M. y P.S. Eagleson. 1973. "Desingn of Optimal Precipitacion Networks", Ralph M.Parson Lab. of Water-Resources and Hydrodynamics, MIT, Rpe. No. 168, Cambridge, Mass.
 - 11.- Linsley, R., Kohler, M., Paulhus, J. 1975. Hydrology - for Engineers", 2nd Ed., Mc Graw-Hill, Gook Co.
 - 12.- Ortega, G.E. 1972. "Aplicación de un Modelo Digital pa ra Simulación del Ciclo Hidrológico", Tesis Profesio--nal, Fac. Ing. UNAM.

- 13.- Sánchez B. J. L. et al. 1976. "Aplicación de los Sistemas de Informática a la Previsión de Hidrogramas", Estudio del Inst. Inv. de la Fac. Ing. UNAM.
- 14.- Shane R.M., y Lynn R. W. 1964. "Mathematical Model -- Flood Risk Evaluation", Jour. of the Hydraulics Div.,- ASCE, HYG.
- 15.- Yevjevich V. 1964. "Systematization of Flood Control - Measures", Journal of the Hydraulics Div., ASCE, HY11.



$$\frac{2G}{\lambda\beta} \text{ (PARA } \beta \geq 2), \frac{G}{\lambda} \text{ (PARA } \beta < 2)$$

G = NÚMERO DE PLUVIOGRAFOS IGUALMENTE ESPACIADOS

E = % DE ERROR EN EL PRONÓSTICO "EXÁCTO" DEL GASTO PICO MÁXIMO

λ = $\frac{\text{ANCHO DE LA CUENCA}}{2 \times \text{LONGITUD DE LA CUENCA}}$

β = $\frac{\text{RADIO EFECTIVO DE LA TORMENTA, } r_s$

Fig. 2. Número de pluviógrafos requeridos para el pronóstico de avenidas

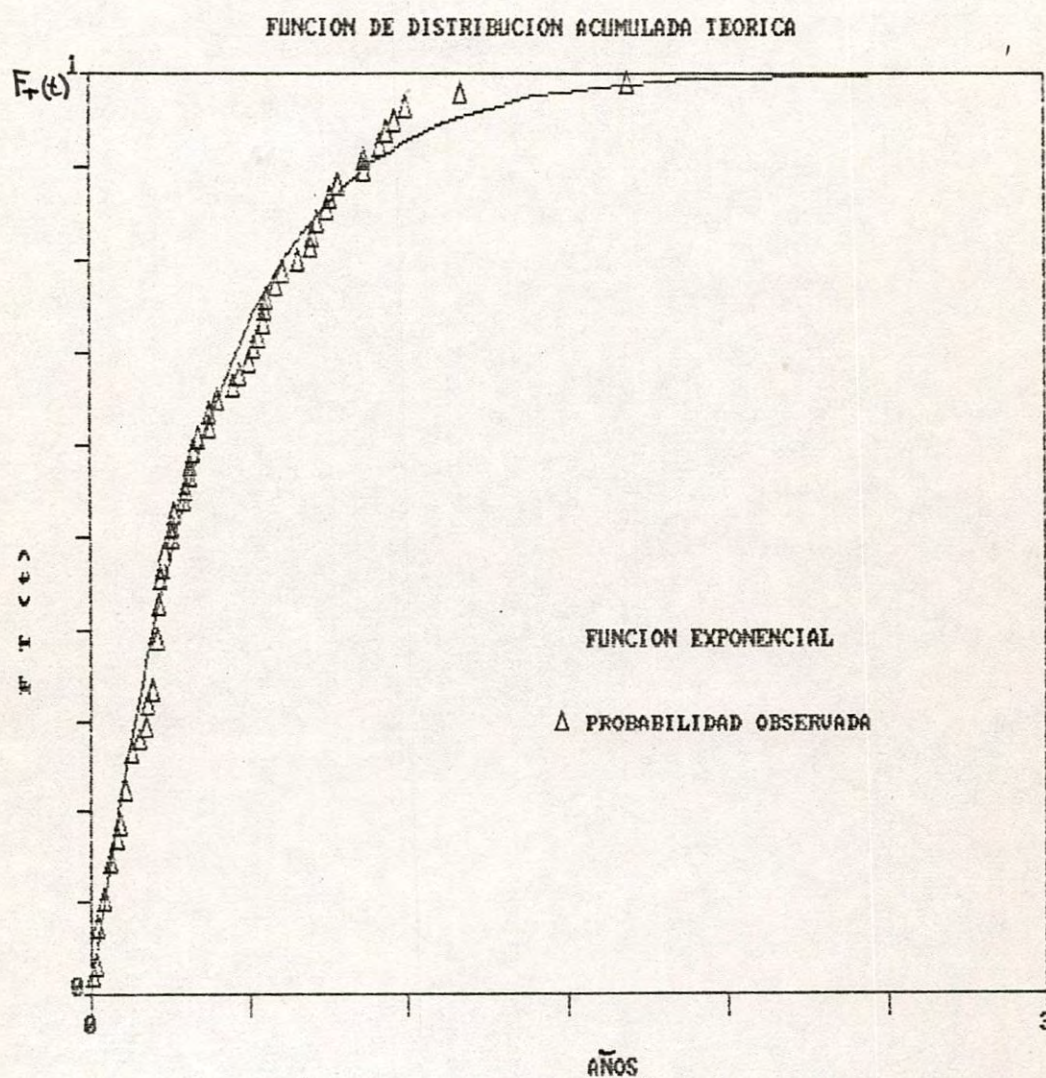


Fig. 4. Función de distribución acumulada de probabilidad del lapso entre eventos.


```

A) BASIC
10 PRINT "PROGRAMA QUE CALCULA LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD TEORICA DE LA M
NITUD DE EVENTOS DANINOS"
20 DIM Q(100),FQ(100)
30 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DE GASTOS";NOM$
40 I=0
50 OPEN NOM$ FOR INPUT AS#1
60 INPUT #1, TIT$
61 PRINT TIT$
80 WHILE EOF(1)=0
90 I=I+1
100 IF I>100 THEN PRINT "ERROR":END
110 INPUT #1,Q(I)
120 WEND
130 PRINT"    HAY";I;"  DATOS EN";NOM$:PRINT:PRINT
140 INPUT "  VALOR DE V = ";VA:V=VA
150 INPUT "  VALOR DE F = ";FAL:F=FAL
160 NDAT=I
170 FOR J=1 TO I
180 FQ(J)=1-2.71828^(-(Q(J)-V)/F)
190 NEXT J
200 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS";OT$:PRINT:PRINT
210 PRINT "*****"
220 PRINT:PRINT
230 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
240 PRINT #2,"DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA TEORICA DE LA MAGNITUD DE
OS EVENTOS DANINOS (GASTOS MAXIMOS)"
250 PRINT #2,:PRINT #2,
260 PRINT #2,"                Q                FQ "
270 PRINT #2,"                (m^3/ε)"
271 FOR J=1 TO NDAT
280 PRINT #2,USING"                ###                #.###";Q(J);FQ(J)
281 NEXT J
290 CLOSE #2
300 END

```



```

BASIC
10 PRINT "PROGRAMA QUE CALCULA LA PROBABILIDAD OBSERVADA DE LOS GASTOS MAXIMOS"
20 DIM RAN(100), AND(100), Q(100), P(100)
30 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE GASTOS GENERADOS"; NOM$
40 I=0
50 OPEN NOM$ FOR INPUT AS#1
60 INPUT #1, TIT$
70 PRINT TIT$
80 WHILE EOF(1)=0
90 I=I+1
100 IF I>100 THEN PRINT "ERROR":END
110 INPUT #1, RAN(I), AND(I), Q(I)
120 WEND
130 PRINT "      HAY"; I; " DATOS EN "; NOM$: PRINT: PRINT
140 INPUT "VALOR DE N = "; VA: N=VA
150 NDAT=I
160 FOR J=1 TO I
170 TR = (N+1)/RAN(J)
180 P(J)=1-(1/TR)
190 NEXT J
200 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS"; OT$: PRINT: PRINT
210 PRINT "*****"
220 PRINT: PRINT
230 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
240 PRINT #2, "      PROBABILIDAD OBSERVADA DE LOS GASTOS MAXIMOS": PRI
   #2, : PRINT #2,
250 PRINT #2, "      RANGO      AND      Q      PROBABILID
"
260 PRINT #2, "      (m^3/s) "
270 FOR J=1 TO NDAT
280 PRINT #2, USING "      ##      ####      ###      #. ##
"; RAN(J); AND(J); Q(J); P(J)
290 NEXT J
300 CLOSE #2
310 END

```



```

10 PRINT "PROGRAMA QUE CALCULA LA MAGNITUD DE LOS GASTOS GENERADOS (REALES)"
20 DIM N(100),NA(100),Q(100)
30 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE GASTOS GENERADOS";NOM$
40 I=0
50 OPEN NOM$ FOR INPUT AS#1
60 INPUT #1,TIT$
70 PRINT TIT$
80 WHILE EOF(1)=0
90 I=I+1
100 IF I>100 THEN PRINT "ERROR":END
110 INPUT #1,N(I),NA(I)
120 WEND
130 PRINT "      HAY";I;" DATOS EN ";NOM$:PRINT:PRINT
140 INPUT"VALOR DE V = ";VA:V=VA
150 INPUT "VALOR DE F = ";FAL:F=FAL
160 NDAT = I
170 FOR J=1 TO I
180 Q(J)=V-(F*LOG(1-NA(J)))
190 NEXT J
200 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS";OT$:PRINT:PRINT
210 PRINT "*****"
220 PRINT:PRINT
230 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
240 PRINT #2,"          MAGNITUD DE LOS GASTOS GENERADOS (REALES)":PRINT #2
250 PRINT #2,":PRINT #2,
260 PRINT #2,"          No          NA          Q "
270 PRINT #2,"          (m^3/s)"
280 PRINT #2,USING"          ##          #.####          ###";N(J);NA(J);Q
290 NEXT J
300 CLOSE #2
310 END

```



```

A)10 PRINT "PROGRAMA QUE CALCULA LA FUNCION DE DISTRIBUCION ACUMULADA TEORICA D
L
LAPSO ENTRE EVENTOS DAÑINOS"
20 DIM T(100),FT(100)
30 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DE LAPSOS";NOM$
40 I=0
50 OPEN NOM$ FOR INPUT AS#1
60 INPUT #1,TIT$
70 PRINT TIT$
80 WHILE EOF(1)=0
90 I=I+1
100 IF I>100 THEN PRINT "ERROR":END
110 INPUT #1,T(I)
120 WEND
130 PRINT " HAY";I;"DATOS EN ";NOM$:PRINT:PRINT
131 INPUT "DAME EL VALOR DE LAMDA = ";LAM
132 B=LAM
140 NDAT=I
150 FOR J=1 TO I
160 FT(J)=1-2.71828^(-B*T(J))
170 NEXT J
180 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS";OT$:PRINT:PRINT
190 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
200 PRINT #2,"FUNCION DE DISTRIBUCION TEORICA DEL LAPSO ENTRE EVENTOS DANINOS":
PRINT #2,
210 PRINT #2,"          T          FT "
220 FOR J=1 TO NDAT
230 PRINT #2,USING"          #.###          #.### ";T(J);FT(J)
240 NEXT J
250 CLOSE #2
260 END

```


**CUADRO 1. GASTOS MAXIMOS REGISTRADOS EN LA ESTACION "CAMECUARO"
EN M³/SEG.**

AÑO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NO. EVENTOS DAÑINOS EN EL AÑO
1943	17	26	25	44	19	3
1944	18	18	27	25	24	2
1945	7	20	44	25	34	3
1946	23	27	32	36	22	3
1947	15	9	20	37	14	1
1948	19	21	22	23	8	0
1949	14	47	24	21	20	1
1950	17	27	24	31	22	2
1951	9	21	26	21	8	1
1952	21	35	37	44	28	4
1953	22	24	31	27	13	2
1954	28	31	36	24	28	4
1955	7	28	52	93	35	4
1956	20	76	65	77	9	3
1957	11	9	12	26	8	1
1958	26	34	45	51	34	5
1959	18	37	61	32	27	4
1960	7	20	24	44	18	1
1961	22	47	45	20	14	2
1962	13	26	59	61	23	3
1963	10	31	57	23	27	3
1964	10	31	21	48	26	3
1965	9	20	42	56	36	3
1966	18	29	33	33	12	3
1967	13	31	31	33	38	4
1968	9	37	36	29	11	3
1969	10	20	30	40	15	2
1970	11	31	29	25	20	3
SUMA EVENTOS DAÑINOS	2	18	21	22	10	73

CUADRO.2. GASTOS MAXIMOS MAYORES O IGUALES QUE EL NIVEL CRITICO SELECCIONADO

AÑO	GASTO (M ³ /S)	AÑO	GASTO (M ³ /S)	AÑO	GASTO (M ³ /S)
1943	26	1954	28	1963	57
1943	25	1955	28	1963	27
1943	44	1955	52	1964	31
1944	27	1955	93	1964	48
1944	25	1955	35	1964	26
1945	44	1956	76	1965	42
1945	25	1956	65	1965	56
1945	34	1956	77	1965	36
1946	27	1957	26	1966	29
1946	32	1958	26	1966	33
1946	36	1958	34	1966	33
1947	37	1958	45	1967	31
1949	47	1958	51	1967	31
1950	27	1958	34	1967	33
1950	31	1959	37	1967	38
1951	26	1959	61	1968	37
1952	35	1959	32	1968	36
1952	37	1959	27	1968	29
1952	44	1960	44	1969	30
1952	28	1961	47	1969	40
1953	31	1961	45	1970	31
1953	27	1962	26	1970	29
1954	28	1962	59	1970	25
1954	31	1962	61		
1954	36	1963	31		

CUADRO 3. DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA TEORICA
DE LA MAGNITUD DE LOS EVENTOS DAÑINOS.

Q (M ³ /S)	F(Q)
26	0.075
27	0.145
28	0.209
29	0.268
30	0.323
32	0.421
34	0.505
36	0.577
38	0.638
40	0.690
42	0.735
44	0.773
46	0.806
48	0.834
50	0.858
52	0.879
54	0.896
56	0.911
58	0.924
60	0.935
62	0.944
64	0.952
66	0.959
68	0.965
70	0.970
72	0.975
74	0.978
76	0.981
78	0.984
80	0.986
85	0.991
90	0.994
95	0.996
100	0.997
110	0.999
123	1.000

CUADRO 4. PROBABILIDAD OBSERVADA DE LOS GASTOS MAXIMOS

RANGO	AÑO	Q (m ³ /s)	PROBABILIDAD
1	1955	93	0.9865
2	1956	77	0.9730
3	1956	76	0.9595
4	1956	65	0.9459
5	1959	61	0.9324
6	1962	61	0.9189
7	1962	59	0.9054
8	1963	57	0.8919
9	1965	56	0.8784
10	1955	52	0.8649
11	1958	51	0.8514
12	1964	48	0.8378
13	1949	47	0.8243
14	1961	47	0.8108
15	1958	45	0.7973
16	1961	45	0.7838
17	1943	44	0.7703
18	1945	44	0.7568
19	1952	44	0.7432
20	1960	44	0.7297
21	1965	42	0.7162
22	1969	40	0.7027
23	1967	38	0.6892
24	1947	37	0.6757
25	1952	37	0.6622
26	1959	37	0.6486
27	1968	37	0.6351
28	1946	36	0.6216
29	1954	36	0.6081
30	1965	36	0.5946
31	1968	36	0.5811
32	1952	35	0.5676
33	1955	35	0.5541
34	1945	34	0.5405
35	1958	34	0.5270
36	1958	34	0.5135
37	1966	33	0.5000
38	1966	33	0.4865
39	1967	33	0.4730
40	1946	32	0.4595
41	1959	32	0.4459
42	1950	31	0.4324
43	1953	31	0.4189
44	1954	31	0.4054
45	1963	31	0.3919

46	1964	31	0.3784
47	1967	31	0.3649
48	1967	31	0.3514
49	1970	31	0.3378
50	1969	30	0.3243
51	1966	29	0.3108
52	1968	29	0.2973
53	1970	29	0.2838
54	1952	28	0.2703
55	1954	28	0.2568
56	1954	28	0.2432
57	1955	28	0.2297
58	1944	27	0.2162
59	1946	27	0.2027
60	1950	27	0.1892
61	1953	27	0.1757
62	1959	27	0.1622
63	1963	27	0.1486
64	1943	26	0.1351
65	1951	26	0.1216
66	1957	26	0.1081
67	1958	26	0.0946
68	1962	26	0.0811
69	1964	26	0.0676
70	1943	25	0.0541
71	1944	25	0.0405
72	1945	25	0.0270
73	1970	25	0.0135

CUADRO 5. MAGNITUD DE LOS GASTOS GENERADOS (REALES)

No	NA	D (m ³ /s)
1	0.1421	27
2	0.7644	44
3	0.1465	27
4	0.3455	30
5	0.6174	37
6	0.5359	35
7	0.6208	37
8	0.9061	55
9	0.4849	33
10	0.2387	28
11	0.3075	30
12	0.1232	27
13	0.9297	59
14	0.6237	38
15	0.8058	46
16	0.4229	32
17	0.4550	33
18	0.7781	44
19	0.2892	29
20	0.2714	29
21	0.1330	27
22	0.5120	34
23	0.0045	25
24	0.2146	28
25	0.8226	47
26	0.9942	91
27	0.0118	25
28	0.7859	45
29	0.5322	35
30	0.2239	28
31	0.7532	43
32	0.2253	28
33	0.6525	39
34	0.2522	29
35	0.2160	28
36	0.7407	42
37	0.8991	54
38	0.2155	28
39	0.3683	31
40	0.7103	41
41	0.0044	25
42	0.1689	27
43	0.6108	37
44	0.9923	87
45	0.3168	30

CUADRO 5.Cont.

46	0.7287	42
47	0.3975	31
48	0.2374	28
49	0.5173	34
50	0.7679	44
51	0.2181	28
52	0.0561	26
53	0.3527	31
54	0.9594	66
55	0.9923	87
56	0.7615	43
57	0.8517	49
58	0.4363	32
59	0.3626	31
60	0.3811	31
61	0.4437	33
62	0.4014	32
63	0.2950	29
64	0.3026	30
65	0.6462	38
66	0.7185	41
67	0.0698	26
68	0.5796	36
69	0.4814	33
70	0.2084	28
71	0.8969	54
72	0.1964	28
73	0.4025	32
74	0.1171	27
75	0.4761	33
76	0.6945	40
77	0.6489	38
78	0.4568	33
79	0.3077	30
80	0.2254	28
81	0.7287	42
82	0.3777	31
83	0.8326	48

CUADRO 6. FUNCION DE DISTRIBUCION TEORICA DEL LAPSO ENTRE EVENTOS DANINOS

T	FT
0.020	0.051
0.040	0.099
0.060	0.145
0.080	0.188
0.100	0.230
0.120	0.269
0.140	0.306
0.160	0.341
0.180	0.375
0.200	0.407
0.240	0.465
0.280	0.518
0.320	0.566
0.360	0.609
0.400	0.648
0.440	0.683
0.480	0.714
0.520	0.743
0.560	0.768
0.600	0.791
0.650	0.817
0.700	0.839
0.750	0.859
0.800	0.876
0.850	0.891
0.900	0.905
0.950	0.916
1.000	0.926
1.100	0.943
1.200	0.956
1.300	0.966
1.400	0.974
1.500	0.980
1.600	0.985
1.700	0.988
1.800	0.991
1.900	0.993
2.000	0.995
2.300	0.998
2.600	0.999

CUADRO 7. LAPSO ENTRE GASTOS MAXIMOS REGISTRADOS (EN DIAS)

AÑO	GASTO (m ³ /s)	LAPSO (dias)	AÑO	GASTO (m ³ /s)	LAPSO (dias)
1943	26		1958	45	
1943	25	39	1958	51	15
1944	27	118	1959	37	78
1944	25	14	1959	61	33
1945	44	138	1959	32	7
1945	25	2	1959	27	27
1945	34	32	1960	44	130
1946	27	68	1961	47	88
1946	32	29	1961	45	33
1946	36	40	1962	26	113
1947	37	145	1962	59	56
1949	47	254	1962	61	6
1950	27	150	1963	31	99
1950	31	47	1963	57	31
1951	26	108	1963	27	49
1952	35	141	1964	31	75
1952	37	31	1964	48	60
1952	44	23	1964	26	11
1952	28	12	1965	42	105
1953	31	91	1965	56	16
1953	27	32	1965	36	34
1954	28	82	1966	29	80
1954	31	27	1966	33	26
1954	36	19	1966	33	18
1954	28	51	1967	31	106
1955	28	83	1967	31	35
1955	52	19	1967	33	1
1955	93	39	1967	38	15
1955	35	10	1968	37	71
1956	76	84	1968	36	10
1956	65	31	1968	29	44
1956	77	3	1969	30	130
1957	26	176	1969	40	3
1958	26	31	1970	31	114
1958	34	3	1970	29	6
1958	45	47	1970	25	56

CUADRO 8.

PROBABILIDAD OBSERVADA DEL LAPSO ENTRE GASTOS MAXIMOS REGISTRADOS. 49

RANGO	LAPSO (Dias)	PROBABILIDAD OBSERVADA	RANGO	LAPSO (Dias)	PROBABILIDAD OBSERVADA
1	254	0.986	37	39	0.493
2	176	0.973	38	35	0.479
3	150	0.959	39	34	0.456
4	145	0.945	40	33	0.452
5	141	0.932	41	33	0.438
6	138	0.918	42	32	0.425
7	130	0.904	43	32	0.411
8	130	0.890	44	32	0.397
9	118	0.877	45	31	0.384
10	114	0.863	46	31	0.370
11	113	0.849	47	31	0.355
12	108	0.836	48	31	0.342
13	106	0.822	49	29	0.329
14	105	0.808	50	27	0.315
15	99	0.795	51	27	0.301
16	91	0.781	52	26	0.288
17	88	0.767	53	23	0.274
18	84	0.753	54	19	0.260
19	83	0.740	55	19	0.247
20	82	0.726	56	18	0.233
21	80	0.712	57	16	0.219
22	78	0.699	58	15	0.205
23	75	0.685	59	15	0.192
24	71	0.671	60	14	0.178
25	68	0.658	61	12	0.164
26	60	0.644	62	11	0.151
27	56	0.630	63	10	0.137
28	56	0.616	64	10	0.123
29	51	0.603	65	7	0.110
30	49	0.589	66	6	0.096
31	47	0.575	67	6	0.082
32	47	0.562	68	3	0.068
33	45	0.548	69	3	0.055
34	44	0.534	70	3	0.041
35	40	0.521	71	2	0.027
36	39	0.507	72	1	0.014

CUADRO 9. LAPSO GENERADO ENTRE GASTOS MAXIMOS.

R. S. T. 1624

NA	LAPSO (DECIMAL)	LAPSO (DIAS)	LAPSO ACUMULADO (DIAS)
0.17	0.072	11	11
0.24	0.104	16	27
0.37	0.179	27	54
0.81	0.638	96	150
0.25	0.112	17	167
0.28	0.127	19	186
0.45	0.230	35	221
0.57	0.322	48	269
0.20	0.086	13	282
0.01	0.006	1	283
0.65	0.736	110	393
0.01	0.004	1	394
0.69	0.446	67	461
0.15	0.064	10	471
0.03	0.013	2	473
0.27	0.121	18	491
0.37	0.179	27	518
0.97	1.354	203	721
0.19	0.081	12	733
0.30	0.139	21	754
0.33	0.156	23	777
0.55	0.305	46	823
0.06	0.022	3	826
0.24	0.106	16	842
0.67	0.422	63	905
0.59	0.340	51	956
0.90	0.869	130	1086
0.64	0.393	59	1145
0.90	0.872	131	1276
0.59	0.337	51	1327
0.16	0.067	10	1337
0.66	0.417	63	1400
0.98	1.420	213	1613
0.82	0.667	100	1713
0.44	0.224	34	1747
0.05	0.018	3	1750
0.75	0.537	81	1831
0.73	0.509	76	1907
0.47	0.243	36	1943
0.26	0.115	17	1960
0.88	0.807	121	2081
0.89	0.832	125	2206
0.75	0.525	79	2285
0.08	0.031	5	2290

0.47	0.245	37	2327
0.53	0.291	44	2371
0.34	0.161	24	2395
0.25	0.111	17	2412
0.61	0.363	54	2466
0.63	0.671	101	2567
1.00	2.033	305	2872
0.26	0.114	17	2889
0.01	0.001	1	2890
0.32	0.147	22	2912
0.63	0.385	58	2970
0.18	0.076	11	2981
0.67	0.779	117	3098
0.70	0.464	70	3168
0.01	0.002	1	3169
0.64	0.391	59	3228
0.50	0.265	40	3268
0.63	0.383	57	3325
0.73	0.506	76	3401
0.93	1.036	155	3556
0.21	0.089	13	3569
0.44	0.221	33	3602
0.73	0.508	76	3678
0.14	0.058	9	3687
0.68	0.437	66	3753
0.30	0.139	21	3774
0.04	0.014	2	3776
0.37	0.176	26	3802
0.01	0.002	1	3803
0.47	0.240	36	3839
0.45	0.230	35	3874
0.45	0.229	34	3908
0.34	0.161	24	3932
0.86	0.747	112	4044
0.95	1.183	177	4221
0.85	0.718	108	4329
0.76	0.548	82	4411
0.71	0.472	71	4482
0.53	0.287	43	4525

NA	K	XP	Q	QP	E
0.72013	0.58285	1.075	27	25	7.67
0.82109	0.91492	1.124	44	50	13.43
0.11530	-1.19895	0.827	27	22	17.30
0.44958	-0.12545	0.970	30	29	2.95
0.22093	-0.57973	0.907	37	34	5.30
0.50050	0.25422	1.027	32	26	2.72
0.72505	0.80295	1.115	37	41	11.46
0.25767	-0.65023	0.898	55	49	10.25
0.86028	1.08207	1.102	53	38	16.22
0.52839	0.07104	0.999	28	28	0.05
0.76090	0.70591	1.099	30	33	9.92
0.12423	-1.15420	0.833	27	22	16.75
0.50203	0.00507	0.990	56	58	1.03
0.13498	-0.85953	0.870	38	33	13.01
0.52758	0.06957	0.999	46	46	0.07
0.37695	-0.21307	0.944	32	30	5.52
0.27621	-0.59378	0.905	33	30	9.49
0.37469	-0.31901	0.943	44	41	5.70
0.55294	0.13279	1.009	29	29	0.57
0.32743	-0.44658	0.925	29	27	7.48
0.38596	-0.28943	0.947	27	26	5.29
0.22099	-0.76862	0.882	34	30	11.82
0.89670	1.27436	1.195	25	30	19.60
0.62589	0.32054	1.037	28	29	3.74
0.02237	-2.00745	0.733	47	34	26.70
0.07327	-1.45217	0.796	91	72	20.37
0.40705	-0.23472	0.955	25	24	4.51
0.74897	0.67094	1.093	45	49	9.30
0.37626	-0.31488	0.944	35	32	5.64
0.75140	0.67260	1.094	28	31	9.43
0.16323	-0.98123	0.854	43	37	14.57
0.22039	-0.77064	0.882	28	25	11.85
0.51593	0.03984	0.995	39	39	0.52
0.54188	0.10492	1.005	29	29	0.45
0.08931	-1.34525	0.809	22	23	19.09
0.05092	-1.54742	0.785	42	33	21.49
0.86274	1.09735	1.165	54	63	16.48
0.85007	1.03673	1.154	28	32	15.43
0.37132	-0.32751	0.942	31	29	5.83
0.98055	2.05571	1.346	41	55	34.58
0.18641	-0.86363	0.867	25	22	13.32
0.47322	-0.06700	0.979	27	26	2.09
0.20564	-0.81794	0.875	37	32	12.47
0.80397	0.85572	1.124	27	98	12.36
0.18006	-0.89238	0.856	30	26	13.42
0.03006	-1.89037	0.747	42	31	25.29
0.94122	1.57147	1.250	31	35	25.02
0.48035	-0.09931	0.974	28	27	2.60

CUADRO 10. Cont.

0.29834	-0.52877	0.914	34	31	8.61
0.57333	0.44871	1.057	44	47	5.74
0.03781	-1.78440	0.758	28	21	24.22
0.57804	0.19651	1.018	25	25	1.24
0.03265	-1.54362	0.751	31	23	24.55
0.25525	-0.65775	0.897	55	59	10.35
0.24798	-0.58055	0.893	59	79	10.65
0.43253	-0.15950	0.954	43	41	3.50
0.23937	-0.70804	0.890	49	44	11.00
0.77885	0.75819	1.109	32	35	10.90
0.17424	-0.53745	0.850	31	27	14.01
0.83357	0.95873	1.143	31	32	14.27
0.73042	0.61373	1.084	33	35	8.37
0.32551	-0.45163	0.925	32	30	7.55
0.05962	-1.47890	0.753	29	23	20.68
0.46517	-0.08720	0.976	30	29	2.35
0.36441	-0.34624	0.939	38	36	6.08
0.74157	0.64786	1.089	41	45	8.93
0.92958	1.47294	1.232	25	32	23.19
0.39789	-0.25814	0.952	35	34	4.54
0.55516	0.24042	1.025	33	34	2.51
0.55641	0.15690	1.014	28	28	1.39
0.95913	1.55859	1.307	54	71	30.68
0.75300	0.81670	1.117	28	31	11.71
0.97458	1.95334	1.323	32	42	32.35
0.55976	0.25232	1.027	27	28	2.59
0.06822	-1.48949	0.752	33	25	20.81
0.71940	0.58071	1.078	40	43	7.84
0.02010	-2.05205	0.728	38	28	27.18
0.93732	1.53297	1.243	33	41	24.30
0.07260	-1.45699	0.755	30	24	20.42
0.05059	-1.53952	0.774	25	22	22.56
0.45529	-0.08665	0.975	42	41	2.38
0.55016	0.12580	1.008	31	31	0.77
0.74970	0.67324	1.093	48	52	9.34

CUADRO 11. Número de pluviógrafos requeridos para pronosticar el gasto con un cierto error según el -- criterio de Eagleson.

\bar{E} (%)	$\frac{2G}{\lambda\beta}$	G	=	No. de Plu- viógrafos.
2.0	45	22.95		23
7.0	10	5.10		5
11.61	4.3	2.14		2
53.10	0.10	0.05		1