

Ingeniería

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

ISSN 1409-2441

Vol. 18 (1, 2)

Ene/Dic 2008

CONTENIDO

Artículos

1. Análisis numérico de un sistema de aire acondicionado empleando mallas estructuradas y no estructuradas 15-30
Rodríguez, Luz; Collado, María; Rodríguez, Edgar; Espinoza, Henry.
2. Funciones de regresión para caudales extremos en la Vertiente Pacífica de Costa Rica..... 31-44
Rojas, Nazareth; Aguilar, José Francisco; Solís, Hernán.
3. Evaluación de daños por agresión ambiental en viviendas de concreto reforzado..... 45-55
Solís, Rómel; Moreno, Eric; Jiménez, Felipe; Rosas, Victorino.
4. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas..... 57-64
García, Claudia; Molina, Manuel.
5. Inestabilidad oscilatoria de tensión debido a los motores de inducción 65-75
Valverde, Gustavo; Araya, Eddie.
6. Estabilidad y colapso de tensión en sistemas eléctricos con topología longitudinal..... 77-88
Araya, Eddie.
7. Obtención de pulpa a la soda antraquinona de *Tectona grandis* creciendo en Costa Rica 89-100
Abarca, Ricardo; Blanco, María Lorena.
8. Protocolo evaluador para el manejo de desechos y la seguridad ocupacional aplicado al laboratorio clínico del Hospital San Francisco de Asís de Grecia..... 101-109
Ruiz, Francisco.
9. Euler: su contexto matemático, filosófico y científico..... 111-119
Vargas, Celso.
10. Reserva de resistencia de edificios porticados de concreto armado diseñados conforme al ACI-318/ IBC 2006 121-131
Vielma, Juan Carlos; Barbat, Alex; Oller, Sergio.

Análisis y comentarios

1. Luis González González: una breve semblanza 135-140
Herrera, Rodolfo.

Trabajos de Graduación 2007

- Lista de proyectos de graduación de grado y posgrado del año 2008 de la Facultad de Ingeniería 143-156

Normas

- Normas para la presentación de artículos a la Revista Ingeniería..... 157-165



<http://www.inii.ucr.ac.cr/revista>
www.ucr.ac.cr / ISSN 1409-2441

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/DICIEMBRE 2008 - VOLUMEN 18 - Número (1, 2)

Número (1, 2)

Enero / Diciembre 2008

Volumen 18

REVISTA INGENIERÍA



FUNCIONES DE REGRESIÓN PARA CAUDALES EXTREMOS EN LA VERTIENTE PACÍFICA DE COSTA RICA

*Nazareth Rojas Morales
José Francisco Aguilar Pereira
Hernán Solís Bolaños*

Resumen

Las variaciones en la cantidad y la calidad de los recursos hídricos están relacionadas con el clima, este determina qué cantidad de agua, en exceso o en déficit, recibirá una región. En Costa Rica este recurso es abundante, pero con distribuciones muy variadas durante las dos estaciones climáticas. Este artículo aborda el estudio en eventos máximos por medio de la hidrología estadística. La referencia base es la establecida en el boletín 17B de la Interagency Advisory Committee on Water Data (IACWD, 1982) donde se definen las guías para determinar la frecuencia de caudales de inundación, el cual es un procedimiento estándar en los Estados Unidos. La obtención de las ecuaciones de regresión para diferentes probabilidades de excedencia aplicables a la vertiente Pacífica, se obtuvieron mediante la conjugación de la distribución de probabilidad Log-Person III y de regresión lineal y exponencial múltiple. Los parámetros que se relacionaron para la obtención de las ecuaciones son el caudal máximo anual, el área de drenaje y la precipitación promedio anual de las subcuencas establecidas, tomando como punto de cierre las estaciones limnigráficas. Los registros de caudal fueron aportados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y los de precipitación por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el ICE. El análisis estadístico realizado mediante las series de datos de caudal máximo anual de las estaciones en estudio, mostró buenos resultados. En consecuencia, se establece que existe una relación real entre las variables, debido a la confiabilidad de las muestras de datos y de los resultados obtenidos. Las ecuaciones generadas pueden ser utilizadas como un método empírico para el cálculo de caudal para los diferentes períodos de retorno analizados en la vertiente del Pacífico.

Palabras clave: hidrología, análisis de frecuencia, estimación de caudales, análisis estadístico, análisis de regresión, periodo de retorno, funciones de regresión.

Abstract

Changes in the quantity and quality of water resources are related to the climate, which determines the quantity of water, in excess or in deficit, which will receive a region. In Costa Rica this resource is abundant, but water distributions change dramatically during the two climatic seasons. The present article studies maximum events by means of statistical hydrology. The technical background is established in the bulletin 17B of the Interagency Advisory Committee on Water Data (IACWD, 1982), which guides the determination of flood flow frequency that constitutes a standard procedure in the United States. The regression equations were obtained for different probabilities that are applicable to the Costa Rican Pacific coast by means of the combination of the distribution of probability Log-Person III and of multiple linear and exponential regressions. The parameters that were related for the equations are the maximum annual flow, the area of drainage and the annual average precipitation of the established sub basins defined by limnigraphic stations locations. The flow records were provided by the ICE and the records of precipitation by the IMN and the ICE. The statistical analysis was performed by means of the series of information of maximum annual flow of the stations in study showed good results. As a consequence it is established that a real relation exists between the variables, due to the reliability of the samples of information and the obtained results. The generated equations can be used as an empirical method for the calculation of flow for the different analyzed return periods in the pacific coast.

Keywords: hydrology, frequency analysis, discharge estimation, statistic analysis, regression analysis, return period.

1. INTRODUCCIÓN

Estimar de manera precisa el daño potencial de una inundación es un elemento clave en los programas nacionales de emergencias. Los tomadores de decisión de alta jerarquía requieren, a la hora de tomar acciones, de información técnica especializada y confiable. En este sentido, parte de este artículo aborda un procedimiento que busca determinar la frecuencia de flujos de inundación el cual es base, entre otros, para la modelación hidráulica requerida para la consecución de las planicies de inundación. Es relevante indicar la importancia de la calidad de la información que requiere el especialista, la cual es fundamental para lograr que este insumo tenga características consistentes y precisas.

En diciembre de 1967, el Departamento de Recursos Hídricos de los Estados Unidos publica el boletín No. 15, el cual es considerado como el pionero en esta temática y se tituló “Una técnica uniforme para determinar frecuencias de flujos de inundación”. Esta técnica fue acogida, a nivel federal, por el estado y por los gobiernos locales para la planificación de los recursos hídricos y la administración de tierras. A partir de esta fecha se han realizado actualizaciones hasta el boletín 17B en el año 1982, desarrollado por el Subcomité de Hidrología de la USGS (United States Geological Survey), donde amplía los métodos de análisis y promueve que su aplicación sea uniforme, precisa y consistente (IACWD, 1982).

Es importante resaltar que hay elementos de riesgo e incertidumbre que son inherentes en cualquier análisis de frecuencia de inundaciones, y se hace más relevante en países en desarrollo, por lo que el análisis estadístico por sí solo, no resolverá los problemas para su determinación. Por tanto, el juicio del especialista experimentado debe ser un componente fundamental en el análisis hidrológico.

La metodología para la obtención de ecuaciones de regresión para el cálculo de caudal máximo anual con diferentes períodos de retorno, aplicada en este artículo, ha sido aprobada por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés, FEMA. Por tanto el objetivo planteado en el artículo es determinar las ecuaciones de regresión

para el cálculo de caudal máximo anual con diferentes períodos de retorno, para ser aplicadas en cualquier cuenca que se ubique en la vertiente Pacífica de Costa Rica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Definición del área de análisis

La selección de la región de trabajo fue determinada considerando la información de caudal y de precipitación. En este sentido, el ICE puso a disposición la información de tres importantes cuencas de la vertiente del Pacífico: río Tempisque, río Grande de Tárcoles y río Grande de Térraba.

Se seleccionó la vertiente Pacífica para realizar el estudio de investigación, ya que la información es suficientemente representativa de las condiciones climáticas de dicha Vertiente: condiciones relativamente secas en el Pacífico Norte, condiciones medias en el Pacífico Central y condiciones húmedas en el Pacífico Sur. El Cuadro 1 muestra la información respectiva para cada una de las estaciones.

2.2 Análisis estadísticos de la información limnigráfica

El análisis de la confiabilidad de los datos se realizó por valores salidos extremos y límites de confianza, utilizando la metodología de la Oficina de Coordinación de Datos de Agua del Departamento de Interior de los Estados Unidos presentados por el Subcomité de Hidrología en las Guías para determinar la frecuencia de flujo en inundaciones.

2.2.1 Ajuste de parámetros estadísticos si se detectan valores extremos

Se detectaron valores salidos extremos en las estaciones y se realizaron las correcciones respectivas en los valores de la media, desviación estándar y coeficiente de sesgo. En las ecuaciones

Cuadro 1. Estaciones limnigráficas.

Cuenca	Estación	Número	Área (km ²)	Latitud	Longitud	Río
Río Tempisque	Guardia	741 901	955,00	282,800	362,100	Tempisque
Río Tempisque	Coyolar	741 906	128,20	294,400	374,050	Tempisque
Río Grande Térraba	Palmar	983 101	4766,7	105,090	595,857	Térraba
Río Grande Térraba	Caracaicho	983 107	1133,3	110,160	624,565	Coto Brus
Río Grande Térraba	Brujo	983 103	2401,2	119,995	616,066	Térraba
Río Grande Térraba	La Cuesta	983 109	835,50	137,000	580,140	General
Río Grande Térraba	Rivas	983 108	317,90	157,680	576,123	Chirripó
Río Grande Tárcoles	Nuestro Amo	842 424	734,00	212,834	506,488	Tárcoles
Río Grande Tárcoles	Tacares	842 402	201,50	220,637	502,375	Tárcoles
Río Grande Tárcoles	Balsa	842 406	1638,0	212,281	495,308	Tárcoles
Río Grande Tárcoles	Garita	842 422	649,40	218,087	498,538	Tárcoles

Fuente: (ICE, 2004)

(1) y (2) se presentan las funciones del umbral inferior y del umbral superior de los valores salidos extremos.

$$X_H = \bar{X} + K_N S \quad (1)$$

$$X_L = \bar{X} - K_N S \quad (2)$$

donde:

X_H Umbral de los valores altos salidos extremos en unidades logarítmicas

X_L

\bar{X} Promedio de los logaritmos de los valores de caudal.

S Desviación estándar de la muestra de los logaritmos de los valores de caudal.

K_N Valores de K que depende del número de valores de la muestra N .

2.2.2 Ajuste para los datos altos salidos

Una vez que se obtiene dentro de una muestra un dato salido extremo, se procede a eliminar de la misma dicho valor, de manera que se tiene que realizar de nuevo cada uno de los procedimientos

indicados hasta este momento. Una vez realizados los análisis, se procede a aplicar los siguientes procesos.

Se obtiene el valor del Factor de Peso (W), mediante la ecuación (3).

$$W = \frac{H - Z}{N + L} \quad (3)$$

donde:

H es el período histórico, el cual es la cantidad de años de registro, por ejemplo, si se tiene un período de registro del año 1892 a 1973, el valor de H es igual a 82, pues se incluyen cada uno de los límites del período.

L corresponde al valor de datos bajos salidos extremos.

N número de datos excluyendo el número de datos salidos extremos.

Z número de datos altos salidos extremos.

2.2.3 Los estadísticos de los valores salidos extremos

Los estadísticos de los valores salidos extremos se ajustan por medio de las siguientes ecuaciones (4), (5) y (6).

Ajuste del promedio de los datos de la muestra

$$\bar{M} = \frac{WNM + \sum X_z}{H - WL} \quad (4)$$

donde:

M corresponde a X de la muestra

$\sum X_z$ es el valor de la sumatoria de los logaritmos de los datos altos salidos extremos.

Ajuste de la desviación estándar de la muestra

Este ajuste se realiza mediante la ecuación (5).

$$\bar{S}^2 = \frac{W(N-1)S^2 + WN(M - \bar{M})^2 + \sum (X_z - \bar{M})^2}{H - WL - 1} \quad (5)$$

Cálculo del Coeficiente de Sesg

Finalmente, se corrigieron los registros que presentaron valores salidos extremos y sus correspondientes valores estadísticos (ver ecuación (6)).

2.3 Obtención de los caudales estimados con base en los parámetros estadísticos ajustados

Aplicando la ecuación de Chow y el Método de Log-Pearson III (IACWD, 1982), se obtuvieron los caudales para cada estación limnigráfica para los períodos de retorno (T) de (100, 50, 20, 10, 2 y 1) años.

$$\log Q = \bar{X} + KS \quad (7)$$

$$\bar{G} = \frac{H - WL}{(H - WL - 1)(H - WL - 2)\bar{S}^3} \left[\frac{W(N-1)(N-2)S^3G}{N} + 3W(N-1)(M - \bar{M})S^2 + WN(M - \bar{M})^3 + \sum (X_z - \bar{M})^3 \right] \quad (6)$$

$$Q = 10^{\log Q} \quad (8)$$

donde:

Q Caudal (m³/s)

K Coeficiente de Chow

X Media

S Desviación estándar

2.4 Desarrollo de las funciones de regresión

2.4.1 Selección de variables independientes

Se seleccionaron como variables independientes el área de la cuenca y la precipitación media para determinar la variable dependiente del caudal por ser las que frecuentemente conducen a valores mayores del coeficiente de correlación y por su sentido físico dominante en el fenómeno del escurrimiento superficial.

2.4.2 Determinación del área de drenaje empleando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se utilizaron herramientas de análisis espacial y de tres dimensiones teniendo como insumo curvas de nivel cada 20 m para las cuencas de los ríos en mención, a fin de crear los modelos de elevación digital que son la base para los procesos de análisis. Por otro lado, se usaron datos de información espacial tanto para las estaciones limnigráficas como para las pluviométricas.

3. RESULTADOS

3.1 Modelo de Elevación Digital (MED)

El modelo de elevación digital es de tipo red irregular triangular (por sus siglas en inglés, TIN) la cual se generó a partir de las curvas de nivel y el límite de la cuenca. Este modelo de superficie establece como unidad base geométrica un polígono triangular, cuyos vértices tienen atributos espaciales lo cual permitió que la información de las cuencas de los ríos Tárcoles, Tempisque y Grande de Térraba muestren sus rasgos lineales del relieve y del drenaje, permitiendo modelar la superficie del terreno geomorfológicamente y será la referencia para los estudios de las subcuencas mostradas en el Cuadro 1. Los modelos del TIN generados se pueden apreciar en las Figuras 1, 2 y 3, donde los Cuadros 2, 3 y 4 definen los valores de las características de las cuencas estudiadas.

3.2 Análisis de datos salidos extremos altos y bajos de las cuencas

Se encontró que las estaciones Nuestro Amo y Tacares de la cuenca del río Grande de Tárcoles, mostraron valores salidos extremos altos. Por otra parte, la Estación Guardia, de la cuenca del río Tempisque y la Estación Garita, de la cuenca del río Grande de Tárcoles mostraron valores salidos extremos bajos. En consecuencia, se procedió a realizar los ajustes correspondientes. Se muestran los resultados detallados para la Estación Guardia, y un resumen de los resultados de las otras estaciones.

3.2.1 Análisis de la Estación Guardia de la cuenca del río Tempisque.

Los registros de caudal máximo anual cubren un período de 43 años.

Prueba de datos salidos extremos.

Al comparar los valores de caudal alto y caudal bajo con la lista de registro, se observa que

existe un valor bajo salido, este valor corresponde a 30,7 m³/s (Cuadro 5).

En vista de que existe un valor bajo salido, se procede a realizar el ajuste de este dato, obteniéndose los resultados presentados en el Cuadro 6.

Cuadro 2. Valores de las características de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

Característica	Valor
Área	2 135 km ²
Perímetro	234 km
Índice de compacidad	1,44
Elevación máxima	2 900 m.s.n.m.
Elevación mínima	0 m.s.n.m
Elevación media	1 063,53 m.s.n.m.
Longitud de cauce	111,7 km
Pendiente media del río	2,15 %

Fuente: (ICE, 2004)

Cuadro 3. Valores de las características de la cuenca del río Grande de Térraba.

Característica	Valor
Área	5 076,8 km ²
Perímetro	380 km
Índice de compacidad	1,49
Elevación máxima	3 820 m.s.n.m.
Elevación mínima	5 m.s.n.m.
Elevación media	997,5 m.s.n.m.
Longitud del cauce	160 km
Pendiente media del río	2,2 %

Fuente: (ICE, 2004)

Cuadro 4. Valores de las características de la cuenca del río Tempisque.

Característica	Valor
Área	3 407,8 km ²
Índice de compacidad	1,51
Perímetro	315 km
Elevación máxima	1 860 m.s.n.m.
Elevación media	930 m.s.n.m.
Elevación mínima	0 m.s.n.m.
Longitud del cauce	138 km
Pendiente media del río	1,4 %

Fuente: (ICE, 2004)

Cuenca Río Grande de Tárcoles

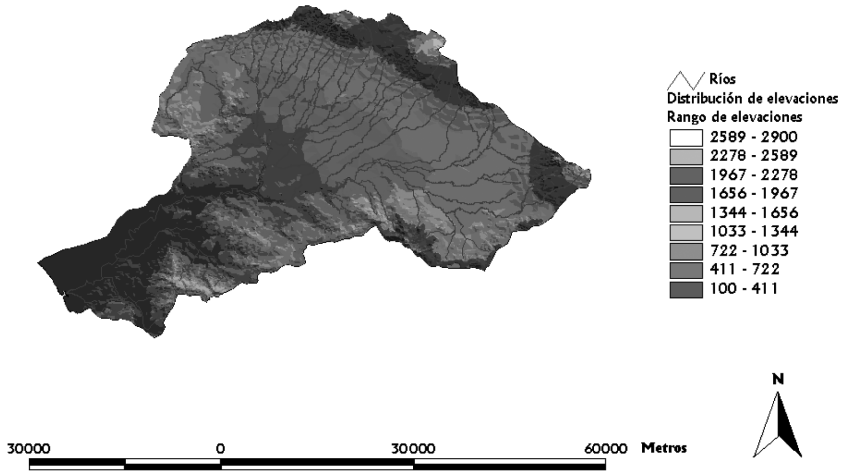


Figura 1. Distribución de elevaciones, cuenca río Grande de Tárcoles.

Fuente: (La autora y los autores).

Cuenca Río Grande de Térraba

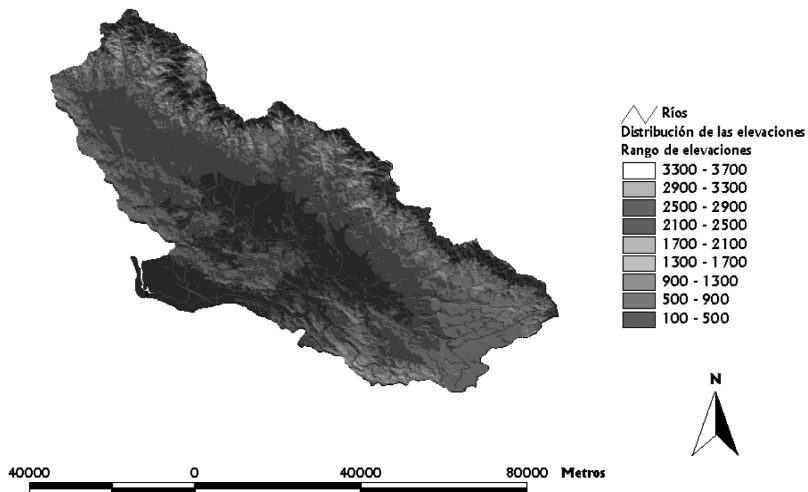


Figura 2. Distribución de elevaciones, cuenca río Grande de Térraba.

Fuente: (La autora y los autores).

Cuenca Río Tempisque

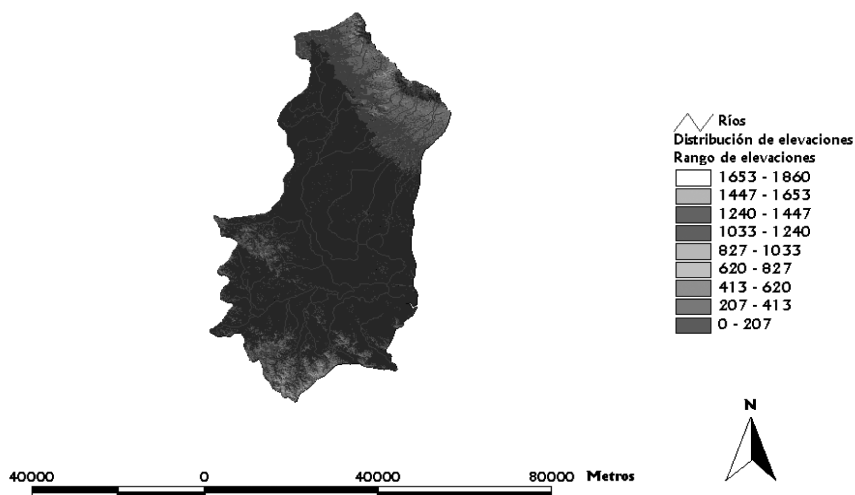


Figura 3. Distribución de elevaciones, cuenca del río Tempisque.

Fuente: (La autora y los autores).

Cálculo y ajuste de la Curva de Frecuencia

El cálculo de la Curva de Frecuencia se basa en la estadística del Cuadro 6 (Cuadro 7).

Los registros de caudal máximo anual cubren un período de veintidós años.

Prueba de datos salidos extremos

Al realizar el análisis respectivo se determinó que existe un dato alto salido el cual corresponde al registro No. 18 igual a 1614 m³/s (Cuadro 8).

Al eliminar este valor del registro total se vuelven a realizar los cálculos respectivos, de donde se obtienen los resultados que se presentan en el Cuadro 9.

3.2.2 Análisis de la Estación Tacares de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

Los registros de caudal máximo anual cubren un período de 49 años.

Prueba de datos salidos extremos.

Al realizar el análisis respectivo se determinó que existe un dato alto salido el cual corresponde al registro No. 3, igual a 271 m³/s (Cuadro 10).

Después de eliminar el dato correspondiente se procede a realizar el respectivo análisis y los resultados se muestran en el Cuadro 11

3.2.3 Análisis de la Estación Garita de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

Los registros de caudal máximo anual cubren un período de 23 años, no hubo registros para los años 1985 y 1986.

Prueba de datos salidos extremos

Al realizar el análisis respectivo se determinó que el registro 20 correspondiente a 29,6 m³/s representa un dato bajo salido y los resultados se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 5. Resultados.

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,644 1
Desviación estándar	S		0,406 3
Coefficiente de sesgo	G		-0,76
Coefficiente	KN		2,71
Logaritmo de caudal alto	Log QH		3,745 1
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	5 560
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		1,543 1
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	35,00

Fuente: (La autora y los autores).

Cuadro 6. Resultados

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,671 6
Desviación estándar	S		0,368 3
Coefficiente de sesgo	G		-0,48
Coefficiente	KN		2,70
Logaritmo de caudal alto	Log QH		3,666 1
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	4 635
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		1,677 2
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	48,00

Fuente: (La autora y los autores)

Cuadro 7. Valores de la curva de frecuencia, análisis de la Estación Nuestro Amo de la cuenca del río Grande de Tárcoles.

Probabilidad	Período T	M	S	KGw	Log Q	Q (m ³ /s)
0,99	1,01	2,671 6	0,368 3	-2,671 7	1,687 6	49
0,90	1,11	2,671 6	0,368 3	-1,321 8	2,184 8	153
0,50	2,00	2,671 6	0,368 3	0,079 7	2,701 0	502
0,10	10,00	2,671 6	0,368 3	1,219 2	3,120 6	1 320
0,05	20,00	2,671 6	0,368 3	1,497 5	3,223 1	1 672
0,02	50,00	2,671 6	0,368 3	1,788 5	3,330 3	2 139
0,01	100,00	2,671 6	0,368 3	1,969 6	3,397 0	2 495

Fuente: (La autora y los autores).

Cuadro 8. Resultados.

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,769 8
Desviación estándar	S		0,176 0
Coefficiente de sesgo	G		0,69
Coefficiente	KN		2,43
Logaritmo de caudal alto	Log QH		3,197 3
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	1 575
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		2,342 3
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	220

Fuente: (La autora y los autores).

Cuadro 9. Resultados

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,748 9
Desviación estándar	S		0,149 9
Coefficiente de sesgo	G		0,26
Coefficiente	KN		2,41
Logaritmo de caudal alto	Log QH		3,109 8
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	1 288
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		2,388 0
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	244

Fuente: (La autora y los autores).

Al eliminar el dato bajo salido se realiza de nuevo el análisis, obteniéndose los resultados mostrados en el Cuadro 13.

El modelo de regresión lineal y el exponencial múltiple, relacionan el caudal máximo anual, la precipitación media anual y el área de drenaje, en el cual estos dos últimos valores se obtienen de los resultados de los modelos de elevación digital respectivos.

A continuación se presentan los resultados tanto de área de drenaje como de precipitación promedio para cada una de las subcuencas establecidas a partir de las estaciones limnigráficas en estudio, además se indica cuál es el área de drenaje establecida por el ICE, para cada una de las subcuencas.

3.3 Datos de precipitación media y área para las subcuencas

3.3.1 Cuenca del río Tempisque

Subcuenca de la Estación Guardia

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 979,56

Área de drenaje (km²) (ICE): 955,00

Precipitación promedio anual (mm): 1 747,38

Subcuenca de la Estación Coyolar

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 95,49

Área de drenaje (km²) (ICE): 128,20

Cuadro 10. Resultados.

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		1,878 0
Desviación estándar	S		0,151 5
Coefficiente de sesgo	G		0,66
Coefficiente	KN		2,75
Logaritmo de caudal alto	Log QH		2,295 2
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	197
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		1,460 8
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	29,0

Fuente: (La autora y los autores)

Cuadro 11. Resultados

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		1,878 0
Desviación estándar	S		0,151 5
Coefficiente de sesgo	G		0,66
Coefficiente	KN		2,75
Logaritmo de caudal alto	Log QH		2,295 2
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	197
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		1,460 8
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	29,0

Fuente: (La autora y los autores).

Precipitación promedio anual (mm): 1 795,08.

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 1 553,31Área de drenaje (km²) (ICE): 1 133,30

3.3.2 Cuenca del río Grande de Térraba

Precipitación promedio anual (mm): 2 885,17

Subcuenca de la Estación PalmarÁrea de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 4 533,75Área de drenaje (km²) (ICE): 4 766,70

Precipitación promedio anual (mm): 3 028,10

Subcuenca de la Estación El BrujoÁrea de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 2 397,15Área de drenaje (km²) (ICE): 2 401,20

Precipitación promedio anual (mm): 3 118,07

Subcuenca de la Estación Caracauchó

Debido a problemas con la altimetría, -es decir como en la zona donde se ubica la estación es muy plana, no se generaron las suficientes curvas de nivel como para que el modelo estableciera toda la cuenca su totalidad- por ende, el análisis se realizó dividiendo a la misma en tres áreas adyacentes, luego se estableció el promedio de la precipitación de las tres.

Subcuenca de la Estación La CuestaÁrea de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 831,42Área de drenaje (km²) (ICE): 835,50

Precipitación promedio anual (mm): 3 156,98

Subcuenca de la Estación RivasÁrea de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 184,50

Cuadro 12. Resultados

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,4991
Desviación estándar	S		0,273 7
Coefficiente de sesgo	G		-2,60
Coefficiente	KN		2,45
Logaritmo de caudal alto	Log QH		3,169 2
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	1 476
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		1,829 1
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	67,0

Fuente: (La autora y los autores).

Cuadro 13. Resultados

Variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Promedio	M		2,545 8
Desviación estándar	S		0,160 9
Coefficiente de sesgo	G		-0,74
Coefficiente	KN		2,43
Logaritmo de caudal alto	Log QH		2,936 7
Caudal salido alto	QH	(m ³ /s)	864
Logaritmo de caudal bajo	Log QL		2,155 0
Caudal salido bajo	QL	(m ³ /s)	143

Fuente: (La autora y los autores)

Cuadro 14. Valores de caudal, área y precipitación para el período de retorno de cien años.

Estación	Número	Caudal (Q) (m ³ /s)	Área (A) (km ²)	Precipitación media (P) (mm/año)
Guardia	741901	2 487	955	1 747,38
Coyolar	741906	1 142	128,2	1 795,08
Palmar	983101	1 1305	4 766,7	3 028,10
Caracaucho	983107	3 323	1 133,3	2 885,17
Brujo	983103	5 629	2 401,2	3 118,07
La Cuesta	983109	2 509	835,5	3 156,98
Rivas	983108	579	317,9	3 450,78
Amo	842424	1 832	734	2 082,74
Tacares	842402	253	201,5	2 632,52
Balsa	842406	1 539	1 638	2 206,17
Garita	842412	678	637,2	2 400,32

Fuente: (La autora y los autores)

Área de drenaje (km²) (ICE): 317,90
Precipitación promedio anual (mm): 3 450,78

Precipitación promedio anual (mm): 2 400,31

3.3.3 Cuenca del río Grande de Tárcoles

Subcuenca de la Estación Nuestro Amo

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 804,96

Área de drenaje (km²) (ICE): 734,00

Precipitación promedio anual (mm): 2 082,74

Subcuenca de la Estación Tacares

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 231,39

Área de drenaje (km²) (ICE): 201,50

Precipitación promedio anual (mm): 2 632,52

Subcuenca de la Estación Balsa

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 1 620,08

Área de drenaje (km²) (ICE): 1 638,00

Precipitación promedio anual (mm): 2 206,17

Subcuenca de la Estación Garita

Área de drenaje (km²) (Modelo de elevación digital): 661,86

Área de drenaje (km²) (ICE): 637,20

3.4 Obtención de caudales para los periodos de retorno definidos

Las funciones se calcularon en una hoja electrónica.

3.4.1 Regresión lineal múltiple

3.4.2 Ecuación de regresión lineal múltiple

De acuerdo con los resultados anteriores se establece la ecuación (9) para el caudal Q en (m³/s), para una probabilidad de cien años, con un coeficiente de correlación de 0,963 5.

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple R 0,963 5
Coeficiente de determinación R² 0,928 2

	Coefficiente
Intercepción	-526,905 6
Variable X 1	2,264 8
Variable X 2	0,208 2

Cuadro 15. Valores de logaritmos de caudal, área y precipitación para un período de retorno de cien años.

Estación	Número	Caudal (Q) (m ³ /s)	Área (A) (km ²)	Precipitación media (P) (mm/año)	Log Q	Log A	Log P
Guardia	741 901	2 487	955	1747,38	3,395 68	2,980 00	3,242 39
Coyolar	741 906	1 142	128,2	1795,08	3,057 67	2,107 89	3,254 08
Palmar	983 101	11 305	4766,7	3028,10	4,053 27	3,678 22	3,481 17
Caracaucho	983 107	3 323	1133,3	2885,17	3,521 53	3,054 34	3,460 17
Brujo	983 103	5 629	2401,2	3118,07	3,750 43	3,380 43	3,493 89
La Cuesta	983 109	2 509	835,5	3156,98	3,399 50	2,921 95	3,499 27
Rivas	983 108	579	317,9	3450,78	2,762 68	2,502 29	3,537 92
Amo	842 424	1 832	734	2082,74	3,262 93	2,865 70	3,318 64
Tacares	842 402	253	201,5	2632,52	2,403 12	2,304 28	3,420 37
Balsa	842 406	1 539	1638	2206,17	3,187 24	3,214 31	3,343 64
Garita	842 412	678	637,2	2400,32	2,831 23	2,804 28	3,380 27

Fuente: (La autora y los autores).

Cuadro 16. Ecuaciones de regresión para el cálculo de caudal máximo anual para diferentes períodos de retorno.

Período retorno (años)	Lineal		Exponencial		Ecuaciones de caudal máximo anual Q (m ³ /s)
	r ²	F	r ²	F	
100	0,928 2	51,75	0,705 4	9,58	-526,905 6 + 2,264 8 • A + 0,208 2 • P
50	0,934 2	56,76	0,750 2	12,01	-466,634 1 + 1,868 6 • A + 0,203 2 • P
20	0,939 9	62,58	0,806 1	16,63	-398,939 7 + 1,420 8 • A + 0,191 4 • P
10	0,942 7	65,83	0,845 7	21,92	-359,934 5 + 1,130 1 • A + 0,180 5 • P
2	0,962 2	101,70	0,920 4	46,26	-228,194 5 + 0,541 7 • A + 0,114 0 • P
1	0,899 0	35,62	0,909 8	40,33	-194,754 3 + 0,227 7 • A + 0,080 8 • P

Fuente: (La autora y los autores)

$$Q = -526,9056 + 2,26648 \cdot P \quad (9)$$

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple R	0,839 9
Coefficiente de determinación R ²	0,705 4
	Coefficiente
Intercepción	2,342 1
Variable X 1	0,879 5
Variable X 2	-0,484 1

Regresión Exponencial Múltiple (Cuadro 15).

La ecuación de regresión lineal múltiple tiene un coeficiente de correlación múltiple R mayor que el de la ecuación exponencial múltiple, y por eso se recomienda el uso de la primera. En forma semejante se obtuvieron las ecuaciones para los demás períodos de retorno (Cuadro 16).

CONCLUSIONES

1. El análisis estadístico realizado mediante la distribución Log-Person III, a las series de datos de caudal máximo anual de las estaciones en estudio, mostró buenos resultados. Al realizar el estudio de los datos altos y bajos salidos extremos, se encontró que las estaciones Nuestro Amo, y Tacaes presentaron valores altos y las estaciones Guardia y Garita presentaron valores bajos, a los cuales se les ejecutó el respectivo

ajuste. La integración de Sistemas de Información Geográfica al estudio de cuencas hidrográficas constituye una herramienta de facilitación para la obtención de resultados físicos y el entendimiento de las variables que afectan las condiciones hidrológicas de una cuenca.

2. De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de regresión, se establece que existe una relación real entre las variables. Debido a la confiabilidad de las muestras de datos y de los resultados obtenidos, las ecuaciones generadas pueden ser utilizadas como un método empírico para el cálculo de caudal para los diferentes períodos de retorno analizados.

3. Al realizar el análisis de regresión lineal y el de exponencial múltiple para cada una de las probabilidades en estudio, en el análisis lineal se obtuvieron valores para el coeficiente de correlación más cercanos a uno que en el análisis exponencial. De esta manera para las probabilidades de cien, cincuenta, veinte, diez y dos años, la ecuación de caudal tendrá una relación lineal, para la probabilidad de un año no se presentó esta situación, pero en vista de que no hay mucha diferencia entre los valores del coeficiente de correlación se consideró, que por homogeneidad en los resultados, la ecuación será también de índole lineal.

4. Aunque las tres cuencas analizadas pertenecen a la vertiente Pacífica, todas pertenecen a diferentes zonas climáticas y tienen formaciones geológicas y topografías muy variadas, estos factores influyen directamente en el cálculo del

caudal; mas aún, al realizar el análisis de regresión para los resultados de caudal, área y precipitación para las once estaciones en estudio se concluye que hay muy buena relación entre la variable dependiente (correspondiente al caudal) y las variables independientes (área y precipitación).

AGRADECIMIENTOS

Para la realización del trabajo fue imprescindible la colaboración del Instituto Costarricense de Electricidad, por medio del Lic. Sadí Laporte, el cual brindó la información hidrológica de las estaciones que se analizaron, así como la información meteorológica de las estaciones que se ubican dentro de las mismas. Por otro lado, también se contó con la colaboración del Instituto Meteorológico Nacional, por medio del Ing. Roberto Villalobos, donde se suministraron los datos de precipitación de las estaciones complementarias a las que tenía el ICE y los Modelos de elevación digital de las cuencas en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Interagency Advisory Committee on Water Data. (1982). Guidelines for determining flood flow frequency. Bulletin 17B, US Dept. generated by mixed processes. Water Resources Research

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2004). Información limnográfica y

meteorológica de las cuencas de la vertiente del pacífico: río Tempisque, río Grande de Tárcoles y río Grande de Térraba. Registros de 1951 al 2001.

Instituto Meteorológico de Costa Rica (IMN). (2004). Información meteorológica de las cuencas de la vertiente del Pacífico: río Tempisque, río Grande de Tárcoles y río Grande de Térraba. Registros de 1951 al 2001.

SOBRE LA AUTORA Y LOS AUTORES

Nazareth Rojas Morales

Licenciada en Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica
Instituto Meteorológico de Costa Rica.
Correo electrónico: nrojas@imn.ac.cr

José Francisco Aguilar Pereira

Licenciado en Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica
Magister Scientiae en Computación, Sistema de información Instituto tecnológico de Costa Rica
Correo electrónico: jaguilar@ingagri.ucr.ac.cr

Hernán Solís Bolaños

Licenciado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica
M. Sc. del Silsoe College de Inglaterra.
Doctor en Hidráulica del Instituto de Construcciones de Bucarest, Rumania.
Correo electrónico: hsolis48@yahoo.com