

TES01000175917

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES IZTACALA

ESCORRENTIA EN PEQUEÑAS CUENCAS HIDROLOGICAS  
CON SELVA BAJA CADUCIFOLIA  
EN CHAMELA, JALISCO.



T E S I S

BIBLIOTECA  
CENTRO DE ECOLOGIA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ARMANDO LOPEZ GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSE MANUEL MAASS MORENO

Dono a la Biblioteca del Centro de  
Ecología

Armando López G 19/Feb/92



Dedico esta tesis a mis Padres, quienes con cariño y ejemplo me enseñaron a superarme mediante el trabajo.

A mis hermanos Carmen, Irma, Manuel, Eduardo, Martha y Moisés, y a mi sobrino Pavel, gracias por su apoyo y alegría.

A mis abuelos y tíos con cariño y gratitud por la ayuda que siempre nos han brindado.

A Isabel, en quien siempre encontré el afecto de una gran amiga.

A mis amigos: Erika, Araceli, Zoraida, Aída, Lillian, Patricia, Rosa, Teresa, Sofia, Verónica, Lidia, Marco Antonio, Jorge, Juan, Miguel, Toño, Mario, Poncho, Manuel, Arturo, Daniel, Marcos, Gabriel, Rafael y Ernesto, por los buenos y malos momentos que compartimos.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las siguientes personas: al Dr. José Manuel Maass Moreno, por la dirección de esta tesis y el apoyo que siempre me brindó. Al Biól. Daniel Tejero Diez, Biól. Angel Durán Díaz, M. en C. Daniel Muñoz Iniestra y Biól. Antonio Cisneros Cisneros, por la revisión del trabajo y sus valiosos comentarios. Al Dr. Ramón Domínguez Mora, por su asesoría y la disposición que siempre mostró para ayudarme. Al M. en C. Luis Cervantes Servín, quién inició los estudios hidrológicos en las cuencas de Chamela, estableciendo la base para la realización del presente trabajo. Al Dr. Felipe García Oliva por su ayuda en el análisis estadístico y por la revisión del trabajo. Al Biól. Alejandro Morón Ríos por su ayuda en el análisis estadístico y el manejo de programas. A la Biól. Rocio Estéban Jiménez, por su ayuda técnica y logística. Al Biól. Alberto Hernández Vázquez por su ayuda en la obtención de los datos de campo. Al M. en C. Julio Campo Alves, por la revisión del trabajo y sus comentarios. Al Dr. Victor Jaramillo Luque, por su ayuda en el análisis de resultados y por las facilidades prestadas para utilizar su laboratorio. Al M. en C. Ivan Azuara por su ayuda en la digitalización de los datos.

También agradezco a mis compañeros del laboratorio de ecosistemas por su gran ayuda y amistad: Biól. Luis Armando Aznar Molina, M. en C. Julieta Benitez Malvido, Biól. Patricia Centeno Osnaya, Geóg. Leopoldo Galicia Sarmiento, Biól. Georgina García Méndez, Biól. Pedro César González Flores, Geóg. Alma Rosa Gutiérrez Alcalá, Biól. Pilar Islas Macías, M. en C. Marisa Mazari Hiriart, Biól. Cristina Patiño Alvarado, M. en C. Agustín Quiroz

Flores, M. en C. Antonio Solano, Biól. Enrique Solís Villalpando y Biól. Isabel Velázquez Morales.

Deseo agradecer al Centro de Ecología de la UNAM, el apoyo prestado para la realización del presente trabajo. Así mismo, agradezco a la estación de Biología Chamela, perteneciente al Instituto de Biología de la UNAM, por las facilidades brindadas durante el trabajo de campo. Este trabajo se realizó con el apoyo económico de la UNAM y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

## INDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Objetivos.....	4
Marco Teórico.....	5
Antecedentes.....	15
Método.....	22
Resultados y Discusión.....	32
Conclusiones.....	71
Bibliografía.....	74
Apéndice I. Descripción del Método de Regresión Li- neal, utilizado para obtener la ecuación de cali- bración entre el nivel y la descarga.....	77
Apéndice IIa. Programa escrito en Lotus, utilizado para integrar los hidrogramas.....	80
Apéndice IIb. Ejemplo de la integración de un hidro- grama, utilizando el programa escrito en Lotus.....	82
Apéndice III. Ejemplo del método empleado para obte- ner el hidrograma, el volumen y la lámina de escu- rrimiento directo, los coeficientes de escurrimien- to, el índice de infiltración y el hietograma de precipitación efectiva.....	84
Apéndice IV. Ejemplo de la forma en que se obtuvie- ron los hidrogramas unitarios utilizando los métodos "Tradicional" e "Instantáneo.....	91

Apéndice V. Ejemplo del método empleado para calcular el Índice de Precipitación Antecedente (IPA).....	101
Apéndice VIa. Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el período 1983-1990 .....	102
Apéndice VIb. Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el período 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones.....	107
Apéndice VII. Porcentaje de lluvia anual escurrida, volumen y lámina de escurrimiento anual.....	114
Apéndice VIII. Índice de infiltración ( $\theta$ ) y coeficientes de escurrimiento ( $C$ y $C'$ ) para diferentes tormentas.....	116
Apéndice IX. Coordenadas de los hidrogramas unitarios.....	119
Apéndice X. Lámina de escurrimiento promedio de las cinco cuencas, índice de precipitación antecedente (IPA) precipitación ( $P$ ) e intensidad de la lluvia ( $I$ ) para cada escurrimiento registrado durante el período de estudio.....	120
Apéndice XI. Descargas máximas de cada escurrimiento registrado en las cuencas.....	122
Apéndice XII. Descripción del modelo Gamma de distribución de probabilidades.....	123
Apéndice XIII. Error en los hidrogramas esperados, obtenidos a partir de los hidrogramas unitarios.....	125



## RESUMEN

En el presente trabajo se calibró el parámetro escorrentía, utilizando el método de cuencas pareadas, y se determinó la relación lluvia-escorrimento para cinco cuencas hidrológicas con selva baja caducifolia, en Chamela, Jalisco. No se encontraron diferencias significativas entre cuencas para los diferentes parámetros de escurrimiento (lámina anual escurrida, porcentaje de lluvia anual escurrida, coeficientes de escurrimiento e índice de infiltración). En cambio, sí se encontraron diferencias entre años para el volumen anual escurrido, lámina anual escurrida, y porcentaje de lluvia anual escurrida; estas diferencias se atribuyen a los patrones variables de precipitación anual en la región. Se desarrolló una ecuación para explicar la escorrentía en la zona; las variables de dicha ecuación fueron la precipitación y el índice de precipitación antecedente. Se obtuvieron los hidrogramas unitarios de las cinco cuencas, utilizando dichos hidrogramas para estimar otros escurrimientos. Las ecuaciones de calibración obtenidas muestran una alta correlación entre los parámetros de escurrimiento de las cuencas; sin embargo, en algunas de estas ecuaciones, se encontraron fallas de ajuste provocadas por la falta de normalidad de los datos. Se encontró que la escorrentía tiene una distribución Gamma, con un predominio de los escurrimientos pequeños, y en la cual los escurrimientos grandes tienen bajas probabilidades de ocurrencia.



Ecología del Instituto de Biología de la UNAM, ahora Centro de Ecología, diseñaron un estudio a largo plazo para analizar la dinámica de un ecosistema tropical de selva baja caducifolia. Dicho estudio se realiza en cinco cuencas hidrológicas que pertenecen a la estación de Biología Chamela, en la costa de Jalisco. La investigación tiene por objetivos: entender la estructura y funcionamiento de la selva en condiciones naturales; analizar el impacto que tienen diferentes técnicas de manejo, sobre la productividad y el balance de nutrientes; y por último, evaluar la capacidad del ecosistema para recuperarse después de la perturbación a la que sea sometido. Todo esto con la finalidad de desarrollar nuevas alternativas de producción sostenida, basadas en un adecuado balance de energía, agua y nutrientes en el ecosistema. La investigación está conformada por diversos estudios, entre los que se encuentra el referente a la determinación de la dinámica en la relación lluvia-escurrimiento.

La relación entre la cantidad de agua que entra por lluvia y la cantidad que sale por escurrimiento es importante para el balance hidrológico de un ecosistema, y tiene además, repercusiones en el ciclaje de nutrientes, ya que el agua, al escurrir, erosiona partículas de suelo, arrastrando consigo elementos minerales.

## OBJETIVOS

- 1.- Calibrar el parámetro escurrimiento en cinco cuencas hidrológicas, empleando el método de Cuencas Pareadas, con el objeto de establecer relaciones entre los parámetros hidrológicos de las cuencas, que sirvan como base para estimar los cambios en la escorrentia, cuando dichas cuencas se perturben.
- 2.- Determinar la relación lluvia-escurrimiento en las cinco cuencas, a partir de parámetros que caracterizen la respuesta hidrológica de las cuencas.

## MARCO TEORICO

### El método de cuencas pareadas.

El estudio del balance entre la cantidad de energía, agua y nutrientes que entra y sale de un ecosistema, representa un problema ya que los sistemas naturales no tienen límites bien definidos, existiendo entre ellos un constante intercambio de materia y energía. Una solución a este problema ha sido el uso de cuencas hidrológicas como unidades de estudio. Una cuenca hidrológica se asemeja a un embudo, con una boca ancha (el parteaguas de la montaña), un drenaje angosto y bien definido (el arroyo) y una salida (la boca de la cuenca) en la cual converge toda el agua. Cuando el basamento rocoso de la cuenca es suficientemente impermeable, resulta fácil monitorear la pérdida de agua y nutrientes de un ecosistema, colocando una represa en la boca de la cuenca y cuantificando el volumen de agua que sale, así como su contenido de nutrientes (Sarukhán y Maass, 1988).

Cuando se tienen dos cuencas cercanas con iguales características (mismo tamaño, pendiente, exposición, tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.) y una de ellas se perturba, manteniendo a la otra intacta, se puede determinar el efecto de la manipulación, si se comparan los cambios en el balance de energía, agua y nutrientes de la cuenca perturbada, con respecto a la control. Esta manipulación experimental es un enfoque de análisis muy poderoso, que permite aplicar directamente el método científico para probar hipótesis sobre los ecosistemas en su estado natural (Likens, 1985). Sin embargo, la experimentación a nivel de cuencas

presenta una dificultad: son muy pocos los casos en que se puede encontrar dos o más cuencas cercanas con idénticas características. Este problema se resuelve con el método de cuencas pareadas (Hewlett, 1982), que consiste en seleccionar dos cuencas contiguas o cercanas, con características similares en cuanto a tamaño, topografía, origen geológico, vegetación, etc. En ambas cuencas se analiza simultáneamente, durante varios años, el balance de entrada y salida de agua, energía y nutrientes. Al término de este periodo de calibración se obtienen, mediante análisis de regresión, ecuaciones de correlación entre los parámetros de una cuenca, con respecto a la otra. Así, por ejemplo, se puede obtener la correlación entre los niveles de nutrientes en el agua de escorrentía de una cuenca, con respecto a los niveles de nutrientes en el agua de escorrentía de la otra; la correlación entre los niveles de erosión de una cuenca, con respecto a los niveles de erosión de de la otra; etc. Posteriormente, cuando se transforma una de las cuencas, las ecuaciones de correlación sirven para estimar lo que hubiese pasado en la cuenca perturbada, de haber permanecido intacta, de esta manera se puede determinar si la diferencia que se observa en las respuestas de las cuencas, se debe al tratamiento o a factores externos (ver Figura 1). El sistema de cuencas pareadas constituye una de las herramientas más importantes que se tienen para estudiar el funcionamiento de los ecosistemas naturales, analizar los efectos de las perturbaciones y evaluar alternativas de manejo (Sarukhán y Maass, op.cit.). En esta forma las investigaciones

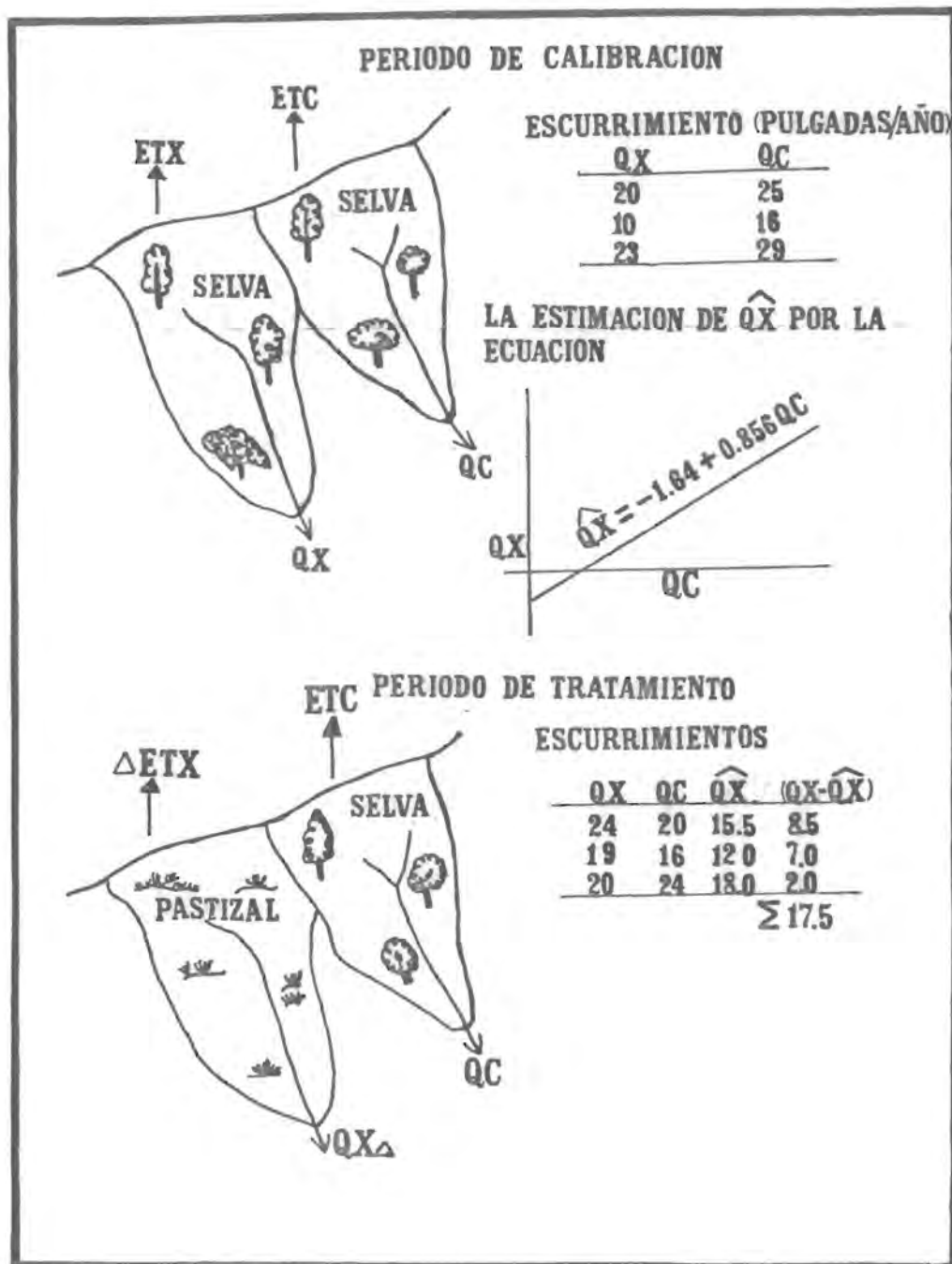


FIGURA 1. El método de Cuencas Pareadas en el estudio de ecosistemas. QX y QC = Escurrimiento; ETX y ETC = Evapotranspiración (tomado de Hewlett, op, cit.).

ecosistémicas proporcionan las bases para un aprovechamiento y conservación de recursos más eficientes.

#### El ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico actúa como el sistema circulatorio de un ecosistema, ya que en cada fase del ciclo el agua acarrea materiales y energía entre los diferentes componentes del ecosistema; sirviendo como elemento de enlace entre la atmósfera, el suelo y la comunidad vegetal (Brown, 1980; Maass y Martínez-Yrizar, op.cit.).

En el ciclo hidrológico (ver Figura 2), el agua de los océanos se evapora gracias a la energía solar y es transportada por el viento hasta los continentes. Ahí, cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas, parte del agua se precipita como lluvia. Antes de alcanzar la superficie del suelo, una fracción de la lluvia es interceptada por la vegetación; una parte de esta agua se almacena en la superficie de hojas y ramas, el resto escurre hacia el suelo por los troncos y tallos. Una pequeña fracción del agua nunca llega al suelo, ya que se evapora de la vegetación y regresa a la atmósfera durante y después de la lluvia. Este proceso, por el cual el agua regresa rápidamente a la atmósfera, se conoce como "Intercepción". De toda el agua que llega a la superficie del suelo, sólo una parte es absorbida, el resto permanece en la superficie llenando pequeñas depresiones y eventualmente se desliza, pendiente abajo, hacia los ríos y arroyos, formando lo que se conoce como "Flujo superficial". La

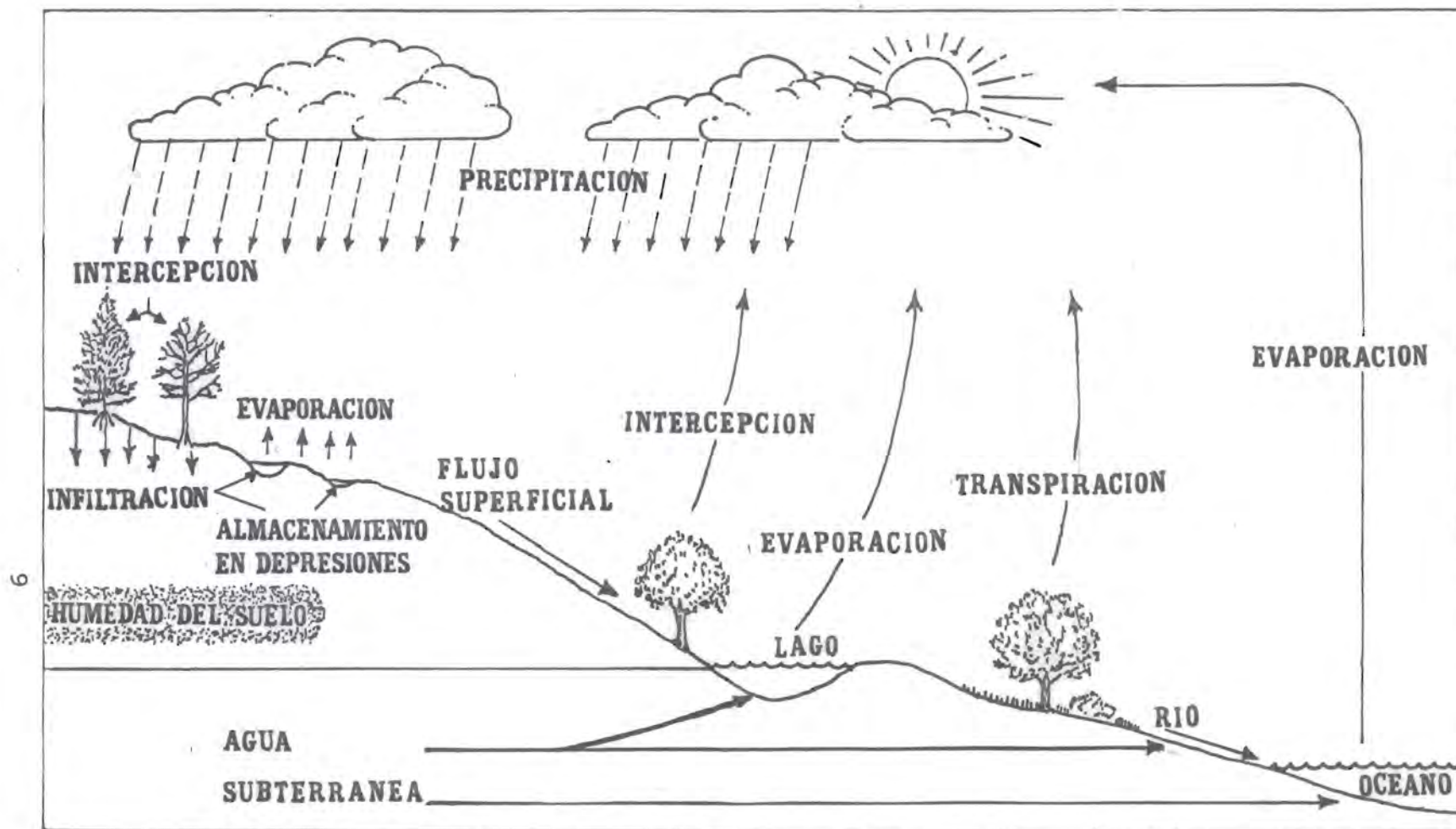


FIGURA 2. El ciclo hidrológico (modificado de Dunne & Leopold, 1978).

lluvia absorbida penetra en el suelo mediante el proceso de "Infiltración" y permanece ahí como humedad, gracias a las fuerzas capilares. Si el contenido de humedad del suelo aumenta lo suficiente, el agua infiltrada desplazará al agua que anteriormente se encontraba ahí, la cual puede percolar lateralmente a través de las capas superiores del suelo y dar origen al llamado "Flujo subsuperficial de tormenta", el cual llega rápidamente a las corrientes de los ríos y arroyos. Otra posibilidad es que el agua percole verticalmente, donde los poros del suelo o la roca esten completamente llenos de agua, y después se mueva lentamente hacia las corrientes de agua. No toda el agua que se infiltra llega a los ríos, una parte permanece en las capas superiores del suelo, después de la lluvia, y regresa a la atmósfera cuando se evapora de la superficie del suelo o es transpirada por las plantas (Dunne & Leopold, op. cit.).

A nivel de todo el planeta, el ciclo hidrológico es un sistema cerrado, en el cual no existen entradas ni salidas de agua, únicamente de energía. En cambio, a escala regional o local, como por ejemplo una cuenca, el ciclo hidrológico es un sistema abierto, con entradas y salidas de agua y energía. Una cuenca hidrológica normalmente tiene una sola entrada, la precipitación, y dos grandes salidas, la evapotranspiración y la escorrentía (Ward, 1975).

#### Escorrentía.

La escorrentía comprende a toda el agua que se mueve gravitacionalmente en un canal y puede variar en magnitud, desde los más pequeños escurrimientos, hasta los más grandes ríos del



mundo. En un sentido general, la escorrentía representa el exceso de lluvia sobre la evapotranspiración (Ward, op.cit.). La escorrentía es el principal acarreador de materiales en ecosistemas no perturbados, ejemplos de esta función acarreadora son la erosión de partículas y la lixiviación de nutrientes del suelo (Brown, op.cit.).

La escorrentía de una cuenca tiene cuatro componente (Ward, op.cit.; Freeze & Cherry 1979; Harrold et. al. 1982):

a) Precipitación directa. Comprende a toda el agua de lluvia que se precipita directamente sobre el canal de la corriente, y representa una contribución directa a la escorrentía.

b) Flujo superficial. El flujo superficial, como se mencionó anteriormente, es el agua que viaja sobre la superficie del suelo. Este flujo se presenta en forma de lámina de escurrrimiento y se convierte en escorrentía cuando el agua entra en un canal.

c) Flujo superficial de saturación. Comprende al agua de lluvia infiltrada a poca profundidad, que fluye lateralmente a través de los horizontes superiores del suelo hasta llegar a una zona saturada de agua, en donde sube a la superficie y se une a la escorrentía. Estas zonas de saturación se presentan generalmente en las partes bajas, donde el nivel freático ha aumentado debido a la lluvia.

d) Flujo subterráneo. Este término abarca a la precipitación que percola profundamente a través de las capas del suelo y llega hasta los mantos acuíferos, para alcanzar posteriormente el canal de la corriente. El flujo del agua subterránea hacia el canal está

retrasado con respecto a la lluvia por semanas, meses e incluso años. Este flujo tiene una tasa uniforme y es el componente a largo plazo de la corriente.

Durante una tormenta la mayoría de la escorrentía está constituida por precipitación directa, flujo superficial y flujo superficial de saturación, que en conjunto se denominan escurrimiento directo. Conforme avanza la tormenta, este escurrimiento alcanza rápidamente el cauce de la corriente, provocando un aumento repentino en el nivel del agua. La escorrentía registrada después de un cierto tiempo de haber terminado la tormenta, se conoce como flujo base y tiene su origen en el flujo subterráneo. El flujo base, a diferencia del escurrimiento directo, produce menor descarga a una tasa aproximadamente constante y está retrasado con respecto a la tormenta.

#### Medición de la escorrentía.

Uno de los métodos más exactos para medir la escorrentía, es mediante el uso de limnigrafos y vertedores. Los limnigrafos son aparatos que registran el nivel de la corriente a lo largo del tiempo. Los vertedores son dispositivos que dirigen al flujo del agua de tal forma que este pase a través de una abertura de sección controlada y están diseñados de tal forma, que se puede obtener la descarga de la corriente (en volumen por unidad de tiempo), conociendo el nivel del agua y aplicando una fórmula derivada de la teoría hidráulica (Hewlett, op.cit.). Para corrientes pequeñas se utilizan normalmente vertedores con

abertura triangular, mientras que para corrientes grandes se emplean aberturas mas anchas (Hynes, 1979). El resultado final de la medicion es una grafica llamada hidrograma, en la cual se muestra la variación de la descarga a lo largo del tiempo.

#### Factores que afectan la escorrentia.

La escorrentia es afectada principalmente por características de la lluvia, características de la cuenca, condiciones climaticas y actividades humanas. La duracion de la lluvia, su intensidad y distribucion sobre el area influyen en la tasa y cantidad de escorrentia. El clima sobre una cuenca limita el volumen total de escorrentia de un area al determinar la relacion entre lluvia y evapotranspiracion. Entre las características de la cuenca que afectan la escorrentia se encuentran : el area, que determina la cantidad total de la precipitacion que puede ser captada; el suelo, por su papel en la infiltracion; la pendiente, que afecta la velocidad del flujo de agua; la altura de la cuenca, que afecta el total de escorrentia, debido a la influencia directa de la orografia sobre la cantidad de precipitacion; y la vegetación, por sus efectos sobre la intercepcion, evapotranspiracion y movimiento del agua en el suelo. Entre las actividades humanas que influyen en la escorrentia, se encuentran: la construccion de estructuras hidraulicas, como presas y diques, para controlar y modificar el flujo de los rios; las tecnicas agricolas, ya que provocan cambios en la cobertura, estabilidad del suelo, tasa de infiltracion, intercepcion, evapotranspiracion, etc.; y la

urbanizacion, que reduce la capacidad de infiltracion y por lo tanto aumenta el volumen y velocidad de los escurrimientos (Ward, op.cit.; Harrold et al op.cit.).

## ANTECEDENTES.

A continuación se presenta una revisión de trabajos sobre escorrentía en diferentes ecosistemas, haciendo énfasis en las zonas tropicales.

Lal (1981) encontró que el clareo manual de una selva tropical produjo menor escorrentía que el clareo mecánico; para el primero se registró un escurrimiento de  $2.6 \text{ mm año}^{-1}$ , en comparación a los  $250.3 \text{ mm año}^{-1}$ , obtenidos al usar tractor.

En Nigeria, Lawson y colaboradores (1981), encontraron que del total de precipitación anual, las pérdidas por escorrentía fueron del 2.5 % en una selva tropical, 23 % en una cuenca clareada y del 63 % en una cuenca erosionada.

Fleming (1983), trabajando en pastizales, calculó un escurrimiento de  $9.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ó 290 millones de  $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$ , y una tasa de infiltración que varió entre  $0.4$  y  $1.7 \text{ cm hr}^{-1}$ .

Quintana y Sánchez (1990) calibraron una cuenca hidrológica con vegetación de pastizal, en una región árida y montañosa de Chihuahua, obteniendo un escurrimiento de  $1230 \text{ m}^3 \text{ Km}^{-2}$ , un gasto máximo de escorrentía superficial de  $11 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  y un volumen escurrido acumulado de  $1450 \text{ m}^3$ , durante un periodo de siete meses (junio-diciembre).

Domínguez y colaboradores (1976, citado en Cervantes *et. al.* 1988) reportan para la cuenca del río Magdalena, en el D.F., un coeficiente de escurrimiento de 1 a 3 % y un índice de infiltración de 4 a 17 mm/10 min. Los mismos autores encontraron un coeficiente de escurrimiento entre 7 y 11 % y un índice de infiltración de

0.5 mm/10 min, en cuencas modificadas por la urbanización, como la del río Mixcoac, y atribuyen estos valores a la ausencia de vegetación.

Roche (1981) calibró tres cuencas hidrológicas en el Amazonas y encontró escurrimientos anuales de 925, 845 y 500 mm; coeficientes de escurrimiento de 27, 24 y 16 %; y porcentajes de flujo superficial de 19, 19 y 7 %, respectivamente. Las variaciones entre las cuencas se atribuyen a diferencias en la retención y transmisión del agua, por parte de las capas superficiales del suelo.

Cervantes, Maass y Domínguez (1988) estudiaron la relación lluvia-escurrimiento en cinco cuencas localizadas en la estación de Biología Chamela, en Jalisco. Empleando los registros de lluvias y escurrimientos durante un periodo de cuatro años (1983-1986), estos autores encontraron un coeficiente promedio para las cinco cuencas de 1.5 % de lluvia anual escurrida, un coeficiente de escurrimiento de 1.44 (tomando en cuenta el total llovido) y de 4.66 (considerando únicamente la precipitación a partir de una hora antes de iniciado el escurrimiento), obteniendo un índice de infiltración de 13.71 mm/15 min. Estos valores se atribuyen a las características arenosas del suelo y a la intercepción por parte de la vegetación y la hojarasca.

El presente trabajo es la continuación del estudio realizado por Cervantes, Maass y Domínguez (op.cit.), y tiene como finalidad analizar la esorrentía de los cuatro años siguientes a dicho estudio; y posteriormente, con los datos que se obtengan y los

reportados por estos autores, realizar la calibración de las cuencas para los ocho años de estudio.

#### Descripción general del área de estudio.

El trabajo se realizó en los terrenos pertenecientes a la Estación de Biología Chamela, ubicada al suroeste de la costa de Jalisco, México, entre los 19° 30' y 19° 33' norte y 105° 00' y 105° 05' oeste (ver Figura 3). La estación se encuentra a la altura del km 59 de la carretera federal número 200, vía Barra de Navidad - Puerto Vallarta, y a 5 km del poblado de Chamela, en el municipio de la Huerta, Jalisco.

La región se caracteriza por su topografía irregular, con lomeríos que van de 20 a 250 m.s.n.m., y pendientes de 15 a 60° (Cervantes, 1988).

El material parental, constituido principalmente por riolitas, asociado con la topografía de lomeríos, da como resultado suelos tipo regosol, caracterizados por su poca estructura y profundidad (0.5 a 1 m), en los cuales predomina la textura migajón-arenosa (Sarukhán y Maass, op.cit.).

En la zona existen dos tipos de vegetación, de acuerdo con Miranda y Hernández (1963): la selva baja caducifolia, localizada en las laderas y cimas de los lomeríos, con árboles cuya altura varía entre 5 y 12 m, y que en la época seca tiran la totalidad de sus hojas; y la selva mediana subperenifolia, ubicada en las partes bajas de las laderas y orillas de arroyos, con árboles de 10 a 25 m, que durante el periodo seco pierden sus hojas, en porcentajes que varían del 75 al 90 % .

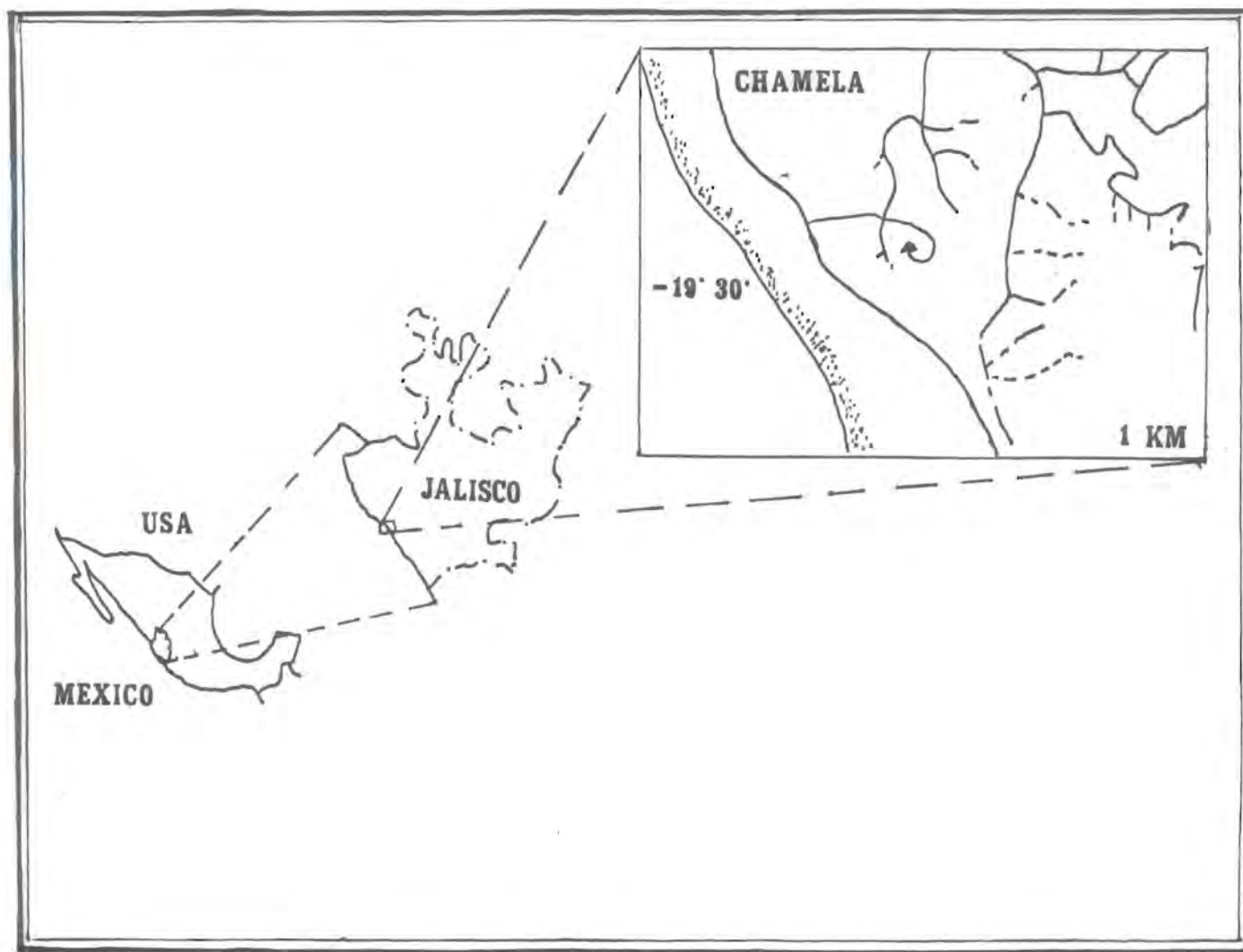


FIGURA 3. Localización de la zona de estudio.



El clima de la región se clasifica como tropical subhúmedo, siendo el más seco de los cálidos húmedos. La precipitación anual promedio en el periodo 1977-1984 fue de 748 mm. Existe una época húmeda de julio a noviembre, durante la cual se registra el 80 % del total de lluvia, seguida por un periodo seco de 5 a 7 meses consecutivos entre diciembre y junio. La máxima precipitación se presenta en septiembre debido a la ocurrencia de ciclones tropicales, que tienen su mayor influencia durante este mes. La temperatura fluctúa poco a lo largo del año, con un promedio anual de 24.9 °C, siendo enero el mes más frío con un promedio de 20 °C, y agosto el mes más caliente con un promedio de 27 °C (Bullock, 1986).

El sistema de cuencas estudiado se localiza en la cara occidental de una misma formación orográfica llamada Cerro el Colorado (ver Figura 4); dicho sistema desemboca en el arroyo el Zarco, que se une al arroyo el Colorado y este a su vez vierte al río Chamela, el cual descarga en el océano. El patrón de drenaje de las cuencas es rectangular, conformado por corrientes de segundo orden. El tipo de cuencas corresponde a las efímeras, que llevan la mayor cantidad de agua durante septiembre (Cervantes *et. al.*, *op.cit.*). En la Tabla 1 se puede ver una descripción general de las cinco cuencas.

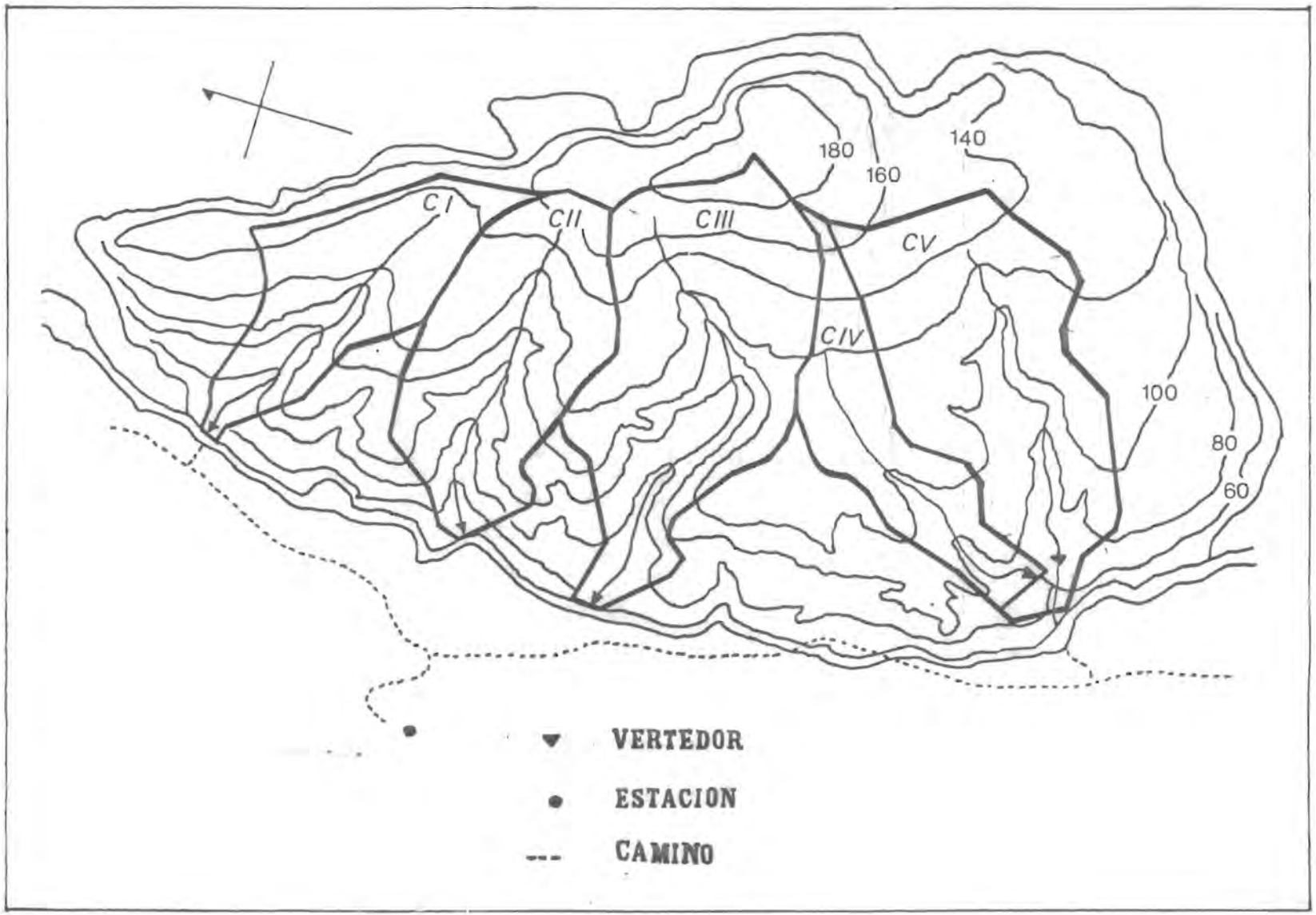


FIGURA 4. Localización de las cuencas hidrológicas.

**TABLA 1.** Características generales de las cuencas (datos tomados de Cervantes *et. al.*, op.cit.; coberturas obtenidas de un trabajo no publicado, realizado por A. Pérez en la misma zona de estudio).

Cuenca	Area m <sup>2</sup>	Cobertura vegetal %	Pendiente del cauce %	Longitud del cauce m	Velocidad media de escurrimiento Km h <sup>-1</sup>
1.	149102	184.30	15.50	475	0.32
2	192982	234.87	13.40	725	0.32
3	280383	355.50	8.90	900	0.18
4	118153	283.51	8.40	675	0.27
5	258041	229.96	8.00	725	0.16

## METODO.

El presente trabajo se basó en datos de precipitación y escorrentía, registrados en cinco cuencas hidrológicas durante el periodo 1983-1990. Para medir los escurrimientos de las cuencas, en cada una de ellas se instalaron vertedores triangulares modelo Flume 3H de sección controlada, con capacidad de un metro de tirante y descarga máxima de  $0.86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Las descargas en cada vertedor se midieron con limnigrafos S-F3-2, con capacidad de medición de tirantes máximos de un metro, en intervalos mínimos de 15 minutos. La lluvia se registró con un pluviógrafo tipo báscula localizado en la Estación de Biología, a 1.5 Km de las cuencas (ver Figura 4).

### I RELACION LLUVIA ESCURRIMIENTO.

Para caracterizar la relación lluvia-escorrimento se emplearon los registros correspondientes al periodo 1983-1990, en base a los cuales se obtuvieron los siguientes parámetros:

1.- Precipitación anual y por tormenta. Los datos de precipitación anual y por tormenta para la zona de estudio, se tomaron del trabajo de Galicia (en preparación).

2.-Hidrogramas de escurrimientos. Se obtuvieron de la siguiente manera:

a) Los limnigramas (gráficas del nivel de agua vs tiempo) se digitalizaron empleando el programa AU2 (1984) con el fin de

facilitar la obtención y almacenamiento de los datos. Este programa, diseñado para crear documentos cartográficos, se utilizó para guardar en archivos los limnigramas digitalizados, a partir de los cuales se crearon bases de datos conteniendo los registros del nivel de escurrimiento a lo largo del tiempo.

b) Los limnigramas digitalizados se transformaron en hidrogramas (gráfica de la descarga vs tiempo), sustituyendo el nivel del agua por un valor de descarga, obtenido a partir de una tabla proporcionada por los fabricantes de los vertedores. Para facilitar la conversión de nivel a descarga se desarrolló una ecuación de calibración, empleando el método de "Análisis de regresión lineal", descrito por Gupta (1989) (ver Apéndice I).

3.- Descarga máxima. La descarga máxima de cada avenida se obtuvo tomando el punto más elevado del hidrograma.

4.- Volumen y lámina de escurrimiento total. Las gráficas de los hidrogramas de escurrimiento se integraron para obtener el volumen y lámina de escurrimiento por evento; y a partir de estos datos, poder calcular el volumen y lámina total anual para cada cuenca. La integración de los hidrogramas se hizo utilizando un programa escrito en Lotus (1985) (ver Apéndice II).

5.- Porcentaje de lluvia escurrida. El porcentaje de lluvia escurrida por evento y anual se calculó de la siguiente forma:

$$\% \text{ de lluvia anual escurrida} = \frac{\text{Lámina de escurrimiento anual}}{\text{Precipitación anual}} \times 100$$

$$\% \text{ de lluvia escurrida por evento} = \frac{\text{Lámina escurrida por evento}}{\text{Precipitación por evento}} \times 100$$

#### 6.- Hidrograma, volumen y lámina de escurrimiento directo.

Para obtener estos parámetros se hizo la separación entre el flujo directo y el flujo base, empleando el método Logarítmico (Dominguez et. al., 1983), que a continuación se describe:

a) Tomando en cuenta únicamente el brazo descendente del hidrograma, se graficó el logaritmo de la descarga contra el tiempo, con el objeto de determinar el punto donde la gráfica cambia de pendiente; dicho punto marca la separación entre el flujo directo (cuyas descargas son grandes) y el flujo base (que presenta descargas bajas, ver Figura A2 en el Apéndice III).

b) A partir de este punto de inflexión se trazó una línea recta hasta el punto donde inicia el brazo ascendente del hidrograma, con lo cual se delimitaron dos áreas: una por debajo de la línea divisoria que corresponde al flujo base; y otra, arriba de dicha línea, correspondiente al flujo directo (ver Figura A3 en el Apéndice III).

El hidrograma de escurrimiento directo se obtuvo restando el flujo base a cada ordenada del hidrograma de escurrimiento total. Posteriormente se calculó el volumen de escurrimiento directo, multiplicando la suma de las ordenadas de dicho escurrimiento, por 900 seg (que es la duración del intervalo entre cada ordenada). La

lámina de escurrimiento directo se obtuvo al dividir el volumen entre el área de la cuenca.

7.- Coefficiente de escurrimiento. Se calculó con los siguientes datos:

a) Lluvia total durante un escurrimiento. Los datos de precipitación total se obtuvieron del trabajo de Galicia (en preparación).

b) Lluvia una hora antes de iniciado el escurrimiento. Se obtuvo sobreponiendo el hietograma y el hidrograma de un evento, con el objeto de determinar el momento en que comenzó a escurrir, y únicamente se tomó en cuenta la cantidad de lluvia registrada una hora antes de iniciado dicho escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento tiene dos variantes, una considera el total llovido durante todo el evento, y la otra, únicamente la lluvia una hora antes de iniciado el escurrimiento. Para calcular ambos coeficientes se dividió la lámina de escurrimiento directo entre la cantidad de lluvia, de la siguiente forma:

$$C = \frac{\text{Lámina de escurrimiento directo}}{\text{Lluvia total}}$$

$$C' = \frac{\text{Lámina de escurrimiento directo}}{\text{Lluvia 1 hr antes del escurrimiento}}$$

Para calcular los coeficientes de escurrimiento se eligieron los eventos cuyos registros no tuvieran fallas.

8.- Índice de infiltración y hietograma de precipitación efectiva. El índice de infiltración, para un escurrimiento dado, se obtuvo sobreponiendo el hidrograma con su hietograma (gráfica de la lluvia vs tiempo) correspondiente. Posteriormente, mediante ensayo y error, se determina el valor del índice de infiltración, de tal forma que al trazar en el hietograma una línea con una altura igual al índice, y obtener la precipitación por arriba de dicha línea, ésta sea igual a la lámina de escurrimiento directo. El hietograma de precipitación efectiva (es decir la lluvia no infiltrada que produce el flujo directo) corresponde a la precipitación por arriba de la línea (ver Figura A4 en el Apéndice III), y se obtiene restando el índice de infiltración a cada barra de precipitación del hietograma. Como se mencionó anteriormente, la suma de las ordenadas del hietograma de precipitación efectiva, debe ser igual a la lámina de escurrimiento directo. Para calcular el índice de infiltración se eligieron los eventos cuyos registros no tuvieran fallas.

En el Apéndice III se muestra un ejemplo de la forma en que se obtuvieron el hidrograma, volumen y la lámina de escurrimiento directo, los coeficientes de escurrimiento, el índice de infiltración y el hietograma de precipitación efectiva. Una descripción más amplia de los métodos empleados para calcular estos parámetros, se puede ver en Domínguez et. al. (op.cit.).

9.- Hidrograma unitario. Se construyeron los hidrogramas unitarios de las cinco cuencas, empleando los métodos "Tradicional"



e "Instantáneo", descritos por Domínguez et. al. (op.cit.). El primer método se usó en los casos en que una sola barra de precipitación efectiva producía el escurrimiento directo. El segundo método se empleó cuando el escurrimiento directo se originaba a partir de dos o más barras de precipitación efectiva.

Los hidrogramas unitarios de las cuencas se probaron, obteniendo los hidrogramas de escurrimiento directo de otras avenidas, utilizando dichos hidrogramas unitarios (ver Apéndice IV). Posteriormente estos hidrogramas "esperados" se compararon con los hidrogramas "observados", obtenidos al separar el flujo directo del flujo base, mediante el método Logarítmico. En el Apéndice IV se da un ejemplo de los métodos "Tradicional" e "Instantáneo" y de la forma en que se obtuvieron los hidrogramas esperados. Finalmente, se estimó la precisión de los hidrogramas unitarios, obteniendo los errores en los hidrogramas esperados, utilizando el método descrito en el Apéndice XIII.

10.- Índice de Precipitación Antecedente (IPA). Se calculó en base a la siguiente fórmula (Wilson, 1983):

$$IPA_{t+1} = K IPA_t + P_t$$

donde:

$IPA_t$  Valor del Índice al tiempo t

$IPA_{t+1}$  Valor del Índice al tiempo t+1

K Constante de recesión con un valor de 0.85

$P_t$  Precipitación en el día t

En el Apéndice V se muestra un ejemplo de cómo se calculó este índice.

11.- Intensidad de la lluvia.- Se obtuvo la intensidad de todas las tormentas que registraron escurrimiento, dividiendo la lámina de precipitación entre la duración de la tormenta.

12.- Ecuación Lluvia-Escorrimento. Con los datos de lámina de escurrimiento, precipitación, índice de precipitación antecedente e intensidad de lluvia, se realizó una regresión múltiple por pasos, usando el programa estadístico SPSSPC (1988) con el objeto de encontrar la ecuación que describiera la relación lluvia-escurrimiento. Se buscaron dos tipos de ecuaciones, una empleando todos los datos de escurrimiento registrados en las cinco cuencas, y otra, utilizando el promedio de las cinco cuencas para cada evento.

## II CALIBRACION.

Las cuencas se calibraron empleando los datos de escorrentia por evento, escorrentia anual y descarga máxima por evento para el periodo 1983-1990. Debido a que la cuenca I se tomó como control, las calibraciones se hicieron con respecto a esta cuenca. Los datos correspondientes al periodo 1983-1986 se tomaron del trabajo realizado por Cervantes et. al. (op.cit.).

En general el procedimiento de calibración fue el siguiente:

1.- Tomando a la cuenca I como patrón, se hicieron regresiones lineales entre los datos de escorrentia por evento de la cuenca I y los datos de escorrentia de cada una de las otras cuatro cuencas.

2.- El procedimiento anterior se repitió con los datos de descarga máxima.

3.- Se hicieron regresiones lineales entre la escorrentia por evento de cada cuenca y el promedio de las otras cuatro cuencas, con el objeto de calcular mediante dichas ecuaciones, los datos faltantes. Con las series de datos completas se obtuvieron las escorrentias anuales.

4.- Se hicieron regresiones lineales entre la escorrentia anual de la cuenca I y la escorrentia anual de las otras cuencas.

En esta forma se obtuvieron: a) ecuaciones de regresión entre el escurrimiento anual de la cuenca I y el escurrimiento anual de cada una de las otras cuatro cuencas; b) ecuaciones de regresión entre la escorrentia por evento de la cuenca I y la escorrentia

por evento de cada una de las otras cuencas; c) ecuaciones de regresión entre la descarga máxima de la cuenca I y la descarga máxima de cada una de las otras; y d) ecuaciones de regresión entre la esorrentía por evento de una cuenca, y el promedio de las cuatro cuencas restantes.

### III ANALISIS ESTADISTICO.

1.- Se hicieron análisis de residuales de cada una de las regresiones obtenidas, con el objeto de evaluar si en dichas regresiones hay fallas de ajuste.

2.- Se realizaron pruebas Kolmogorov-Smirnov (Daniel, op.cit.) para comprobar la normalidad de los datos de escorrentia de cada una de las cuencas. Puesto que las pruebas mostraron que los datos no tienen una distribución normal, se decidió probar un modelo de distribución Gamma (ver Apéndice XII), utilizando el programa estadístico Gamma (Valiente, 1990).

3.- Se hicieron análisis de Kruskal-Wallis (Daniel, 1985), para determinar si existen diferencias significativas, entre cuencas y entre años, en el volumen anual, lámina de escurrimiento anual y porcentaje de lluvia anual escurrida.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### I. Ecuación de calibración nivel-descarga.

Al graficar el logaritmo de la descarga contra el logaritmo del nivel, se observó un cambio en la pendiente que hizo necesario romper la curva y obtener dos ecuaciones de calibración: una para niveles menores o iguales a 0.6 pies, y otra para valores mayores a dicho nivel.

Ecuación obtenida para niveles iguales o menores a 0.6 pies:

$$\hat{Q} = 2.1946 (H + 0.0071)^{1.8845} \quad ; \text{ con } R = 0.999 \text{ (} p < 0.001 \text{)}$$

Ecuación para niveles mayores a 0.6 pies:

$$\hat{Q} = 1.8059 (H + 0.1519)^{2.4615} \quad ; \text{ con } R = 0.999 \text{ (} p < 0.001 \text{)}$$

donde:

$\hat{Q}$  Descarga esperada (pies cúbicos por segundo)

H Nivel de escurrimiento (pies)

R Coeficiente de correlación

p Probabilidad de cometer un error tipo I al rechazar la hipótesis nula<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> El error tipo I es aquél que se comete al rechazar una hipótesis nula verdadera (Sokal & Rohlf, 1981). La hipótesis nula, en el caso de una regresión, establece que la pendiente es igual a cero, es decir, que no existe correlación entre las variables.

## II. Análisis de los parámetros de escurrimiento entre cuencas.

Los Apéndices VIa y VIb muestran el volumen y lámina de escurrimiento y porcentaje de lluvia escurrida, para cada evento registrado durante el periodo de estudio. En el Apéndice VII se puede ver el volumen y lámina de escurrimiento anual y el porcentaje de lluvia anual escurrida, para cada año de estudio.

En la Tabla 2 se presentan los promedios del volumen anual, lámina anual y porcentaje de lluvia anual escurrida, para cada una de las cuencas. El análisis de varianza de Kruskal-Wallis, mostró que no existen diferencias significativas en el volumen anual promedio, entre cuencas ( $p = 0.428$ ). A pesar de esto, existe una tendencia a aumentar el volumen anual conforme mayor es el area de la cuenca. La regresión lineal entre el área de la cuenca (ver Tabla 1) y el volumen anual escurrido promedio para cada cuenca (ver Tabla 2), mostró una correlación directa entre dichas variables. La ecuación obtenida fue:

$$V = -915.03 + (364.621)A ; \text{ con } R = 0.968 \text{ (} p = 0.007 \text{)}$$

donde:

V Volumen ( $m^3$ )

A Area (ha)

Esta correlación resulta lógica, ya que entre mayor es el área de una cuenca, más precipitación capta y por lo tanto mayor volumen de escurrimiento produce. La Figura 5 muestra la relación entre el área de las cuencas y el volumen anual escurrido; en dicha gráfica

**TABLA 2.** Promedio por cuenca del volumen y lámina de escurrimiento anuales y el porcentaje de lluvia anual escurrida (D.E.= Desviación Estándar).

CUENCA		VOLUMEN m <sup>3</sup>	LAMINA mm	LLUVIA ESCURRIDA %
1	MEDIA	4520.173	30.316	3.908
	D.E.	6030.683	40.447	4.638
2	MEDIA	6572.700	34.059	4.412
	D.E.	9573.974	49.611	5.752
3	MEDIA	8437.435	30.093	3.938
	D.E.	11617.943	41.436	4.806
4	MEDIA	3045.198	25.773	3.339
	D.E.	4193.491	35.492	4.136
5	MEDIA	9262.591	35.896	4.620
	D.E.	13003.790	50.394	5.805
	MEDIA	6367.619	31.227	4.044
	D.E.	2605.696	3.927	0.499



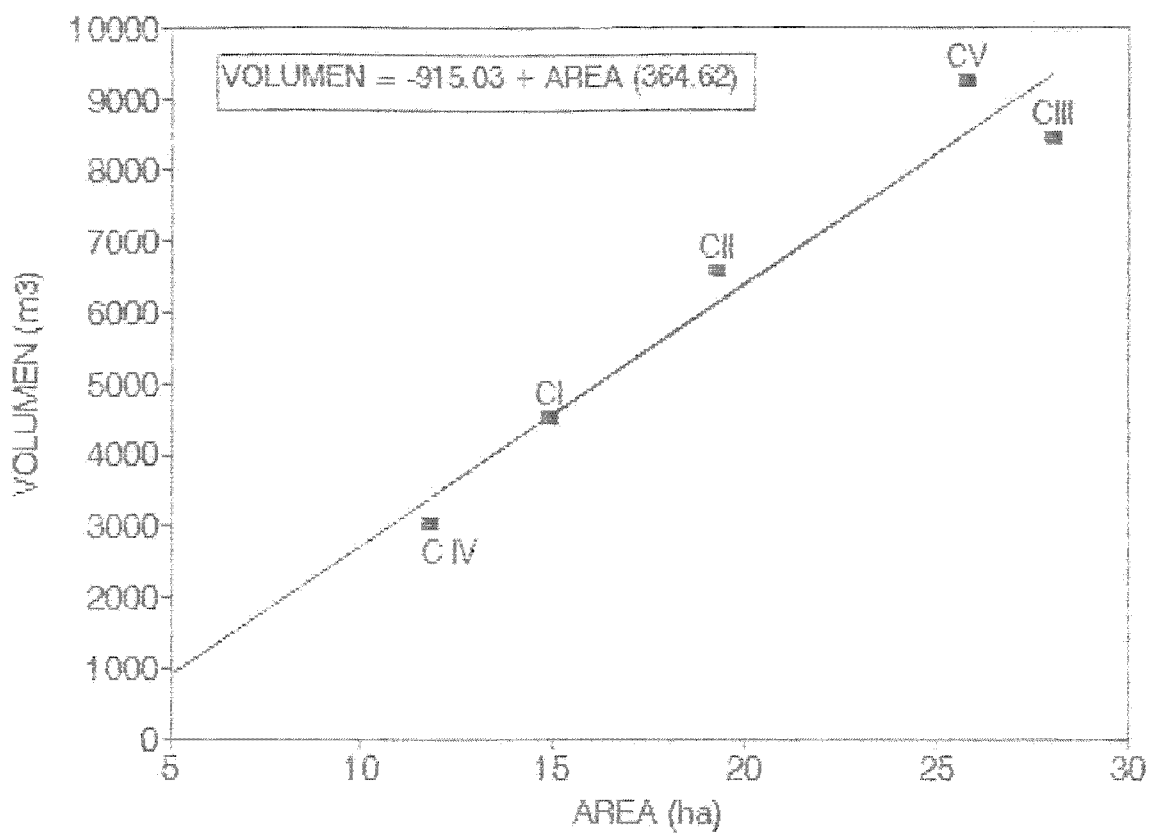


FIGURA 5. Relación entre el área de la cuenca y el volumen promedio anual.

se puede observar que la cuenca III no sigue el mismo patrón que las demás cuencas. Esta cuenca, a pesar de tener mayor área que la cuenca V, escurrió en promedio un volumen anual menor; este resultado posiblemente se deba al hecho de que la cuenca III tiene la mayor cobertura de las cinco cuencas (ver Tabla 1); lo cual, en términos del balance hidrológico, representa mayores pérdidas por intercepción, además de una mayor transpiración (Harrold *et. al.*, *op.cit.*). Otra posibilidad es la existencia de una mayor cantidad de grietas en la roca basal de esta cuenca, a través de las cuáles percolaría el agua, produciéndose una menor esorrentía; sin embargo no se tienen datos de dichas pérdidas, para probar esta hipótesis.

En cuanto a la lámina anual escurrida y el porcentaje de lluvia anual escurrida (ver Tabla 2), el análisis de Kruskal Wallis, mostró que no existen diferencias significativas entre cuencas, para dichos parámetros ( $p = 0.951$  y  $0.954$ , respectivamente), como se puede ver en la Figura 6. Este resultado indica que las respuestas hidrológicas de las cuencas son muy similares, a pesar de las diferencias en área, cobertura, pendiente, etc.

Los valores promedio de lámina anual escurrida y porcentaje de lluvia anual escurrida (31 mm y 4.04 %, respectivamente), son de los más bajos encontrados tanto en zonas tropicales como en templadas (Tabla 3); estos valores son el resultado, por una parte, de la escasa precipitación que se registra en la región, y por otra, de las características hidrológicas de las cuencas

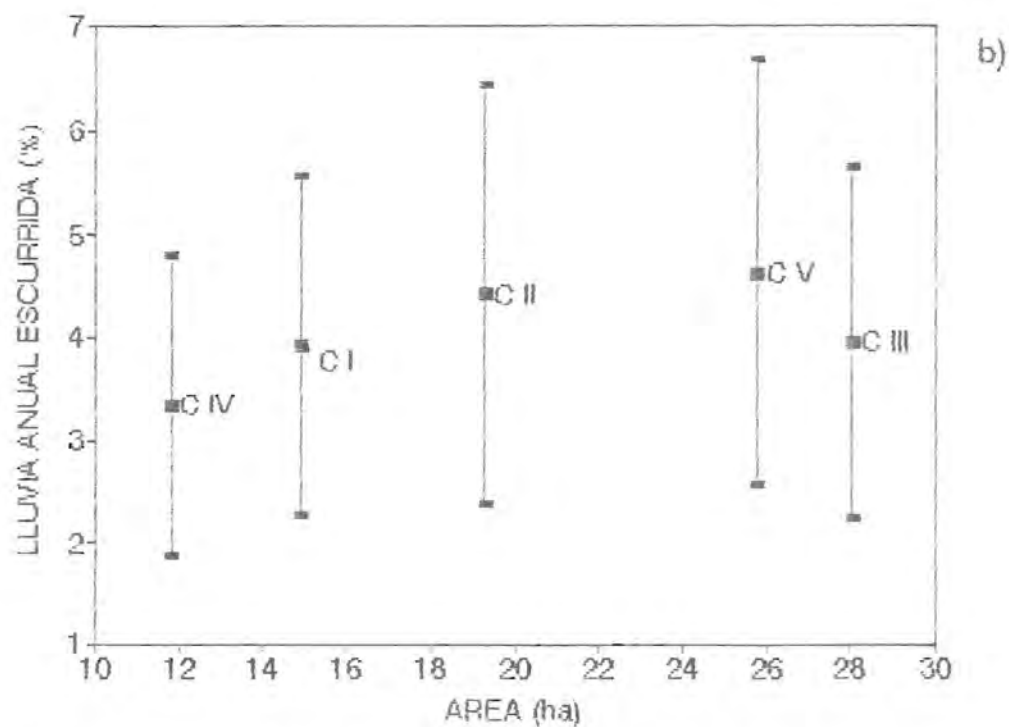
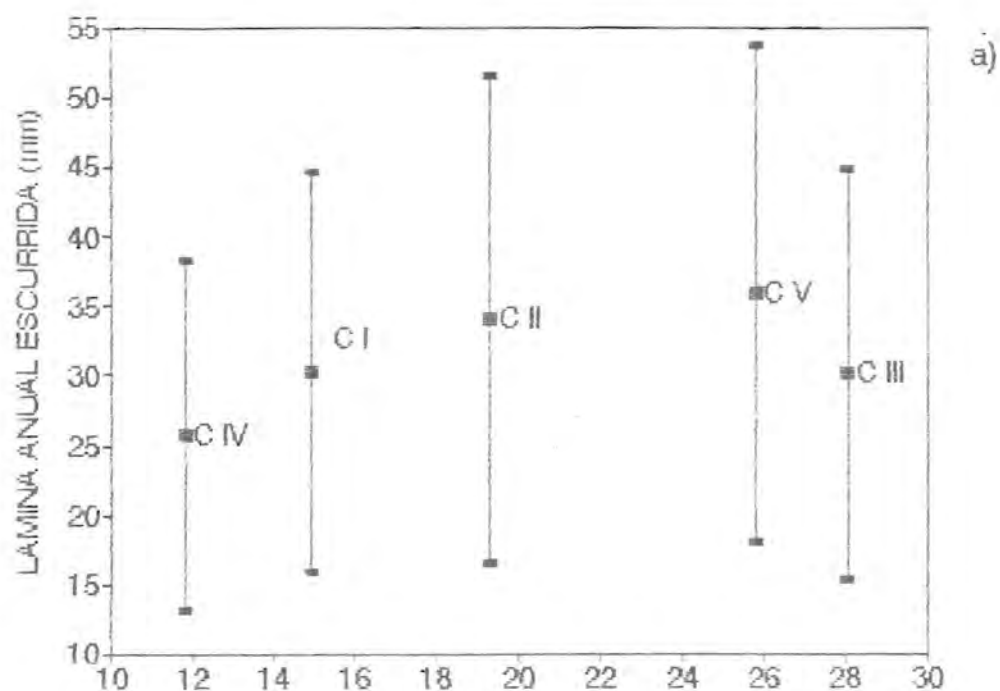


FIGURA 6. Comparación de los parámetros de escurrimiento anual entre las cuencas. a) Valores promedio de la lámina de escurrimiento anual  $\pm$  Error Estándar. b) Valores promedio del porcentaje de lluvia anual escurrida  $\pm$  Error Estándar.

**TABLA 3.** Precipitación anual (P), lámina de escurrimiento anual (E) y porcentaje de lluvia anual escurrida (PE), en diferentes localidades del mundo.

Localidad	P (mm)	E (mm)	PE %
<b>Zona Tropical</b>			
Chamela, México (este trabajo)	679	31	4.04
Ulu Gombak, Malasia *	2500	750	30.00
La Selva, Costa Rica *	3675	1250	34.01
Darien, Panamá *	1935	855	44.19
Adiopodoumé, Costa de Marfil *	2130	1000	46.95
Pi-Lu-Chi, Taiwan *	2420	1250	51.65
San Carlos, Venezuela *	3565	1860	52.17
Jari, Brasil *	2300	1225	53.26
Tai Lam Chung, Hong Kong *	1900	1235	65.00
Watubelah, Indonesia *	4670	3590	76.87
<b>Zona Templada y Fría</b>			
Columbia Británica, Canadá +	600	140	23.33
Suecia central (Rosen 1984)	732	180	24.59
Alberta, E.U.A +	513	147	28.65
Colorado, E.U.A +	536	157	29.29
Alberta, E.U.A +	840	310	36.90
Colorado, E.U.A +	762	283	37.14
Virginia, E.U.A. (Patric & Reinhart 1971)	1445	599	41.48
Columbia Británica, Canadá +	750	350	46.66

\* Tomado de Bruijnzeel op. cit.

+ Tomado de Cheng, 1989.

(gran intercepción por parte de la vegetación, elevada evapotranspiración, altos índices de infiltración, etc.), como se discutirá posteriormente.

El Apéndice VIII muestra el índice de infiltración y los coeficientes de escurrimiento para diferentes tormentas. En la Tabla 4 se presentan los promedios del índice de infiltración y de los coeficientes de escurrimiento para cada una de las cuencas. El análisis de Kruskal Wallis mostró que no hay diferencias significativas entre cuencas, para dichos parámetros ( $p = 0.636$  para el índice de infiltración;  $p = 0.188$  para el coeficiente C; y  $p = 0.570$  para el coeficiente C'). Estos resultados coinciden con los obtenidos para el volumen anual, lámina anual y porcentaje de lluvia anual escurrida, y confirman la semejanza entre las cuencas.

A pesar de que no existen diferencias significativas entre cuencas, es posible notar que la cuenca III presenta los coeficientes de escurrimiento más bajos (ver Tabla 4); lo cual concuerda con la mayor cobertura encontrada para esta cuenca, como se discutió anteriormente.

En la Tabla 4 se pueden ver los promedios del índice de infiltración y los coeficientes de escurrimiento, para la zona de estudio. El índice de infiltración promedio fue de 12.57 mm/15 min; un valor alto si se compara con los obtenidos en zonas perturbadas. Por ejemplo, Fleming (op.cit.) encontró en un pastizal un índice de 1 a 4.25 mm/15 min; Domínguez y colaboradores (1976, citado en Cervantes et. al., op.cit.) encontraron, en cuencas urbanizadas en

TABLA 4. Promedio para cada cuenca, del índice de infiltración, coeficiente de escurrimiento calculado con la precipitación total, y del coeficiente de escurrimiento calculado con la precipitación una hora antes de iniciado el escurrimiento ( $\theta$ , C y C', respectivamente).

CUENCA	$\theta$ mm/15 min	C %	C' %
1	11.61	1.43	4.02
2	13.88	0.76	3.79
3	12.87	0.71	3.06
4	13.07	0.99	3.15
5	11.42	1.49	4.97
MEDIA	12.57	1.08	3.79
D.E.	1.04	0.37	0.77

el Distrito Federal, índices de infiltración entre 0.75 y 6.0 mm/15 min.

El coeficiente de escurrimiento  $C$  promedio para la zona fue de 1.08 % (Tabla 4). Este valor es pequeño, conforme a los reportados para sitios no perturbados (Tabla 5), y es congruente con el elevado índice de infiltración obtenido. El coeficiente de escurrimiento  $C'$  promedio fue de 3.79 % (Tabla 4), muy similar al valor de 4.66 % , reportado para la misma zona, por Cervantes et. al. (op.cit.).

Los valores bajos para la lámina anual escurrida, el porcentaje de lluvia anual escurrida y los coeficientes de escurrimiento, son consecuencia de la elevada capacidad de infiltración en la zona, la cual a su vez está determinada, según Cervantes et. al. (op.cit.), por los siguientes factores: la textura arenosa del suelo, la elevada intercepción por parte de la vegetación (30.19 % de la lluvia mensual, en promedio según Cervantes, op.cit.), la gran evapotranspiración en la zona (aproximadamente 90%, de acuerdo con Barradas y Fanjul, 1985), y la intercepción por parte de la hojarasca.

**TABLA 5.** Coeficientes de escurrimiento (C) en diferentes sitios. + Datos tomados de Maass (1985), citado en Cervantes et. al. (op.cit.); \* datos tomados de Franco (1981).

Tipo de Cobertura	C (%)	Localidad
Selva	0.10	Abdijan, Costa de Marfil+
Selva	0.90	Bouke, Senegal+
Selva	1.08	Chamela, México
Selva	2.50	Ouagadougou, Alto Volta+
Pastizal	1.40	Tengeru, Tanzania+
Pastizal	3.00	Rodesia+
Pastizal	5.30	Nigeria+
Pastizal	7.00	Pretoria, Africa del Sur+
Maizal	3.40	Tengeru, Tanzania+
Maizal	14.60	Ibadan, Nigeria+
Maizal	23.00	Rodesia+
Maizal	30.90	Sefa, Senegal+
Zona urbana	23.40	D.F., México*
Zona urbana	39.70	D.F., México*
Zona urbana	44.70	D.F., México*
Zona urbana	64.10	D.F., México*



### III. Análisis de los parámetros de escurrimiento entre años.

La Tabla 6 muestra los promedios para cada año del volumen anual, lámina anual y el porcentaje de lluvia anual escurrida. El análisis de Kruskal Wallis indicó que existen diferencias significativas entre años para los tres parámetros ( $p < 0.001$  en todos los casos). Estas diferencias se deben a la gran variabilidad de los patrones de lluvia de la zona (García-Oliva *et. al.*, 1991), los cuales determinan a su vez, una gran variabilidad en los escurrimientos.

Los análisis de regresión mostraron que no hay una correlación lineal entre la precipitación anual y los valores de volumen anual, lámina anual y porcentaje de lluvia anual escurrida ( $R = 0.494$  con  $p = 0.214$ ,  $R = 0.497$  con  $p = 0.211$  y  $R = 0.447$  con  $p = 0.266$ , respectivamente). Algunas de las causas de la no linealidad entre precipitación y escorrentía, pueden encontrarse a partir del análisis de los años 1985 y 1988, ya que dichos años representan los extremos de la respuesta hidrológica de las cuencas, y ejemplifican muy bien la gran variabilidad entre años.

El año de 1985 se caracterizó por la ausencia de escurrimientos en las cinco cuencas. Cervantes y colaboradores (*op.cit.*) atribuyen este fenómeno, al hecho de que la lluvia anual fue la más baja del periodo de estudio, mucho menor a la media<sup>2</sup>,

---

<sup>2</sup> La media que se menciona en el trabajo de Cervantes *et al* corresponde a cuatro años (1983-86), en la tabla 5 se puede ver que la lluvia anual de 1985 sigue siendo menor a la media de los ocho años (1983-90) que abarca el presente trabajo.

TABLA 6. Promedios anuales del volumen y lámina de escurrimiento y el porcentaje de lluvia anual escurrida (D.E. = Desviación Estándar).

AÑO	VOLUMEN m <sup>3</sup>	LAMINA mm	LLUVIA ESCURRIDA %	LLUVIA mm
1983	1806.962	8.803	1.066	826.000
1984	4384.549	21.937	2.676	819.600
1985	0.000	0.000	0.000	373.300
1986	1667.303	7.804	1.452	537.300
1987	5118.182	24.983	4.429	564.100
1988	27644.458	135.255	15.896	850.900
1989	6795.815	33.568	3.744	896.500
1990	3523.685	17.469	3.091	565.200
MEDIA	6367.619	31.227	4.044	679.113
D.E.	8863.311	43.373	5.006	191.951

humedad en las cuencas (muy relacionado con el primer punto), y la precipitación en cada evento, que pueden explicar mejor la escorrentía anual.

#### IV. Ecuación Lluvia-Escurrimiento.

Las variables que tuvieron el mejor ajuste, según el análisis de regresión por pasos, fueron: el logaritmo de la lámina de escurrimiento, como variable dependiente, y los valores de precipitación e índice de precipitación antecedente (IPA), como variables independientes.

La ecuación de regresión obtenida, utilizando todos los escurrimientos de las cinco cuencas, fue la siguiente:

$$\text{LogE} = - 0.3245 + 0.0058 \text{ IPA} + 0.0070 \text{ P}$$

$$\text{con } R = 0.815 \text{ (p} < 0.001)$$

Cuando se utilizó el escurrimiento promedio de las cinco cuencas (ver Apéndice X), la ecuación resultante fue:

$$\text{LogE} = - 0.2758 + 0.0056 \text{ IPA} + 0.0069 \text{ P}$$

$$\text{con } R = 0.837 \text{ (p} < 0.001) \text{ ; donde:}$$

LogE      Logaritmo de la lámina de escurrimiento.

IPA        Índice de precipitación antecedente  
            para el escurrimiento.

P            Precipitación registrada durante el  
            escurrimiento.

Las variables precipitación e IPA explicaron, respectivamente, el 49.24 y 17.26 % de la varianza total, en el caso de la ecuación obtenida utilizando todos los escurrimientos de las cinco cuencas; y el 57.28 y 12.72 % en el caso de la ecuación obtenida al utilizar

el promedio. Como se puede ver la precipitación es el principal factor que determina la escorrentía.

El análisis de residuales para ambas ecuaciones, mostró que existe un rango, para el logaritmo de la escorrentía, entre 0 y 0.7, en donde el error tiende a aumentar conforme mayor es el valor del logaritmo; esta tendencia en los residuales indica que el modelo de regresión no ajusta para los datos dentro de dicho rango (Montgomery, 1984).

El índice de precipitación antecedente, como un parámetro que refleja las condiciones de humedad del suelo (Aparicio, 1989), resultó ser un factor importante en el proceso de escorrentía, a pesar de explicar sólo una pequeña parte de la varianza total. Como ejemplo se puede citar el escurrimiento del 27 de mayo de 1983 (ver Apéndice X), en el cual escurrió una lámina promedio para las cuencas de 1.26 mm, no obstante haberse registrado una abundante precipitación (177.00 mm), con una intensidad relativamente alta (6.32 mm/15 min). La escasa lámina de escurrimiento se debió, en gran parte, a que fue la primera lluvia del año, por lo cual el suelo tenía su mínimo contenido de humedad, como lo muestra el valor de cero para IPA.

Otro ejemplo, que muestra el peso que tuvo el IPA sobre la escorrentía, es el evento del 5 de septiembre de 1988 (Apéndice X), dicho evento tuvo un escurrimiento promedio para las cuencas de 99.80 mm, registrándose una precipitación de 204.00 mm, con intensidad de 4.07 mm/15 min. Si se compara este escurrimiento, con el registrado el 1 de octubre de 1989 (Apéndice X) (el cual

tuvo un escurrimiento de sólo 23.52 mm, y una lluvia de 201.20 mm, con 9.94 mm/15 min de intensidad), se puede ver que las precipitaciones de ambos eventos son muy similares, siendo, incluso, la intensidad de la lluvia mayor para el evento del 1 de octubre. El factor que marcó la diferencia entre un escurrimiento pequeño (como el del 1 octubre de 1989) y un gran escurrimiento (el del 5 de septiembre de 1988), fueron las condiciones de humedad del suelo, representadas por la variable IPA; para el primero el índice tuvo un valor de sólo 29.55 mm, en comparación a los 100.24 mm del segundo. El valor elevado de este último, fue el resultado de una concentración de las lluvias durante ese mes.

Analizando los datos se encontró que existen eventos que salen del patrón general; por ejemplo, el escurrimiento del 5 de septiembre de 1988, antes mencionado; al comparar este escurrimiento con el del 18 de agosto de 1988 (que registró una lámina de escurrimiento de 27.18 mm, con precipitación de 185.70 mm, 3.74 mm/15 min de intensidad de lluvia y un IPA de 108.58 mm), se puede ver que las diferencias en los valores de precipitación, intensidad e IPA, son tan pequeñas que no podrían explicar la gran diferencia en esorrentía entre ambos eventos. La gran respuesta hidrológica de las cuencas, durante el 5 de septiembre de 1988, se debe, posiblemente, a que el suelo estaba saturado de agua (como lo indica el valor elevado de IPA), por lo cual su capacidad de infiltración era muy baja, de tal forma que la mayoría de la precipitación escurriríó, originando una gran descarga. Esto parece indicar la existencia de un "umbral" (probablemente la capacidad de

campo) a partir del cual, las cuencas tienen una relación lluvia-escorrimento diferente; dicho umbral debe presentarse, según los datos obtenidos, cuando los valores de precipitación e IPA están alrededor de los 200 y 100 mm, respectivamente. Considerando las variaciones en la respuesta hidrológica de las cuencas, sería necesario obtener una ecuación lluvia-escorrimento para valores arriba del umbral, y otra ecuación para valores situados por debajo de dicho umbral; sin embargo esto no fue posible, debido a que se tenían muy pocos datos. Osborne & Lane (1969) llegaron a una conclusión similar trabajando en cuencas hidrológicas en el desierto de Arizona; estos autores obtuvieron dos tipos de ecuaciones para describir la esorrentía: una correspondiente a eventos comunes, de alta frecuencia, y otra para eventos de gran descarga, cuyas frecuencias son muy bajas.



## V. Hidrogramas unitarios.

En la Figura 7 se hace una comparación entre los hidrogramas unitarios de las cuencas (las coordenadas de los hidrogramas unitarios se muestran en el Apéndice IX), en dicha gráfica se puede ver la similitud, tanto en la forma general de los hidrogramas, como en los parámetros de Tiempo total del escurrimiento y Tiempo del pico. Por otro lado, se observaron diferencias en la descarga máxima y en la suma de las ordenadas del hidrograma; para estos parámetros se encontró una correlación lineal con el área de la cuenca ( $R = 0.943$  con  $p = 0.016$ , para la descarga máxima, y  $R = 0.999$  con  $p < 0.001$ , en el caso de la suma de ordenadas), lo cual refleja la mayor captación de precipitación, a medida que el área es mayor.

En las Figuras 8-12 se comparan los hidrogramas "observados" para algunos escurrimientos, con los "esperados", obtenidos a partir de los hidrogramas unitarios. Como se puede ver en las gráficas, la predicción de la forma de los hidrogramas fue acertada. En el Apéndice XIII se muestran los errores calculados para los hidrogramas esperados. El porcentaje de error para cada ordenada del hidrograma esperado, muestra que, en el caso de las cuencas I y II, el error está distribuido en varias ordenadas; en cambio, para las cuencas III, IV y V, el mayor porcentaje de error se concentra en sólo uno o dos puntos.

En cuanto a la descarga máxima, los valores esperados fueron en general apropiados, ya que se tuvieron errores entre 5-17 %



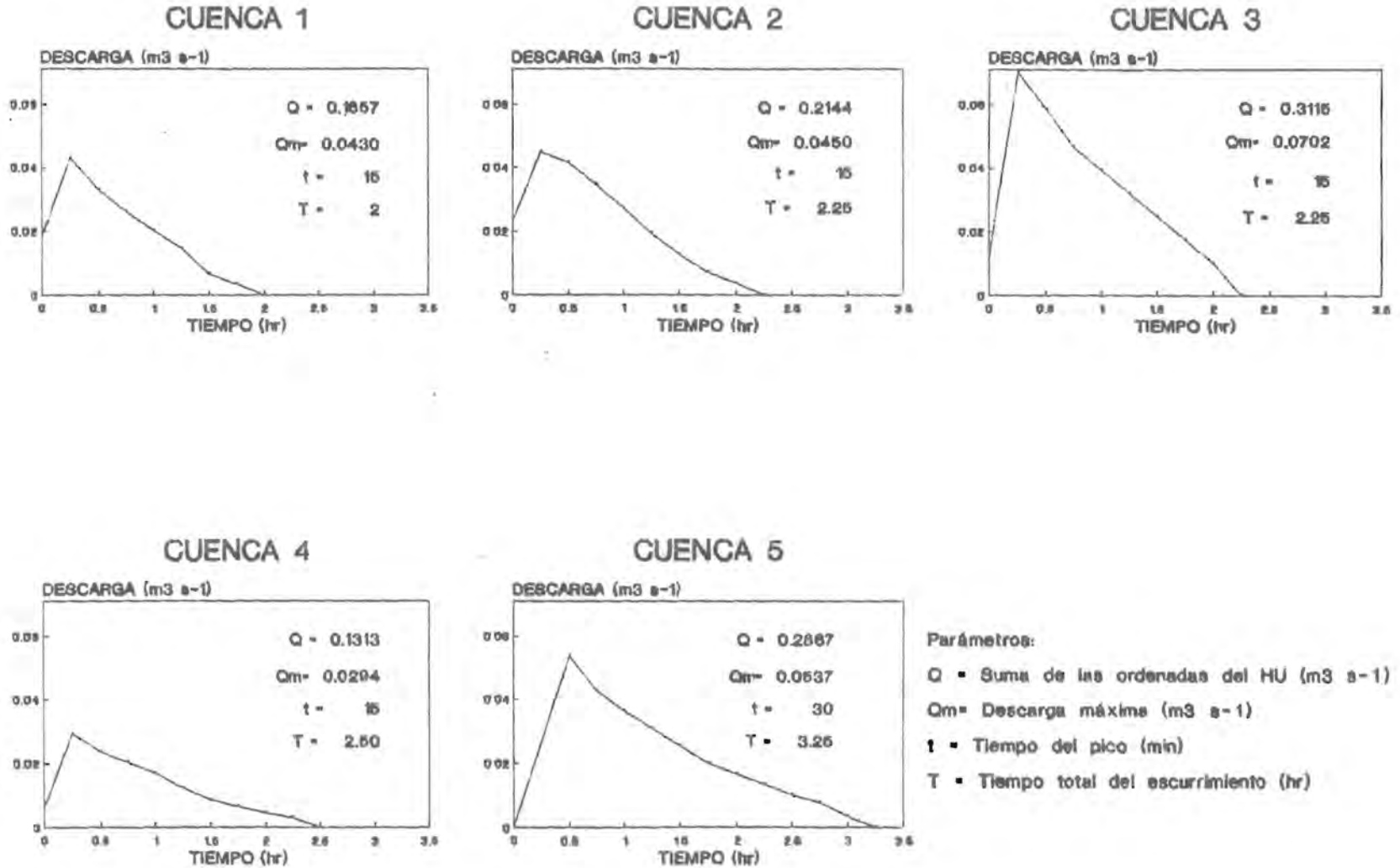


FIGURA 7. Hidrogramas unitarios de las cuencas.

para cuatro cuencas (I,II,IV y V); con excepción de la la cuenca III, en la cual el error fue del 53.89 % (ver Apéndice XIII); en este caso, la gran diferencia entre el valor observado y el esperado, se atribuye a una falla de registro en el hidrograma observado, más que a una deficiente predicción por parte del hidrograma unitario; esta suposición se basa en el hecho de que el hidrograma observado presenta una forma convexa (ver Figura 10), muy diferente a la forma general de un hidrograma de escurrimiento directo. Es necesario considerar además, que la falta de datos de precipitación por cuenca no permitió una predicción más acertada de los hidrogramas<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Originalmente se había pensado utilizar el método de Polígonos de Thiessen (Harrold et al 1982), para tener una estimación de la lluvia en cada cuenca; sin embargo por fallas de registro en los pluviógrafos localizados en las cuencas, esto no fue posible, y únicamente se utilizaron los datos del puviógrafo de la estación.

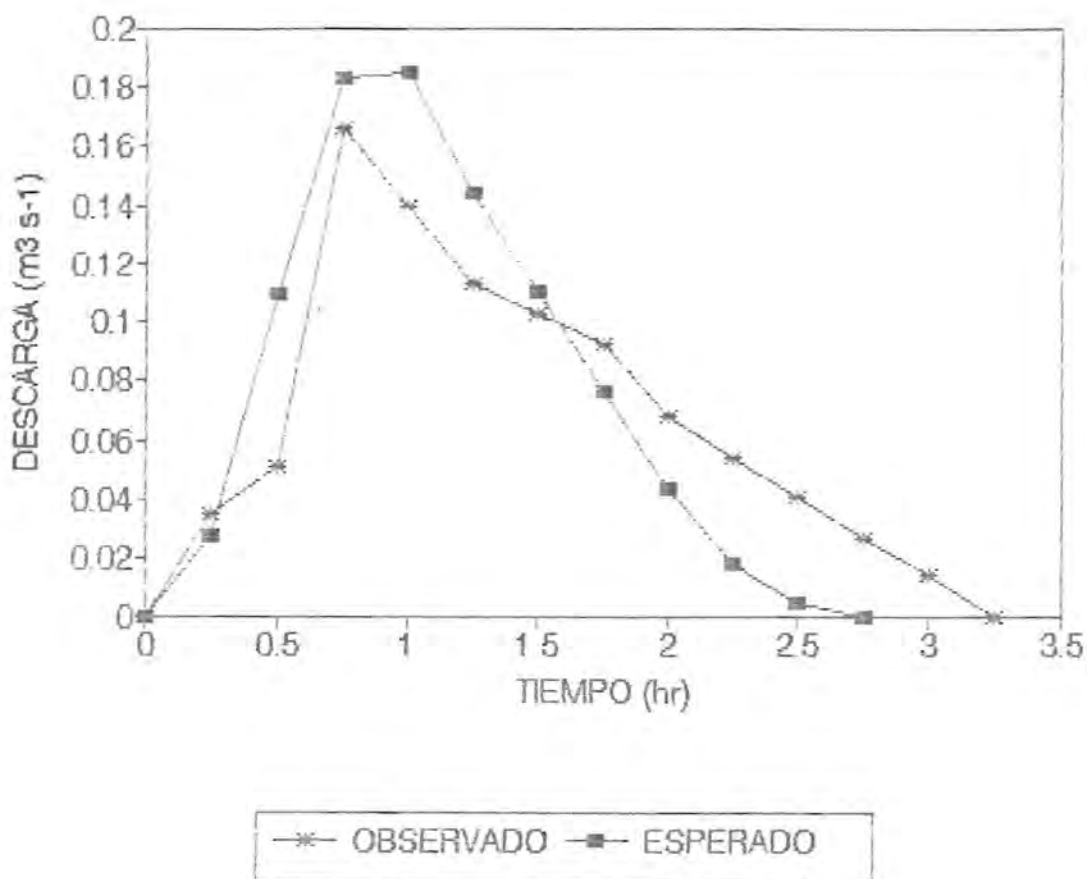


FIGURA 8. La gráfica muestra el hidrograma de escurrimiento directo registrado en la cuenca I durante la tormenta del 25 julio de 1987. El hidrograma "observado" en dicho escurrimiento se compara con el "esperado", obtenido apartir del hidrograma unitario.

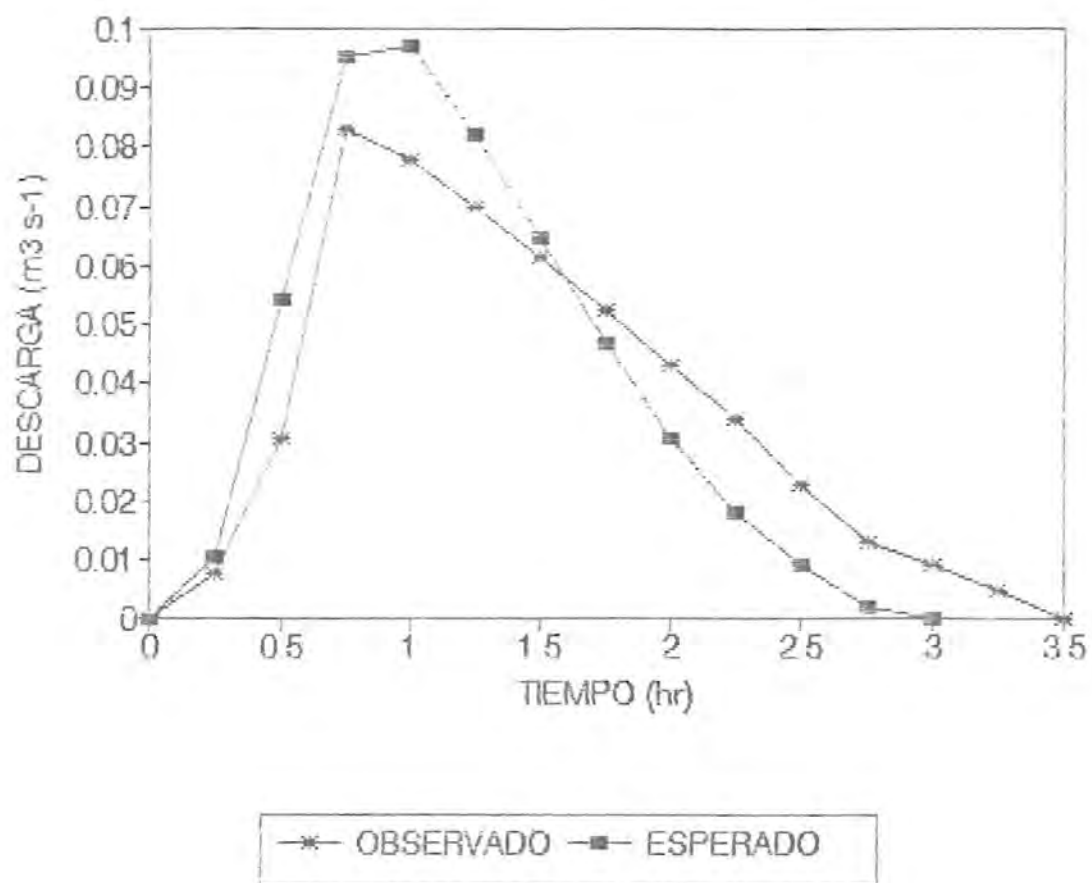


FIGURA 9. La gráfica muestra el hidrograma de escurrimiento directo registrado en la cuenca II durante la tormenta del 25 julio de 1987. El hidrograma "observado" en dicho escurrimiento se compara con el "esperado", obtenido apartir del hidrograma unitario.

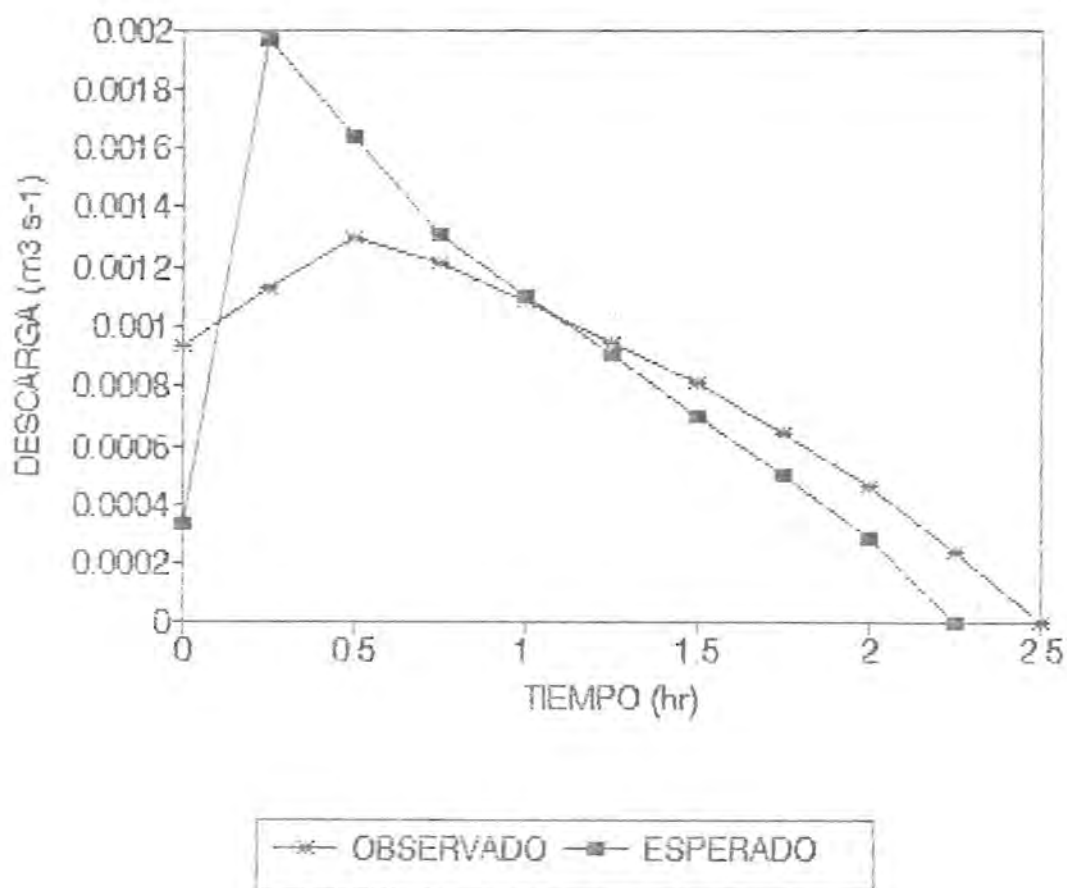


FIGURA 10. La gráfica muestra el hidrograma de escurrimiento directo registrado en la cuenca III durante la tormenta del 26 septiembre de 1987. El hidrograma "observado" en dicho escurrimiento se compara con el "esperado", obtenido apartir del hidrograma unitario.

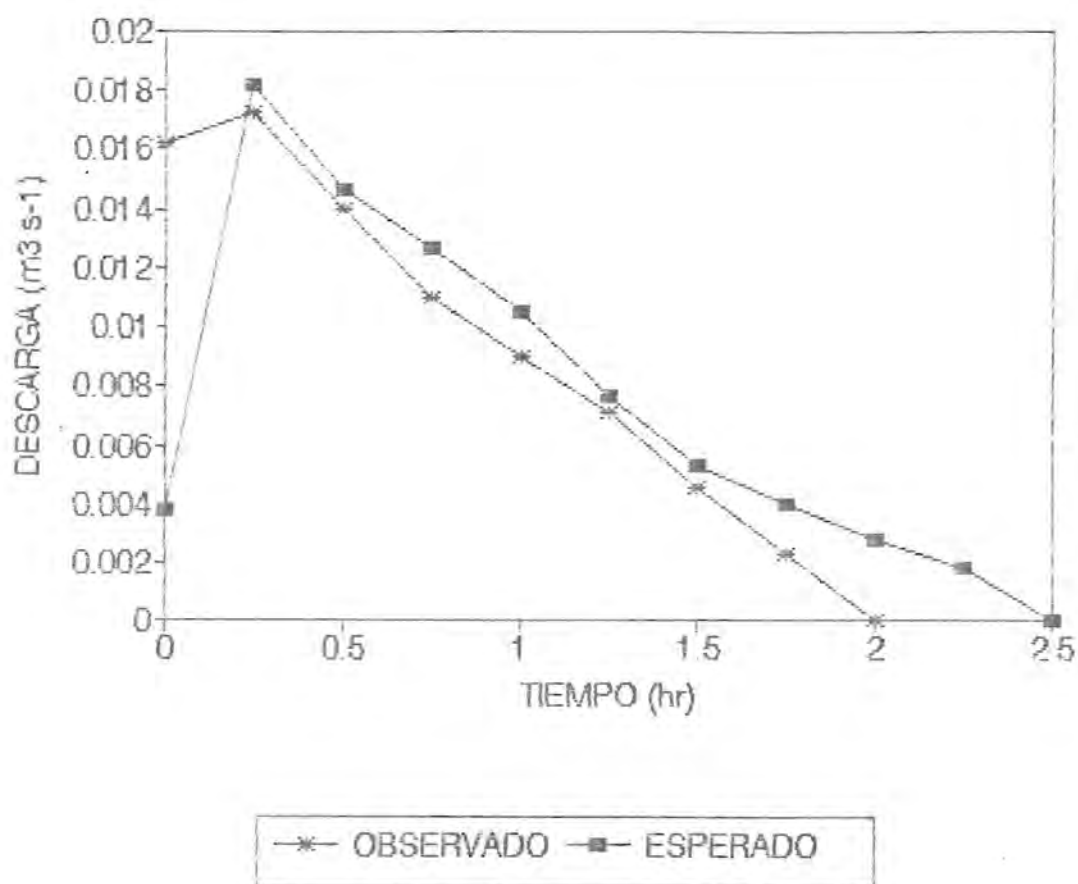


FIGURA 11. La gráfica muestra el hidrograma de escurrimiento directo registrado en la cuenca IV durante la tormenta del 21 junio de 1990. El hidrograma "observado" en dicho escurrimiento se compara con el "esperado", obtenido apartir del hidrograma unitario.

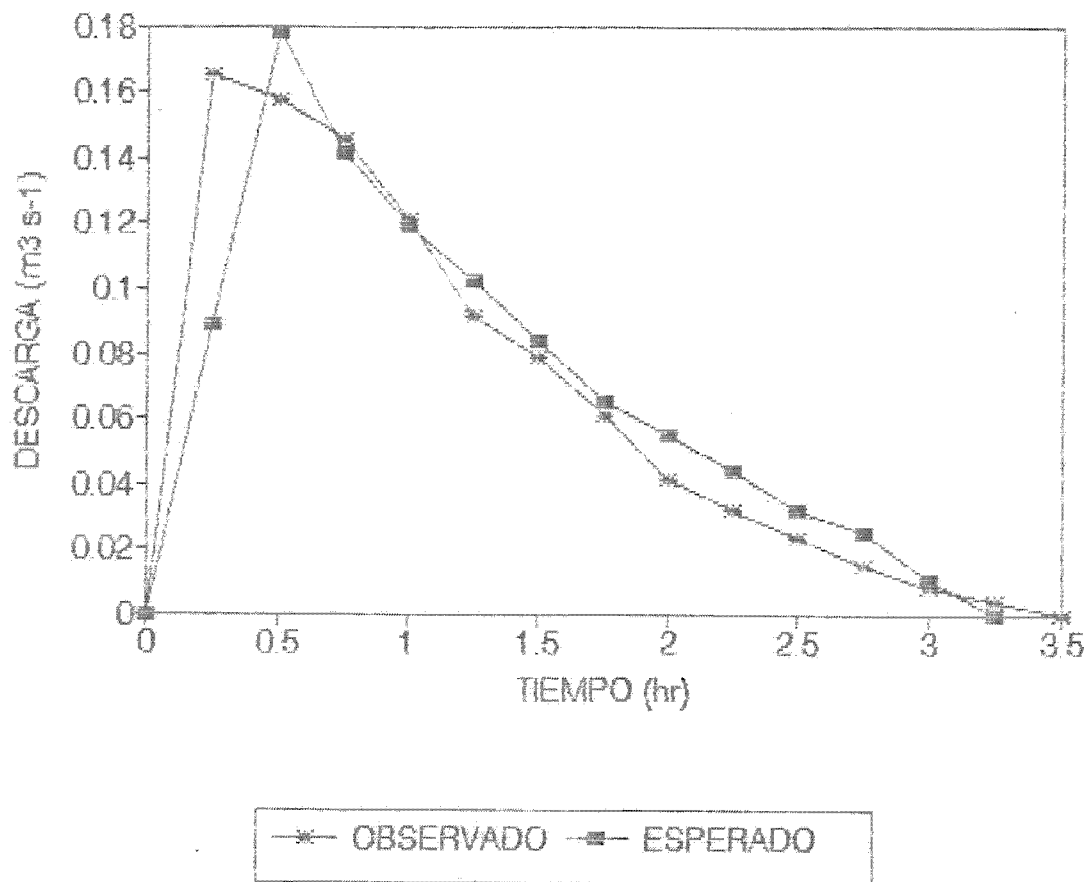


FIGURA 12. La gráfica muestra el hidrograma de escurrimiento directo registrado en la cuenca V durante la tormenta del 25 julio de 1987. El hidrograma "observado" en dicho escurrimiento se compara con el "esperado", obtenido apartir del hidrograma unitario.

## VI. Calibración de las cuencas.

Las ecuaciones de calibración obtenidas (ver Tabla 7), muestran una alta correlación entre los parámetros de escurrimiento, lo cual refleja la gran similitud que existe entre las cuencas.

En el caso de la calibración por evento, el análisis de residuales mostró que los errores para las cuatro regresiones tienen una distribución al azar, indicando esto un buen ajuste.

En cuanto a la calibración por descarga máxima, las regresiones entre la escorrentía de la cuenca I y la cuenca II y entre la cuenca I y cuenca III, tuvieron errores mayores para descargas arriba de los  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; el resto de las regresiones no mostraron ninguna tendencia.

En las ecuaciones de calibración, entre la escorrentía de una cuenca y el promedio de las cuatro restantes, se encontró que la regresión correspondiente a la cuenca I, presenta un patrón en los residuales que indica un aumento del error a medida que la escorrentía es mayor.

Las ecuaciones de calibración con la escorrentía anual presentaron un buen ajuste, ya que para estas regresiones no se encontraron tendencias en los residuales.

En términos generales se puede decir que las ecuaciones de calibración de las cuencas tienen una alta correlación; aunque para ciertos parámetros se presentan tendencias en los residuales, que muestra una falta de ajuste de las regresiones.



**TABLA 7.** Resultado de las calibraciones. Todas las ecuaciones tuvieron una  $p < 0.001$ .

	Ordenada al origen	Pendiente	R
<u>Calibración por evento</u>			
C I-C II	0.160	1.046	0.992
C I-C III	0.852	0.937	0.990
C I-C IV	0.038	0.803	0.994
C I-C V	1.474	0.998	0.980
<u>Calibración con la descarga máxima*</u>			
C I-C II	0.222	0.546	0.910
C I-C III	-1.530	0.860	0.839
C I-C IV	1.090	0.481	0.956
C I-C V	9.522	0.864	0.951
<u>Calibración con el promedio (<math>\bar{X}</math>) de las cuencas</u>			
CI- $\bar{X}$ (II, III, IV, V)	-0.597	1.053	0.985
CII- $\bar{X}$ (I, III, IV, V)	0.107	1.164	0.986
CIII- $\bar{X}$ (I, II, IV, V)	-0.261	0.999	0.994
CIV- $\bar{X}$ (I, II, III, V)	-0.070	0.821	0.996
CV- $\bar{X}$ (I, II, III, IV)	0.759	1.097	0.989
<u>Calibración con la escorrentia anual</u>			
C I-C II	-2.889	1.219	0.993
C I-C III	-0.830	1.020	0.995
C I-C IV	-0.676	0.872	0.994
C I-C V	-1.708	1.240	0.995
C I....Cuenca I			
C II...Cuenca II			
C III..Cuenca III			
C IV...Cuenca IV			
C V....Cuenca V			

\* En el Apéndice XI se muestran las descargas máximas para las cinco cuencas durante el período de estudio.

## VII. Análisis estadístico.

La prueba Kolmogorov-Smirnov mostró que los datos de escorrentía de las cinco cuencas no tienen una distribución normal:

Cuenca 1  $D = 0.3731$  ( $p < 0.001$ )

Cuenca 2  $D = 0.3823$  ( $p = 0.006$ )

Cuenca 3  $D = 0.3528$  ( $p = 0.008$ )

Cuenca 4  $D = 0.3958$  ( $p < 0.001$ )

Cuenca 5  $D = 0.3340$  ( $p = 0.002$ )

donde :

D            Distancia vertical máxima entre la distribución acumulada teórica y la distribución acumulada de la muestra.

Por el contrario, el ajuste de los datos a un modelo de distribución Gamma, resulto apropiado (ver Tabla 8). En las Figuras 13-17 se comparan las frecuencias observadas, con las frecuencias esperadas, obtenidas según el modelo Gamma; en dichas gráficas se puede ver que las distribuciones de los datos, en las cinco cuencas, están sesgadas; siendo los escurrimientos más frecuentes, aquellos entre 0 y 10 mm; en cambio, para escorrentías mayores, la frecuencia es muy baja.

Comparando el parámetro  $\tau$  de las cinco cuencas (Tabla 8), se puede ver que el valor de la cuenca II es el mayor, lo cual significaría que su distribución es más simétrica, puesto que

**TABLA 8.** Ajuste de los datos de escorrentía a una distribución

Gamma.

Cuenca	$\tau$	$\beta$	p
1	0.3213	18.6677	> 0.50
2	0.4562	6.2773	> 0.25
3	0.3296	25.2630	> 0.90
4	0.3111	15.5237	> 0.50
5	0.3599	23.5018	> 0.90

existe una relación inversa entre este parámetro y el sesgo (Ezcurra & Rodrigues, 1986); sin embargo es necesario considerar, que para esta cuenca falta el dato del 5 de septiembre de 1988 (fecha en el cual se registró un escurrimiento promedio para las cuencas de 99.9 mm, como se señaló anteriormente); lo que hace suponer, que de haberse tenido dicho dato, el sesgo sería mayor, semejante a los que presentan las otras cuatro cuencas.

En la Tabla 9 se muestran las probabilidades de ocurrencia, obtenidas a partir del modelo Gamma, para una escorrentia mayor a la media de cada cuenca; la probabilidad de ocurrencia para una escorrentia mayor a la moda mensual (obtenida a partir de los datos agrupados por mes); y la probabilidad de ocurrencia de una escorrentia mayor a 100 mm. En el caso de la media, se tiene un rango de probabilidad entre 0.28 y 0.31, para las cinco cuencas; este rango resulta menor, si se compara con el valor de 0.50, que es la probabilidad de la media en la distribución normal. La baja probabilidad de la media, debido al sesgo, significa que dicho parámetro es un pobre estimador para datos con este tipo de distribución, como señalan Ezcurra & Rodrigues (op.cit.). Esto podría explicar la falta de ajuste encontrada en algunas de las regresiones obtenidas para la calibración de las cuencas; ya que uno de los supuestos de la regresión, es precisamente, que los datos tienen una distribución normal. Para solucionar este problema sería conveniente obtener ecuaciones de calibración, en las cuales se tome en cuenta la distribución Gamma de los datos.

La probabilidad de ocurrencia para escorrentias mayores a la

TABLA 9. Probabilidades de ocurrencia, según el modelo Gamma, para una escorrentía mayor a la media, una escorrentía mayor a la moda mensual y una escorrentía mayor a 100 mm.

Cuenca	Escorrentía > Media	Escorrentía > Moda mensual (2.5 mm)	Escorrentía > 100 mm
1	0.2792	0.4324	0.0005
2	0.3097	0.3407	0.0000
3	0.2815	0.4902	0.0025
4	0.2763	0.3906	0.0001
5	0.2893	0.5122	0.0020

moda mensual, cuyo valor para las cinco cuencas es 2.5 mm, estuvo entre 0.34 y 0.51; esto significa que los escurrimientos mayores a 2.5 mm, tienen en general, una probabilidad de ocurrencia menor al 50 % ; lo cual refleja el predominio de los escurrimientos pequeños.

La probabilidad obtenida para escurrimientos mayores a 100 mm, fue muy baja en cuatro cuencas, siendo cero en el caso de la cuenca II. Esto muestra nuevamente, que el escurrimiento del 5 de septiembre de 1988, fue un evento poco común, y confirma la necesidad de analizar por separado este tipo de escurrimientos, como se señaló en la sección IV de esta discusión.

La distribución Gamma de los datos de escorrentía puede considerarse una consecuencia de la precipitación en la zona, ya que esta presenta también una distribución Gamma, como se reporta en el trabajo realizado por García-Oliva y colaboradores (op. cit.).

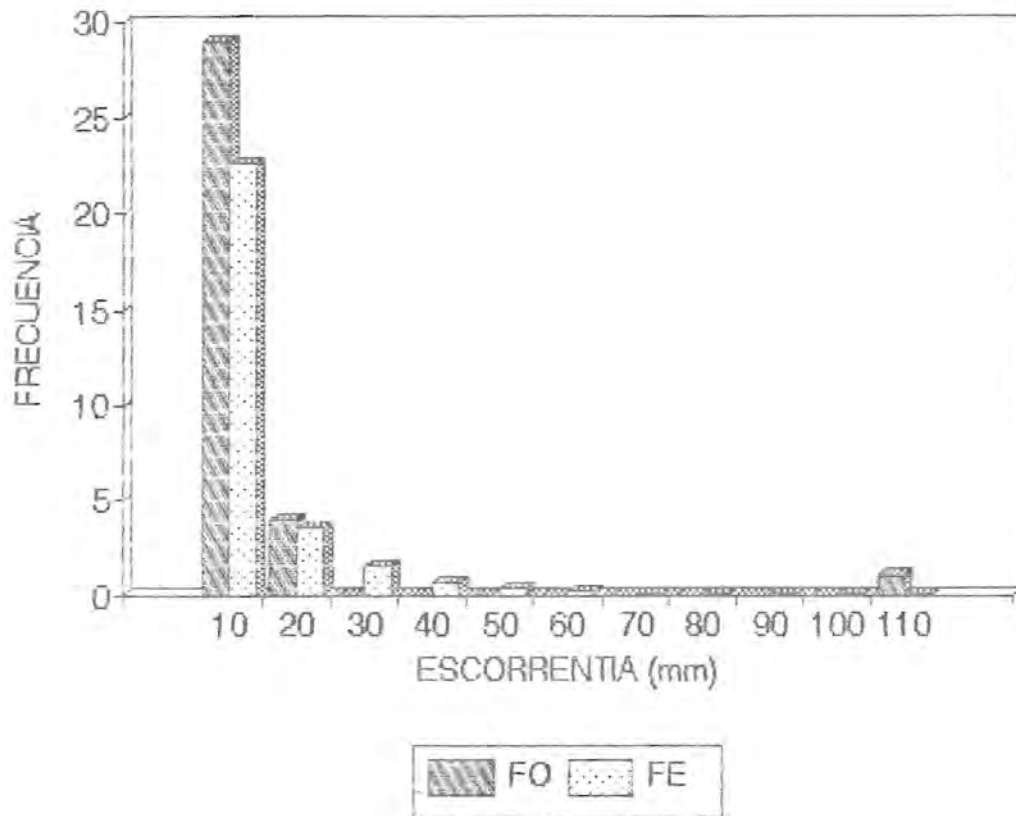


FIGURA 13. Distribución de frecuencias de los datos de escorrentía para la cuenca I (FO = Frecuencias observadas, FE = Frecuencias esperadas de acuerdo al modelo Gamma).

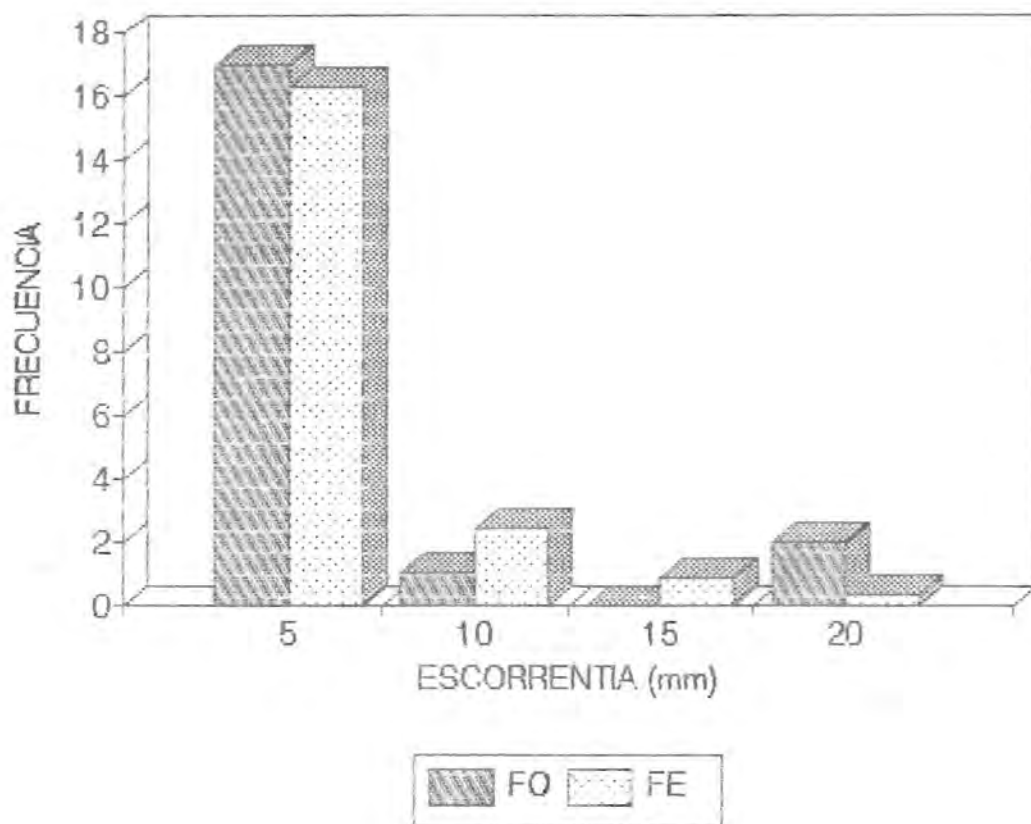


FIGURA 14. Distribución de frecuencias de los datos de escorrentía para la cuenca II (FO = Frecuencias observadas, FE = Frecuencias esperadas de acuerdo al modelo Gamma). Debido a que se tenían pocos datos, los intervalos de clase para esta cuenca, fueron de 5 mm.



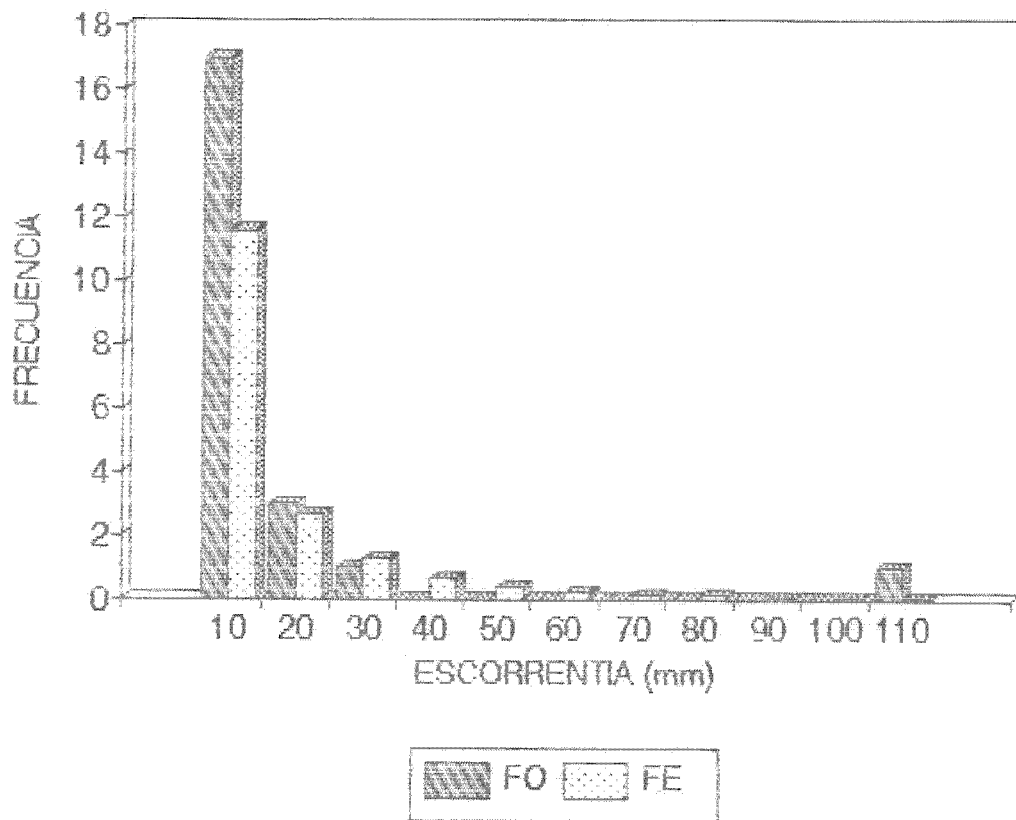


FIGURA 15. Distribución de frecuencias de los datos de escorrentía para la cuenca III (FO = Frecuencias observadas, FE = Frecuencias esperadas de acuerdo al modelo Gamma).

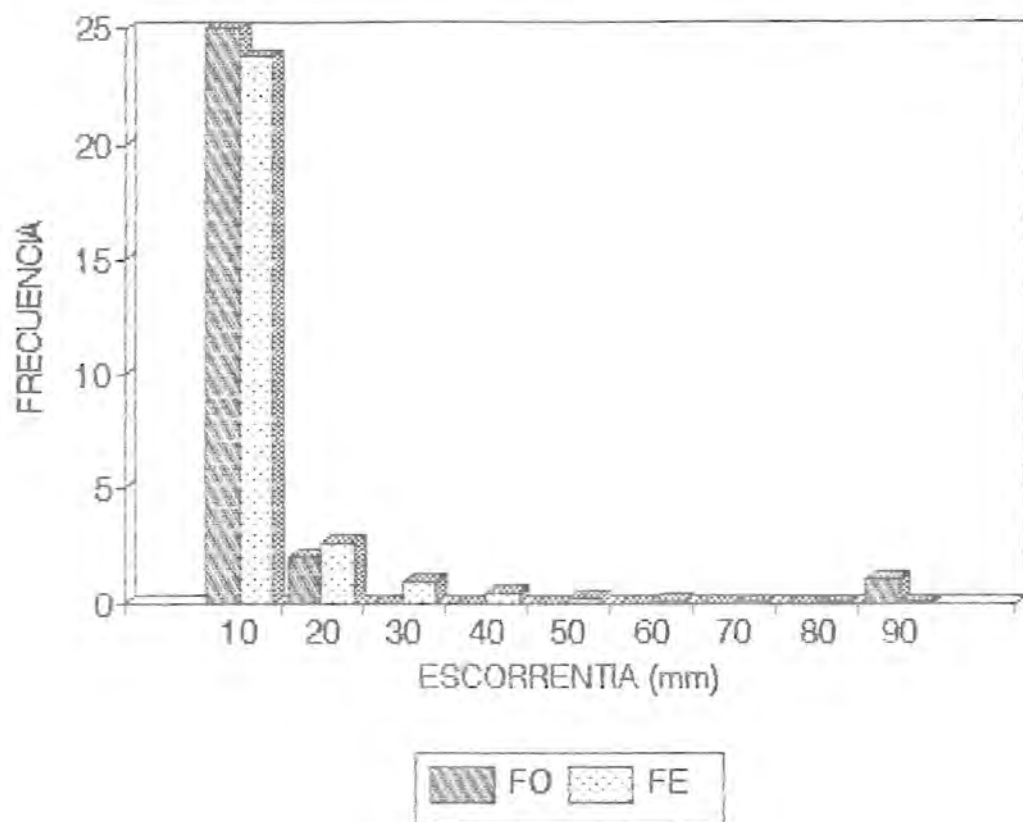


FIGURA 16. Distribución de frecuencias de los datos de escorrentía para la cuenca IV (FO = Frecuencias observadas, FE = Frecuencias esperadas de acuerdo al modelo Gamma).

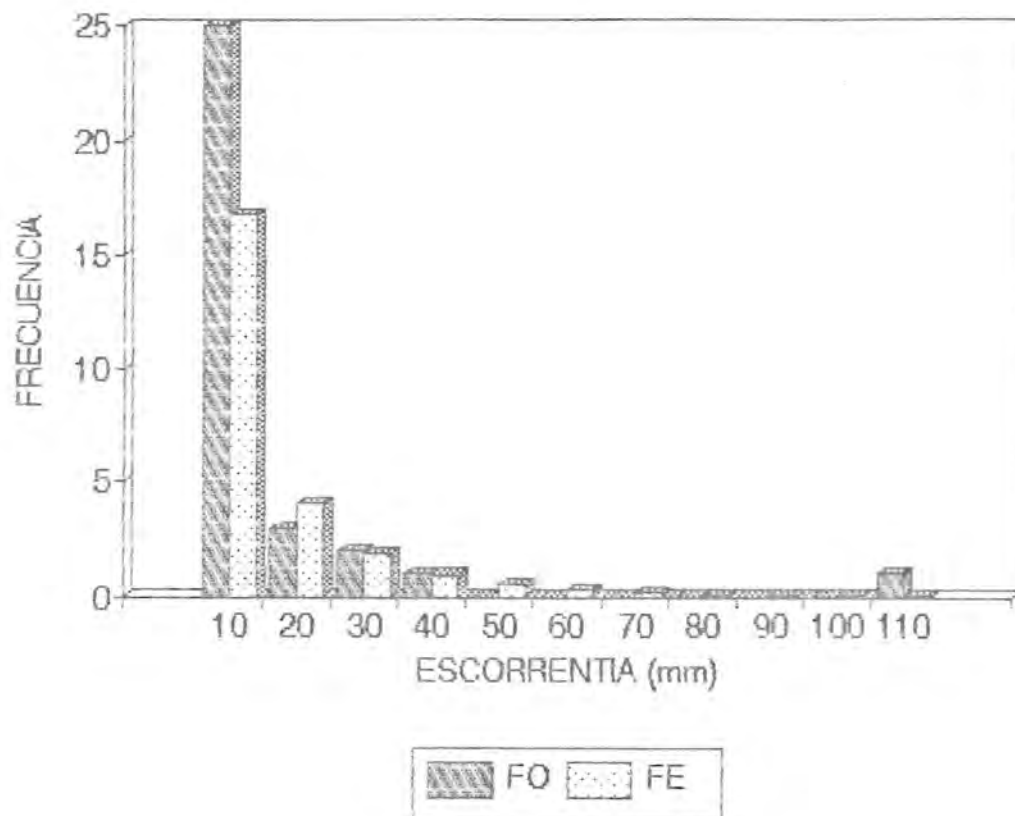


FIGURA 17. Distribución de frecuencias de los datos de escorrentía para la cuenca V (FO = Frecuencias observadas, FE = Frecuencias esperadas de acuerdo al modelo Gamma).

## CONCLUSIONES.

Las cuencas estudiadas presentan valores bajos para los coeficientes de escurrimiento y el porcentajes de lluvia anual escurrida; registrándose altos índices de infiltración, como corresponde a sitios no perturbados. No se encontraron diferencias entre cuencas para dichos parámetros, lo cual refleja la gran similitud que existe entre ellas.

En cambio, se encontraron diferencias entre años para los parámetros de escurrimiento, como resultado de la variabilidad en los patrones de lluvia. No existe una correlación significativa entre la precipitación anual y la esorrentia, ya que la relación lluvia-escurrimiento esta determinada, principalmente, por los patrones de lluvia en el mes, y la precipitación y humedad del suelo en cada evento.

Las variables que explican la relación lluvia-escurrimiento, a nivel de evento, son la precipitación y la humedad antecedente del suelo (representada por el índice de precipitación antecedente), siendo la precipitación el factor que explica la mayor parte de la variación. Los resultados obtenidos parecen indicar la existencia de un umbral en la respuesta hidrológica de las cuencas, a partir del cual la relación lluvia-escurrimiento es diferente; dicho umbral probablemente es la capacidad de campo. Una perturbación que afecte las características de las cuencas (por ejemplo, la intercepción, infiltración, evapotranspiración, etc.), posiblemente provoque la desaparición del umbral, obteniéndose una

respuesta más directa a la precipitación; en estas condiciones la humedad antecedente del suelo, tendría un mayor peso en la escorrentía.

La información obtenida en este estudio permite suponer que la tala de la selva en las cuencas, al disminuir la intercepción y alterar la capacidad de infiltración, provocará un aumento en la escorrentía y por lo tanto, un incremento en la erosión y lixiviación de nutrientes.

Existe una gran similitud entre los hidrogramas unitarios de las cuencas; la únicas diferencias encontradas se deben al efecto del area. Los hidrogramas unitarios obtenidos fueron adecuados, ya que se encontraron bajos errores en los hidrogramas predichos. Puesto que los hidrogramas unitarios caracterizan univocamente a cada una de las cuencas, una modificación en alguna de ellas se reflejará en su hidrograma unitario.

Las ecuaciones de calibración muestran una alta correlación entre las cuencas. La calibración de cuencas tradicionalmente se realiza a partir de regresiones lineales que suponen normalidad en los datos; sin embargo cuando los datos no son normales, se pueden encontrar fallas de ajuste, como es el caso del presente trabajo. Para solucionar este problema es necesario determinar el tipo de distribución de los datos, y posteriormente obtener las ecuaciones, tomando en cuenta dicha distribución.

Los datos de escorrentía presentaron una distribución Gamma, caracterizada por un gran sesgo hacia los valores pequeños, y en la cual los escurrimientos grandes tienen bajas probabilidades de

ocurrencia. La distribución Gamma de la escorrentia es reflejo, a su vez, de la distribución Gamma de la precipitación. Una perturbación considerable que provoque la aparición más frecuente de escurrimientos grandes, traería como consecuencia la disminución del sesgo, y por lo tanto, la distribución tendería a normalizarse.

A partir del presente trabajo se desprenden las siguientes sugerencias para posteriores estudios:

Los escurrimientos grandes, debido a su baja frecuencia, no están bien representados, por lo cual sería conveniente continuar con las mediciones en las cuencas sin perturbar, el mayor tiempo posible, para de esta forma tener ecuaciones de calibración más confiables.

En cuanto a aspectos técnicos, se recomienda revisar periódicamente los limnigrafos para evitar fallas en los registros; además, es necesario reparar los pluviógrafos situados en las cuencas, con el fin de tener datos más precisos de la precipitación.

## BIBLIOGRAFIA.

- Aparicio, M.F. 1989. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa México, 308 pp.
- AU2 (1984). Programa AU2 versión 20.2. ICFA International.
- Barradas, V. y Fanjul, L. 1985. Equilibrio Hídrico y Evapotranspiración en una Selva Baja Caducifolia de la Costa de Jalisco. Biótica, 10(2):199-210
- Brown, G. 1980. Forestry and Water Quality. Oregon State University Book Stores Inc. U.S.A. 124 pp.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. UNESCO International Hydrological Programme. Free University, Amsterdam. 224 pp.
- Bullock, S.H. 1986. Climate of Chamela Jalisco and Trends in the South Coastal Region of Mexico. Arch. Met. Geoph. Biocl. Ser. B 36:297-316.
- Cervantes, L., J.M. Maass y R.M. Domínguez. 1988. Relación lluvia-escurrimiento en un sistema pequeño de cuencas de selva baja caducifolia. Ingeniería Hidráulica en México. Enero-abril:30-40.
- Cervantes, L. 1988. Intercepción de lluvia por el dosel en una comunidad tropical. Ingeniería Hidráulica en México, mayo-agosto: 38-42.
- Cheng, J.D. 1989. Streamflow changes after clear-cut logging of a pine beetle-infested. Water Resources Research. 25(3):449-456.
- Daniel, W.W. 1985. Bioestadística. Limusa. México, 485 pp.
- Domínguez, M.R., V. Franco, J. Gracia y O. Fuentes. 1983. "Manual de diseño de obras civiles". Hidrotecnia. Sec.A, tema 1, caps. 2, 3 y 4. Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E. México.
- Dunne, T. & L. Leopold. 1978. Water in Environmental Planning. Freeman and Company, U.S.A. 818 pp.
- Ezcurra, E. & Rodrigues, V. 1986. Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, México. Journal of Arid Environments. 10:13-28

- Fleming, W.M. 1983. Phewa Tal Catchment Management Program: Benefits and Costs of Forestry and Soil Conservation in Nepal. In: Hamilton, L. (Ed.) Forest and Watershed Development and Conservation in Asia and the Pacific. Westview Press, Inc. U.S.A. 425 pp.
- Franco, V. 1981. Integración de estudios de hidrología urbana. Tesis Maestría. Facultad de Ingeniería División de Estudios de Posgrado, UNAM. 245 pp.
- Freeze, R. & A. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. U.S.A. 604 pp.
- Galicia, L. (en preparación). Influencia de la variabilidad de la forma de pendiente en las propiedades físicas del suelo y su capacidad de retención del agua, en una cuenca tropical estacional. Facultad de Filosofía y Letras UNAM.
- García-Oliva, F., Ezcurra, E. & Galicia, L. 1991. Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of Mexico. Geographyska Annaler 73A:3-4.
- Gupta, R.S. 1989. Hydrology and Hydraulic Systems. Prentice Hall, Inc. U.S.A., 739 pp.
- Harrold, L., G.O. Schwab & B.L. Bondurant. 1982. Agricultural and Forest Hydrology. University Bookstore. Agricultural Engineering Department. Ohio State University. U.S.A. 273pp.
- Hewlett, J. 1982. Principles of Forest Hydrology. The University of Georgia Press. Athens. U.S.A. 183 pp.
- Hynes, R. 1979. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press. England. 555 pp.
- Lal, R. 1981. Deforestation of Tropical Rainforest and Hydrological Problems. In: Lal, R. & E. Russel (Eds.) Tropical Agricultural Hydrology. Wiley and Song, Ltd. England. 481 pp.
- Lawson, T.L., R. Lal & Koduro-Afriyie. 1981. Rainfall Redistribution and Microclimatic Changes over a Cleared Watershed. In: Lal, R. & E. Russel (Eds.) Tropical Agricultural Hydrology. Wiley and Song, Ltd. England. 481 pp.
- Likens, G.E. 1985. An Experimental approach for the study of ecosystems. Journal of Ecology 73:381-396
- Lotus. (1985). Programa Lotus 123, vers. 2. Lotus Development Corporation.
- Maass, J.M. y A. Martínez-Yrizar. 1990. Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias 4:10-20



- Miranda, F. y Hernández, X.E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Méx. 28:29-179.
- Montgomery, D.C. 1984. Design and analysis of experiments. Wiley and Sons. Inc. Singapore, 538 pp.
- Osborn, H. & Lane, L. 1969. Precipitation-Runoff relations for very small semiarid rangeland watersheds. Water Resources Research. 5(2):419-425
- Patric, J.H. & K.G. Reinhart. 1971. Hydrological effects of deforesting two mountain watersheds in west Virginia. Water Resources Research, 7(5):1182-1188.
- Quintana, M.R. y Sánchez, A. 1990. Calibración de una cuenca hidrológica en la región montañosa de Chihuahua. Revista Manejo de Pastizales 3(1):9-14
- Roche, M.A. 1981. Watershed Investigations for Development of Forest Resources of the Amazon Region in French Guyana. In: Lal, R. & E. Russel (Eds.) Tropical Agricultural Hydrology. Wiley and Song, Ltd. England.
- Rosen, K. 1984. Effect of clear-felling on runoff in two small watersheds in central Sweden. Forest Ecology and Management, 9:267-281
- Sokal, R. & Rohlf, F. 1981. Biometry. W.H:Freeman and Company. U.S.A. 859 pp.
- Sarukhán, J. y J.M. Maass. 1988. Evaluación del impacto que tienen diferentes grados de perturbación en la Estructura u Fisiología de un Ecosistema Tropical Estacional. Propuesta para CONACYT. Centro de Ecología. UNAM.
- SPSSPC. 1988. Programa SPSSPC vers. 3.0 SPSS Inc.
- Valiente, L. 1990. Programa Gamma. Centro de Ecología UNAM.
- Valiente, L. 1991. Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla, México. Tesis Licenciatura Facultad de Ciencias UNAM.
- Ward, R. 1975. Principles of Hydrology. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, England 367 pp.
- Wilson, E.M. 1983. Engineering Hydrology. Macmillan Press Ltd. Hong Kong, 231 pp.

APENDICE I. Descripción del método de "Análisis de Regresión Lineal" (Gupta, op.cit.), utilizado para obtener la ecuación de calibración entre el nivel y la descarga.

1.- Se graficó la descarga (Q) y el nivel (H) en una escala log-log. Posteriormente, la curva se rompió en dos partes en el punto donde cambió la forma de la curva (ver Figura A1), con lo cual se obtuvieron dos gráficas.

2.- De acuerdo a la forma de las curvas, el tipo de ecuación para ambas gráficas, fue:

$$Q = A (h+a)^n \quad (1)$$

Dicha ecuación puede transformarse en una línea recta tomando su logaritmo:

$$\log Q = n \log (h+a) + \log A \quad (2)$$

donde:

Q = Descarga (pies cúbicos por segundo)  
h = Nivel (pies)  
a = Nivel para un flujo de cero (pies)  
A = Ordenada al origen  
n = Pendiente

3.- El valor de "a" para cada ecuación se determinó probando diferentes valores hasta encontrar aquel que tuviera el máximo coeficiente de correlación (R), al sustituirse en la ecuación 2.

4.- Para obtener una estimación más precisa de los valores de descarga, la pendiente (n) y la ordenada al origen (A), de las ecuaciones obtenidas en el inciso anterior, se fueron variando hasta lograr, por ensayo y error, el mínimo valor para

APENDICE I. (Continuación).

la siguiente suma:

$$\sum_{i=1}^k [(Q_{ei} - Q_{oi})/Q_{oi}]^2 ; \text{ donde:}$$

$Q_{ei}$        $i$ -ésimo valor esperado de la descarga  
 $Q_{oi}$        $i$ -ésimo valor observado de la descarga

Las ecuaciones resultantes se pueden ver en el inciso I de la sección de Resultados y Discusión.

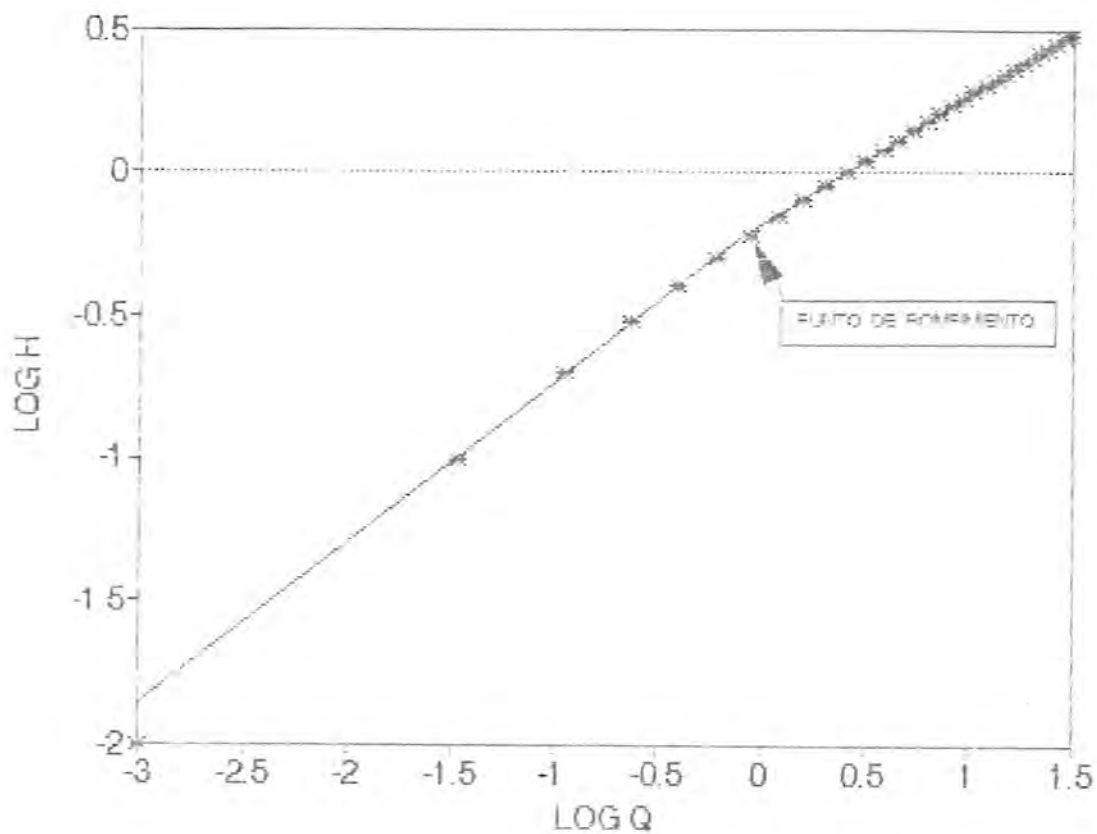


FIGURA A1. Gráfica del logaritmo de la descarga (LOG Q) y el logaritmo del nivel (LOG H), en donde se muestra el punto donde se rompió la curva para obtener las dos ecuaciones de calibración.

APENDICE I Ia. Programa escrito en Lotus, utilizado para integrar los hidrogramas.

```

-----
                ===== Registro de Escurrimientos =====
                <---Grado de descarga-----> <-----Escurrimien to del Area ----->
                <-Prom/intervalo-> <-Por intervalo-> <----Acumulado----->
                Lluvia
                Altura F F Total Interval Lluvia Intervalo Gasto Gasto Lamina Volumen Lamina Volumen Lamina Gasto Medio/6h
                D H M (ft) 1 2 Seg. en seg. (mm) (mm) (cfs) (cfs) (in/hr) (cf) (in) (cf) (in) (cfs/milla^2)
                A17B17C17 D17 E17/F17 G17 H17 I17 J17 K17 L17 M17 N17 O17 P17 Q17 R17
-----

```

```

E17: [W2] @IF(D17<=0.6,1,0)
F17: [W2] @IF(D17>0.6,1,0)
G17: [W8] +A17*86400+B17*3600+C17*60
G16: [W8] +A17*86400+B17*3600+C17*60
H17: [W8] +G17-G16
J17: +I17-I16
K17: (F4) ((2.2041*(D17+0.0071)^1.8822)*E17)+((1.8076*(D17+0.1519)^2.4571)*F17)
L17: (F5) (K17+K16)/2
M17: (F5) [W10] 0.4013*L17/$D$6
N17: (F2) [W10] +H17*L17
O17: (F5) +M17*H17/3600
P17: (F2) [W12] +N17+P16
Q17: (F5) +O17+Q16
R17: (F5) [W15] @SUM(N17..N1410)/(21600*$D$6)*0.00386

```

APENDICE IIa. (Continuación) Programa escrito en Lotus,  
 utilizado para integrar los hidrogramas.

```

-----
===== Registro de Esguerrimientos =====
<---Grado de descarga-----> <-----Esguerrimien to del Area ----->
      <-Prom/intervalo-> <-Por intervalo-> <----Acumulado----->
  Altura  Gasto  Gasto  Lamina  Volumen  Lamina  Volumen  Lamina  Gasto Medio/bh
  (cm)    (m3/s) (m3/s) (cm/hr) (m3)    (cm)    (m3)    (cm)    (m3 /s ha)
  T17     U17     V17     W17     X17     Y17     Z17     AA17    AB17
-----
  
```

```

T17: (F5) [W11] +D17*30.48
U17: (F5) +K17*0.0283166
V17: (F5) (+U16+U17)/2
W17: (F5) [W10] +M17*2.54
X17: (F5) [W10] +N17*0.0283168
Y17: (F5) [W10] +O17*2.54
Z17: (F3) [W11] +P17*0.0283168
AA17: (F5) [W10] +Q17*2.54
AB17: (F5) [W15] @SUM(X17..X1410)/(21600*$D$6)
  
```

APENDICE Iib. Ejemplo de la integración de un hidrograma  
 utilizando el programa escrito en Lotus. Los datos  
 corresponden al escurrimiento registrado en la cuenca I,  
 durante el 1 de julio de 1988.

----- Registro de Escurrimientos -----

			<---Grado de descarga--->				<-----Escurrimien to del Area ----->								
			<-Prom/intervalo->		<-Por intervalo->		<----Acumulado----->								
D	H	M	Altura (ft)	F 1	F 2	Total Seg.	Interval en seg.	Gasto (cfs)	Gasto (cfs)	Lamina (in/hr)	Volumen (cf)	Lamina (in)	Volumen (cf)	Lamina (in)	Gasto Medio/6h (cfs/milla*2)
A17B17C17	D17	E17F17	G17	H17	K17	L17	M17	N17	O17	P17	Q17	R17			
1 1 jul 88			2701020												
1	6	17	0.3	1	0	2701020	0	0.2389	0.11944	0.00321	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00003
1	6	31	0.48	1	0	2701860	840	0.5692	0.40404	0.01087	339.40	0.00254	339.40	0.00254	0.00003
1	6	46	0.422	1	0	2702760	900	0.4484	0.50878	0.01369	457.91	0.00342	797.30	0.00596	0.00002
1	7	0	0.38	1	0	2703600	840	0.3693	0.40886	0.01100	343.44	0.00257	1140.74	0.00853	0.00002
1	7	15	0.34	1	0	2704500	900	0.3008	0.33507	0.00902	301.56	0.00225	1442.31	0.01078	0.00001
1	7	29	0.3	1	0	2705340	840	0.2389	0.26984	0.00726	226.67	0.00169	1668.97	0.01248	0.00001
1	7	44	0.228	1	0	2706240	900	0.1445	0.19168	0.00516	172.51	0.00129	1841.49	0.01377	0.00001
1	7	58	0.196	1	0	2707080	840	0.1097	0.12709	0.00342	106.75	0.00080	1948.24	0.01457	0.00001
1	8	13	0.16	1	0	2707980	900	0.0760	0.09284	0.00250	83.56	0.00062	2031.80	0.01519	0.00000
1	8	27	0.14	1	0	2708820	840	0.0598	0.06788	0.00183	57.02	0.00043	2088.82	0.01562	0.00000
1	8	42	0.132	1	0	2709720	900	0.0538	0.05679	0.00153	51.11	0.00038	2139.92	0.01600	0.00000
1	8	56	0.12	1	0	2710560	840	0.0454	0.04960	0.00133	41.66	0.00031	2181.59	0.01631	0.00000
1	9	11	0.1	1	0	2711460	900	0.0329	0.03915	0.00105	35.23	0.00026	2216.82	0.01657	0.00000
1	9	25	0.088	1	0	2712300	840	0.0263	0.02960	0.00080	24.86	0.00019	2241.68	0.01676	0.00000
1	9	40	0.06	1	0	2713200	900	0.0136	0.01997	0.00054	17.97	0.00013	2259.66	0.01689	0.00000
1	9	54	0.05	1	0	2714040	840	0.0101	0.01186	0.00032	9.96	0.00007	2269.62	0.01697	0.00000
1	10	9	0.038	1	0	2714940	900	0.0065	0.00826	0.00022	7.44	0.00006	2277.05	0.01702	0.00000
1	10	23	0.024	1	0	2715780	840	0.0032	0.00483	0.00013	4.06	0.00003	2281.11	0.01705	0.00000
1	10	38	0.016	1	0	2716680	900	0.0018	0.00252	0.00007	2.27	0.00002	2283.38	0.01707	0.00000
1	10	52	0.008	1	0	2717520	840	0.0008	0.00133	0.00004	1.12	0.00001	2284.50	0.01708	0.00000
1	11	7	0	1	0	2718420	900	0.0002	0.00051	0.00001	0.46	0.00000	2284.96	0.01708	0.00000

APENDICE I Ib. (Continuación) Ejemplo de la integración de un hidrograma utilizando el programa escrito en Lotus. Los datos corresponden al escurrimiento registrado en la cuenca I durante el 1 de julio de 1988.

===== Registro de Escurreimientos =====								
<---Grado de descarga--->			<-----Escurreimien to del Area ----->			<-----Acumulado----->		
<-Prom/intervalo->		<-Por intervalo->		<-----Acumulado----->				
Altura (cm)	Gasto (m3/s)	Gasto (m3/s)	Lamina (cm/hr)	Volumen (m3)	Lamina (cm)	Volumen (m3)	Lamina (cm)	Gasto Medio/6h (m3 /s ha)
I17	U17	V17	W17	X17	Y17	Z17	AA17	AB17
9.14400	0.00676	0.00338	0.00817	0.00000	0.00000	0.000	0.00000	0.00020
14.63040	0.01612	0.01144	0.02762	9.61062	0.00645	9.611	0.00645	0.00020
12.86256	0.01270	0.01441	0.03478	12.96642	0.00870	22.577	0.01514	0.00017
11.58240	0.01046	0.01158	0.02795	9.72508	0.00652	32.302	0.02166	0.00013
10.36320	0.00852	0.00949	0.02291	8.53934	0.00573	40.841	0.02739	0.00010
9.14400	0.00676	0.00764	0.01845	6.41848	0.00430	47.260	0.03169	0.00007
6.94944	0.00409	0.00543	0.01310	4.88503	0.00328	52.145	0.03497	0.00005
5.97408	0.00311	0.00360	0.00869	3.02295	0.00203	55.168	0.03700	0.00004
4.87680	0.00215	0.00263	0.00635	2.36607	0.00159	57.534	0.03858	0.00003
4.26720	0.00169	0.00192	0.00464	1.61457	0.00108	59.149	0.03967	0.00002
4.02336	0.00152	0.00161	0.00388	1.44725	0.00097	60.596	0.04064	0.00002
3.65760	0.00129	0.00140	0.00339	1.17982	0.00079	61.776	0.04143	0.00001
3.04800	0.00093	0.00111	0.00268	0.99765	0.00067	62.773	0.04210	0.00001
2.68224	0.00074	0.00084	0.00202	0.70399	0.00047	63.477	0.04257	0.00001
1.82880	0.00039	0.00057	0.00137	0.50897	0.00034	63.986	0.04291	0.00000
1.52400	0.00029	0.00034	0.00081	0.28200	0.00019	64.268	0.04310	0.00000
1.15824	0.00018	0.00023	0.00056	0.21060	0.00014	64.479	0.04324	0.00000
0.73152	0.00009	0.00014	0.00033	0.11497	0.00008	64.594	0.04332	0.00000
0.48768	0.00005	0.00007	0.00017	0.06425	0.00004	64.658	0.04336	0.00000
0.24384	0.00002	0.00004	0.00009	0.03160	0.00002	64.690	0.04338	0.00000
0.00000	0.00001	0.00001	0.00003	0.01303	0.00001	64.703	0.04339	0.00000



APENDICE III. Ejemplo del método empleado para obtener el hidrograma, el volumen y la lámina de escurrimiento directo, los coeficientes de escurrimiento, el índice de infiltración y el hietograma de precipitación efectiva (Dominguez et. al., op.cit.).

Escurrecimiento en la cuenca 5 durante el 17 de septiembre de 1990.

1.- Separación del escurrimiento directo y el flujo base.

La Figura A2 muestra el punto de inflexión a partir del cuál se hizo la separación del escurrimiento directo y el flujo base, según el método logarítmico (Dominguez et. al., op.cit.). En la Figura A3 se puede ver el hidrograma separado en los dos tipos de escurrimiento, junto con su hietograma correspondiente.

2.- Hidrograma de escurrimiento directo.

A continuación se muestra la resta del flujo base a cada ordenada del hidrograma de escurrimiento total, para obtener las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo.

Hora	Total	Base	Directo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \times 10^{-3}$ )
18:45	0.06	- 0.06	= 0.00
19:00	5.96	- 0.75	= 5.21
19:15	17.13	- 0.90	= 16.23
19:30	17.26	- 1.08	= 16.18
19:45	16.12	- 1.23	= 14.84
20:00	14.42	- 1.40	= 13.02
20:15	13.15	- 1.52	= 11.63
20:30	11.50	- 1.70	= 9.80
20:45	10.46	- 1.83	= 8.63
21:00	9.46	- 2.00	= 7.46
21:15	7.62	- 2.15	= 5.47
21:30	5.76	- 2.30	= 4.46
21:45	5.96	- 2.45	= 3.51
22:00	5.57	- 2.60	= 2.97
22:15	5.06	- 2.78	= 2.28
22:30	4.49	- 2.93	= 1.56
22:45	4.09	- 3.10	= 0.99
23:00	3.77	- 3.23	= 0.54
23:15	3.40	- 3.40	= 0.00
	Suma		$124.83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \times 10^{-3} =$ $= 0.1248 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

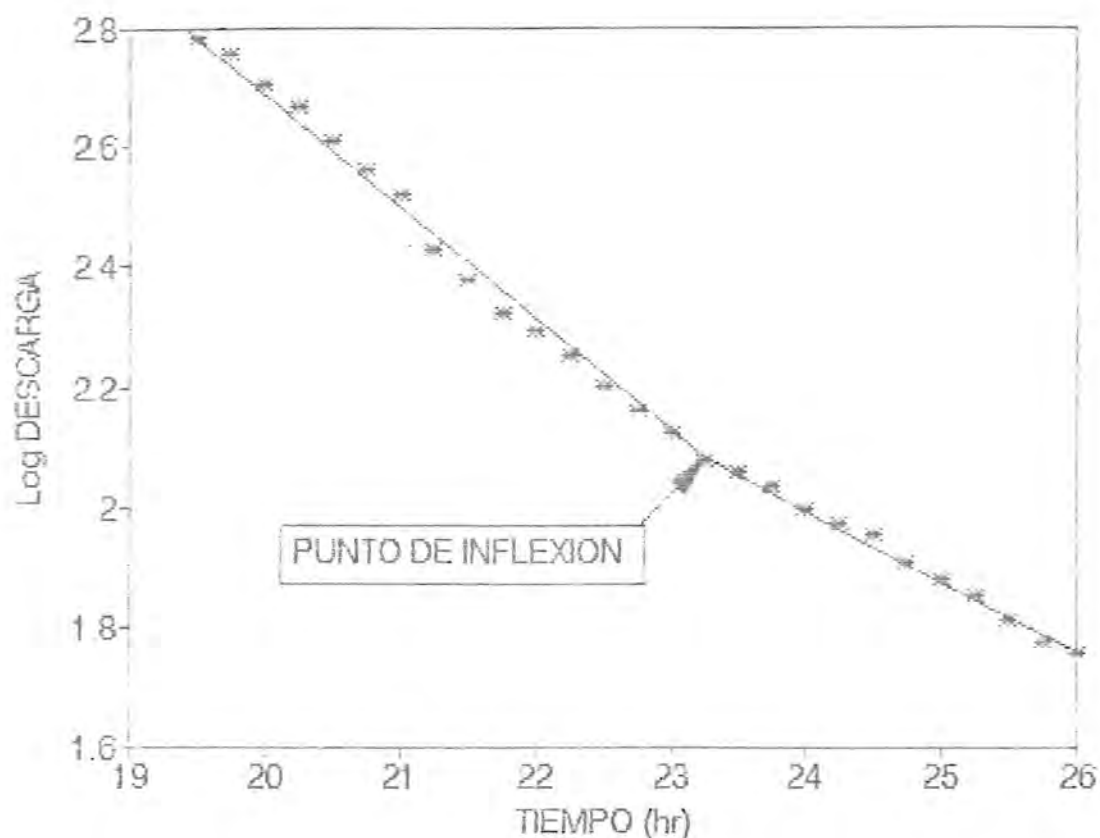


FIGURA A2. Ejemplo del método Logarítmico, en donde se muestra el punto de inflexión a partir del cual se hizo la separación entre el flujo directo y el flujo base. La gráfica corresponde al escurrimiento registrado en la cuenca V durante el 17 de septiembre de 1990.

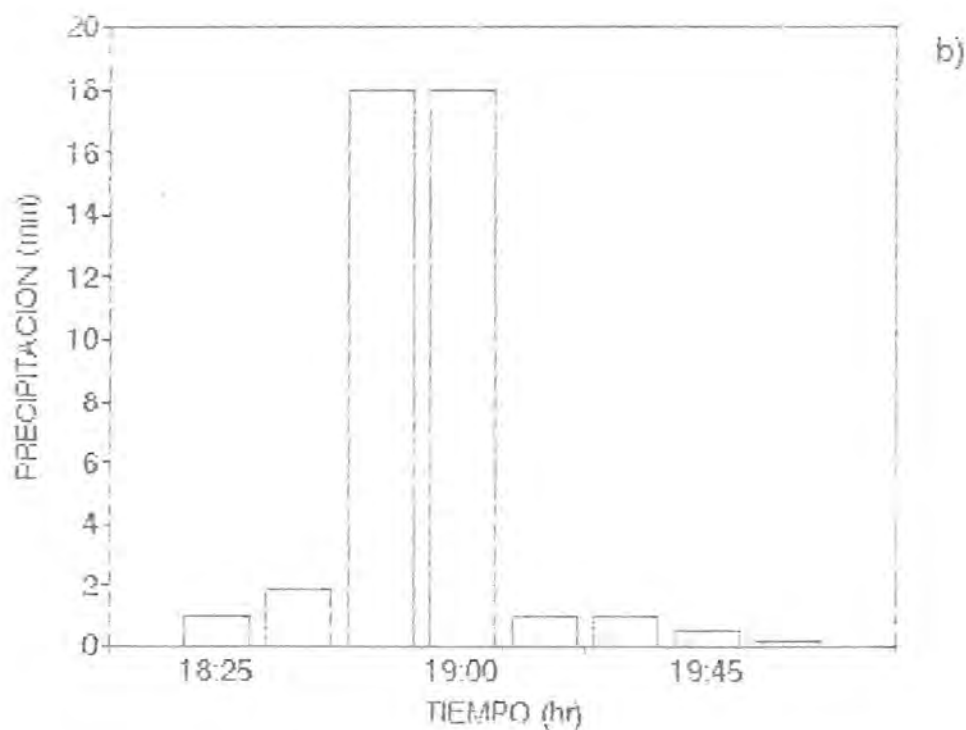
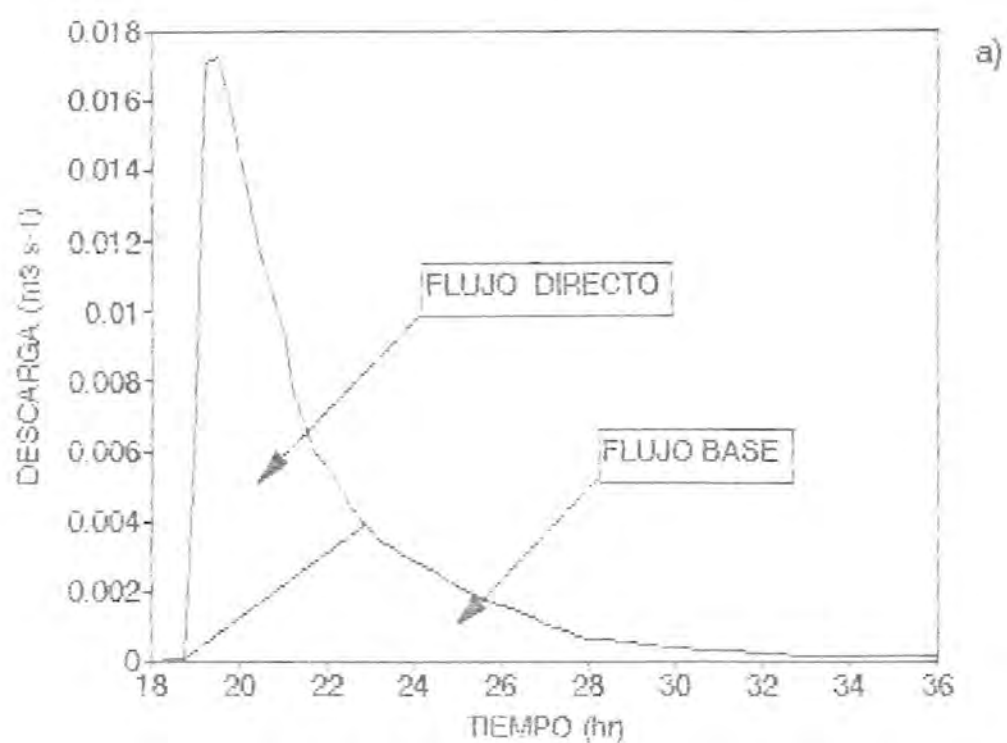


FIGURA A3. Escurrimiento en la cuenca V durante el 17 de septiembre de 1990. a) Separación del hidrograma en flujo directo y flujo base. b) Hietograma para dicho escurrimiento.

### APENDICE III. (Continuación).

#### 3.- Volumen de escurrimiento directo.

VED = H x t ; donde:

H Suma de las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo  
( $m^3 s^{-1}$ )

t Duración del intervalo entre cada ordenada del hidrograma de  
escurrimiento directo (15 min x 60 seg de cada min = 900 seg)

$$VED = 0.1248 m^3 s^{-1} \times 900 s = 112.3470 m^3$$

#### 4.- Lámina de escurrimiento directo.

LAD= [VED / A] ; donde:

LAD Lámina de escurrimiento directo (mm)

A Area de la cuenca ( $m^2$ )

$$LAD = [112.3470 m^3 / 258041 m^2] = 0.0004353 m = 0.4353 mm$$

#### 5.- Indice de infiltración.

Considerando que la lluvia consiste únicamente de dos barras de precipitación y que ambas tienen la misma altura (18 mm), el índice de infiltración se calcula de la siguiente manera:

@ = [(P1 + P2 + P3...) - LAD] / N ; donde:

@ Índice de infiltración referido a la duración del intervalo entre cada ordenada de precipitación (mm/15 min)

P1, P2, P3... Ordenadas de precipitación que produjeron el escurrimiento directo (mm)

LAD Lámina de escurrimiento directo (mm)

N Número de ordenadas de precipitación que produjeron el escurrimiento directo

$$@ = [(18 mm + 18 mm) - 0.4353 mm] / 2 = 17.7823 mm/15 min$$

### APENDICE III. (Continuación).

#### 6.- Hietograma de precipitación efectiva.

Suponiendo un índice de infiltración constante, se traza en el hietograma del escurrimiento, una línea con una altura igual al índice de infiltración (ver Figura A4). Posteriormente, las ordenadas del hietograma de precipitación efectiva (Pe), se obtienen restando a cada barra de precipitación la altura del índice de infiltración, en la forma siguiente:

$$Pe_1 = 18 \text{ mm} - 17.7823 \text{ mm} = 0.2177 \text{ mm}$$

$$Pe_2 = 18 \text{ mm} - 17.7823 \text{ mm} = 0.2177 \text{ mm}$$

De tal manera que la suma de las ordenadas del hidrograma, sea igual a la lámina de escurrimiento directo (LAD):

$$Pe_1 + Pe_2 = 0.2177 \text{ mm} + 0.2177 \text{ mm} = 0.4353 \text{ mm} = \text{LAD}$$

#### 7.- Coefficientes de escurrimiento.

El coeficiente que considera la precipitación total durante el escurrimiento, se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = [\text{LAD} / \text{PT}] \times 100 ; \text{ donde:}$$

C Coeficiente de escurrimiento que considera la precipitación total durante el escurrimiento (%)

LAD Lámina de escurrimiento directo (mm)

PT Precipitación total durante el escurrimiento (mm)

$$C = [0.4353 \text{ mm} / 36 \text{ mm}] \times 100 = 1.2092 \%$$

El coeficiente que considera únicamente la precipitación una hora antes de iniciado el escurrimiento, se obtiene en base a la siguiente ecuación:

APENDICE III. (Continuación).

$C' = [LAD / PH] \times 100$  ; donde:

C' Coeficiente que considera únicamente la precipitación una hora antes del escurrimiento (%)

LAD Lámina de escurrimiento directo (mm)

PH Precipitación una hora antes del escurrimiento

Para este caso en particular dicho coeficiente no puede calcularse, ya que no existe precipitación una hora antes de iniciado el escurrimiento, como se puede ver al comparar el inicio del escurrimiento con el hietograma, en la Figura A3.

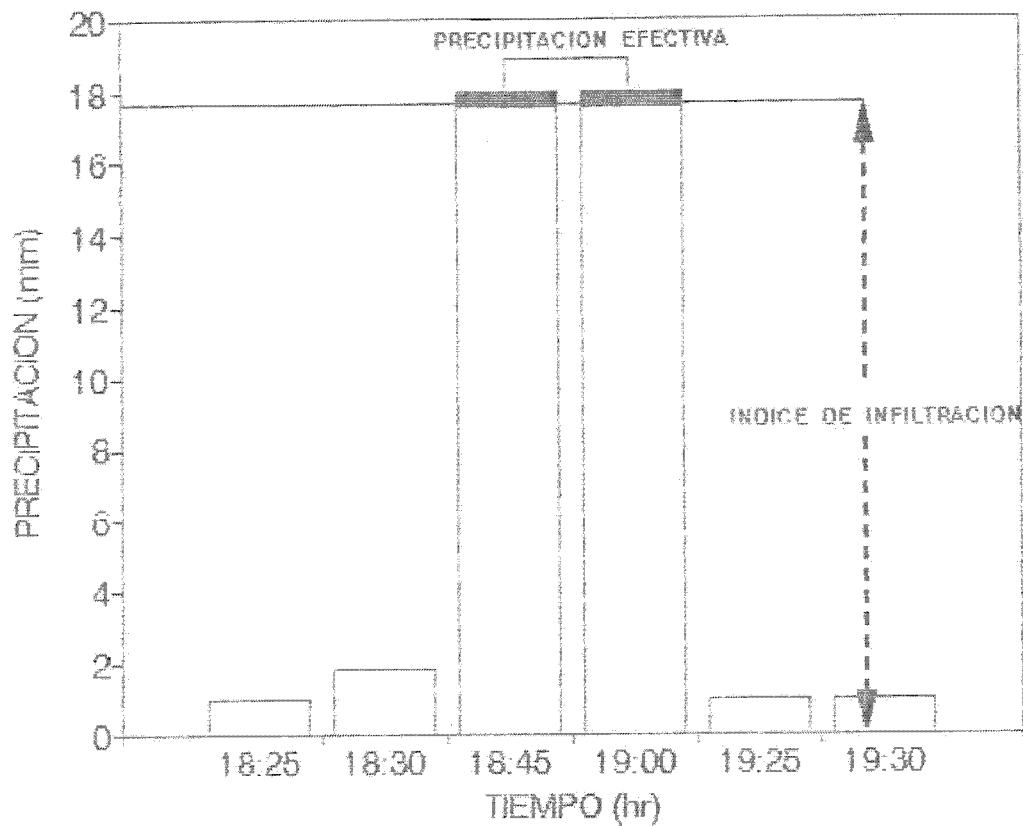


FIGURA A4. La gráfica muestra el hietograma de precipitación efectiva, obtenido cuando se traza en el hietograma de precipitación media, una línea con una altura igual al índice de infiltración.

**BENDICE IV.** Ejemplo de la forma en que se obtuvieron los hidrogramas unitarios utilizando los métodos "Tradicional" e "Instantáneo" (Dominguez et. al., op.cit.).

1.- Método tradicional.

Escurrimiento del 1 de julio de 1988 en la cuenca 1.

a) Se obtienen el hidrograma de escorrimento directo, la lámina de escorrimento directo y el hietograma de precipitación efectiva, en la forma descrita anteriormente.

b) Cada una de las ordenadas del hidrograma de escorrimento directo se divide entre la lámina de escorrimento directo, como a continuación se muestra:

Hidrograma de escurr. directo (Q) $m^3 s^{-1} \times 10^{-3}$	Hidrograma Unitario (Q/H) $m^3 s^{-1}$
0.00	0.0000
6.76	0.0184
15.82	0.0430
12.15	0.0330
9.66	0.0262
7.42	0.0202
5.41	0.0147
2.49	0.0068
1.26	0.0034
0.00	0.0000

Lámina de escorrimento directo (H) = 0.3680 mm

En la Figura A5 se muestra el hidrograma unitario con su hietograma de precipitación efectiva. En dicha figura se puede observar que la duración de la lluvia efectiva es de 15 min, por lo que el hidrograma unitario obtenido está asociado a una lluvia efectiva de 1 mm, con una duración de 15 min.



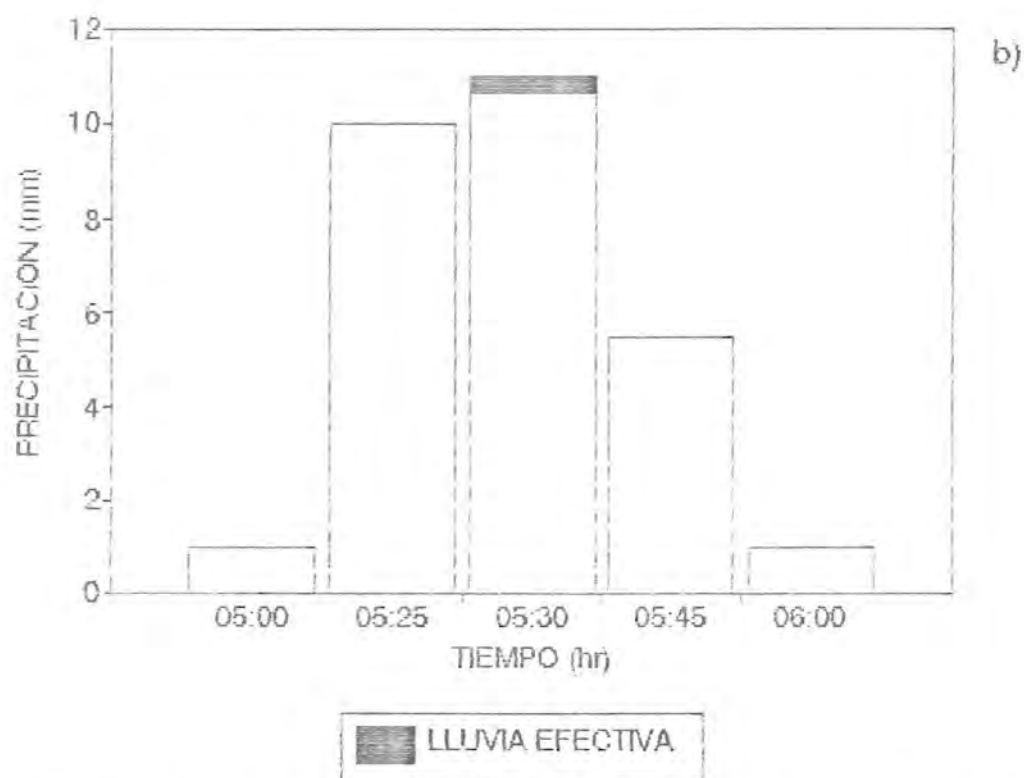
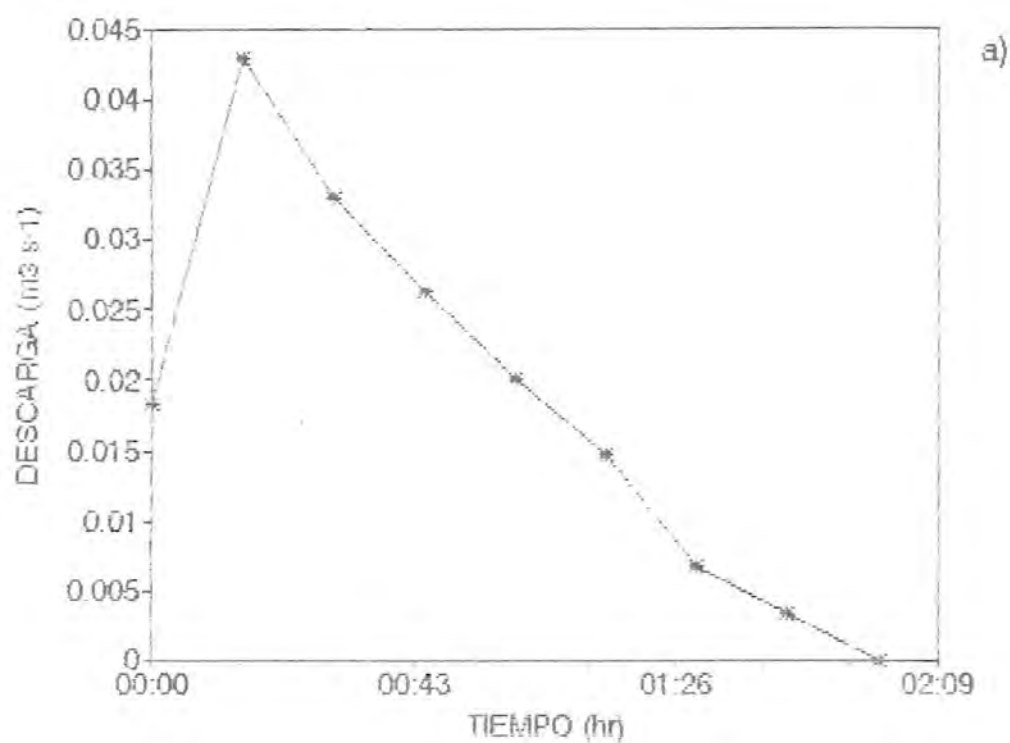


FIGURA A5. Escurrimiento del 1 de julio de 1988 en la cuenca I. a) Hidrograma unitario. b) Hietograma de precipitación efectiva.

#### APENDICE IV. (Continuación).

##### 2.- Método Instantáneo.

Escorrimento del 17 septiembre de 1990 en la cuenca 5.

a) Se obtiene el hidrograma de escurrimiento directo, la lámina de escurrimiento directo y el hietograma de precipitación efectiva, para este escurrimiento (ver Apéndice III).

b) Se sustituyen las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo y del hietograma de precipitación efectiva, en la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^{NQ} U_i @_{pp}(j-i) = @_{pd}(j-1) ; j= 1,2,\dots, NU$$

donde:

$$@_{pp(\alpha)} = \sum_{i=1}^{NP} P_i P_{i+\alpha} , \text{ para } \alpha = 0,1,2,\dots, NP-1; \text{ y donde } \alpha=j-i$$

$$@_{pp}(\alpha) = 0 , \quad \text{para } \alpha \geq NP$$

$$@_{pd}(T) = \sum_{i=1}^{NQ} P_i Q_{i-T} \quad \text{para } T = 0,1,2,\dots, NP-1$$

$$@_{pd}(T) = 0 \quad \text{para } T \geq NU$$

con  $@_{pp}(-T) = P_{pp}(T)$ , considerando que  $P_i = 0$  para  $i > NP$

y donde:

$U_i$  Ordenadas del hidrograma unitario.

$P_i$  Ordenadas de precipitación efectiva.

$Q_i$  Gasto de escurrimiento directo.

$NQ$  Número de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo.

**APENDICE IV. (Continuación).**

NP Número de ordenadas de precipitación.

NU Número de ordenadas del hidrograma unitario, donde: NU  
= NQ - NP + 1.

sustituyendo los datos del ejemplo se obtiene:

$$NP = 2 \quad NQ = 17 \quad NU = NQ - NP + 1 = 16$$

$$P1 = 0.2176$$

$$P2 = 0.2176$$

$$e_{pp}^{(0)} = P1P1 + P2P2 = 0.0947$$

$$e_{pp}^{(1)} = P1P2 = 0.0473$$

Q1	0.0052	$e_{pq}^{(0)} = P1Q1 + P2Q2$	=	0.0047
Q2	0.0162	$e_{pq}^{(1)} = P1Q2 + P2Q3$	=	0.0070
Q3	0.0161	$e_{pq}^{(2)} = P1Q3 + P2Q4$	=	0.0067
Q4	0.0148	$e_{pq}^{(3)} = P1Q4 + P2Q5$	=	0.0060
Q5	0.0130	$e_{pq}^{(4)} = P1Q5 + P2Q6$	=	0.0054
Q6	0.0116	$e_{pq}^{(5)} = P1Q6 + P2Q7$	=	0.0047
Q7	0.0098	$e_{pq}^{(6)} = P1Q7 + P2Q8$	=	0.0040
Q8	0.0086	$e_{pq}^{(7)} = P1Q8 + P2Q9$	=	0.0035
Q9	0.0074	$e_{pq}^{(8)} = P1Q9 + P2Q10$	=	0.0028
Q10	0.0054	$e_{pq}^{(9)} = P1Q10 + P2Q11$	=	0.0022
Q11	0.0044	$e_{pq}^{(10)} = P1Q11 + P2Q12$	=	0.0017
Q12	0.0035	$e_{pq}^{(11)} = P1Q12 + P2Q13$	=	0.0014
Q13	0.0029	$e_{pq}^{(12)} = P1Q13 + P2Q14$	=	0.0011
Q14	0.0022	$e_{pq}^{(13)} = P1Q14 + P2Q15$	=	0.0008
Q15	0.0015	$e_{pq}^{(14)} = P1Q15 + P2Q16$	=	0.0006
Q16	0.0009	$e_{pq}^{(15)} = P1Q16 + P2Q17$	=	0.0003
Q17	0.0005			



#### APENDICE IV. (Continuación).

Desarrollando la fórmula general se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 U1 \ @_{pp}(0) + U2 \ @_{pp}(1) &= \ @_{pa}(0) \\
 U1 \ @_{pp}(-1) + U2 \ @_{pp}(0) + U3 \ @_{pp}(1) &= \ @_{pa}(1) \\
 U1 \ @_{pp}(-2) + U2 \ @_{pp}(-1) + U3 \ @_{pp}(0) + U4 \ @_{pp}(1) &= \ @_{pa}(2) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 U1 \ @_{pp}(-15) + U2 \ @_{pp}(-14) + \dots + U16 \ @_{pp}(1) &= \ @_{pa}(15)
 \end{aligned}$$

y al sustituir los valores de  $@_{pp}$  y  $@_{pa}$ , da como resultado:

$$\begin{aligned}
 U1 \ 0.0947 + U2 \ 0.0474 &= \ 0.0047 \\
 U1 \ 0.0474 + U2 \ 0.0947 + U3 \ 0.0474 &= \ 0.0070 \\
 0 + U2 \ 0.0474 + U3 \ 0.0947 + U4 \ 0.0474 &= \ 0.0067 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 0 + 0 + \dots + U16 \ 0.0947 &= \ 0.0003
 \end{aligned}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones se obtienen las ordenadas del hidrograma unitario, que a continuación se muestran:

Ordenadas del  
Hidrograma unitario  
 $m^3 \ s^{-1}$

- U1 = 0.0246
- U2 = 0.0493
- U3 = 0.0256
- U4 = 0.0419
- U5 = 0.0186
- U6 = 0.0342
- U7 = 0.0114
- U8 = 0.0276
- U9 = 0.0073
- U10 = 0.0171
- U11 = 0.0039
- U12 = 0.0115
- U13 = 0.0028
- U14 = 0.0070
- U15 = 0.0008
- U16 = 0.0031

#### APENDICE IV. (Continuación).

El hidrograma unitario obtenido con el método instantáneo presenta irregularidades en su forma, que hacen necesario "suavizar" la gráfica, como se muestra en la Figura A6. Posteriormente, de la gráfica suavizada se toman las nuevas ordenadas del hidrograma unitario y se multiplican por un factor (F), para ajustar el hidrograma a una lámina de 1 mm.

$$F = \Sigma U / \Sigma U' \quad ; \quad \text{donde:}$$

F            Factor para ajustar el hidrograma unitario a una lámina de 1mm

$\Sigma U$         Suma de las ordenadas del hidrograma unitario ajustado ( $m^3 s^{-1}$ )

$\Sigma U'$       Suma de las ordenadas del hidrograma suavizado ( $m^3 s^{-1}$ )

y considerando que:

$$\Sigma U = [(1 \text{ mm}) (A)] / T = [(0.001 \text{ m}) (A)] / T \quad ; \quad \text{donde:}$$

A            Area de la cuenca ( $m^2$ ), para este ejemplo = 258041  $m^2$

T            Duración del intervalo entre cada ordenada (15 min x 60 seg = 900 seg)

$$\Sigma U = [(0.001 \text{ m}) (258041 \text{ m}^2)] / 900 \text{ seg} = 0.2867 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Hidrograma suavizado  
( $m^3 s^{-1}$ )

Hidrograma ajustado ( $U' \times F$ )  
( $m^3 s^{-1}$ )

0.0244

0.0268

0.0488

0.0537

0.0388

0.0427

0.0329

0.0362

0.0282

0.0310

0.0231

0.0254

0.0181

0.0199

0.0151

0.0166

0.0121

0.0133

0.0091

0.0100

0.0070

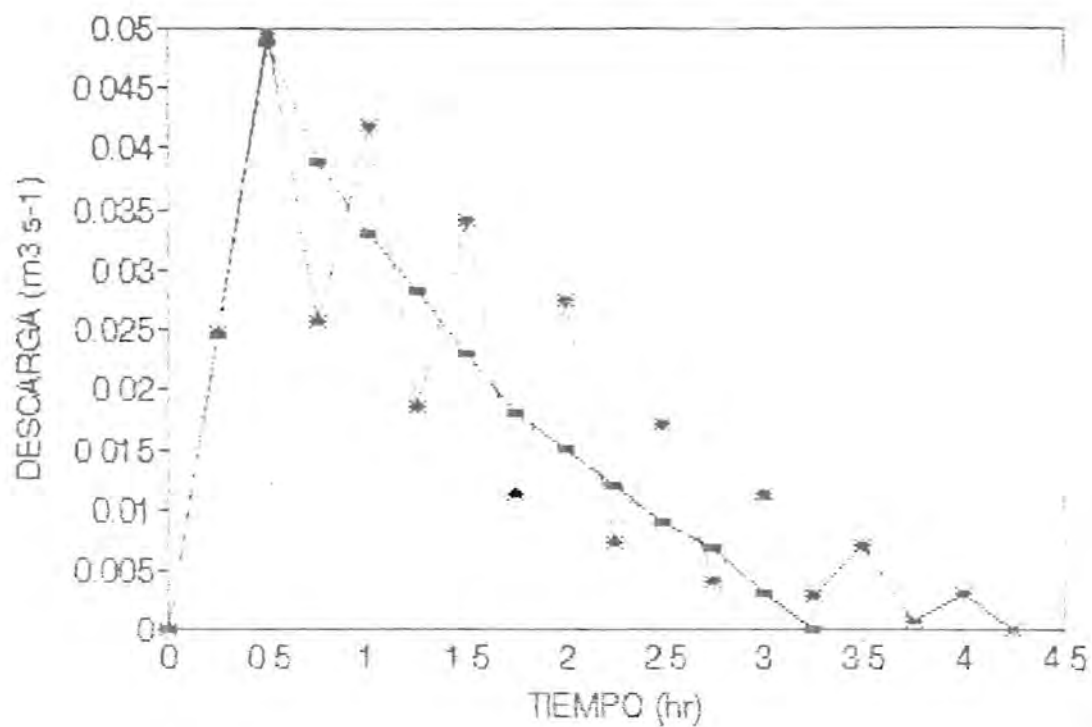
0.0077

0.0030

0.0033

$$\Sigma U' = 0.2605 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$F = 0.2867 / 0.2605 = 1.1005$$



—\*— HU CALCULADO —■— HU SUAVIZADO

FIGURA A6. La gráfica muestra la forma en que se "suaviza" el hidrograma unitario calculado con el método Instantáneo.

APENDICE IV. (Continuación).

3.- Obtención de los hidrogramas "esperados" utilizando el hidrograma unitario.

Escorrimento del 25 de julio de 1987 en la cuenca 1.

a) Se separa el escurrimiento directo del gasto base, utilizando el método Logarítmico, y se obtienen el hidrograma de escurrimiento directo y el hidrograma de precipitación efectiva.

b) Se obtiene el hidrograma de escurrimiento directo esperado, a partir del hidrograma unitario, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_i = \sum_{k=1}^i U_k P_{i-k+1} ; \quad i = 1, 2, \dots, NQ ; \quad \text{donde:}$$

$U_i$  Ordenada del hidrograma unitario para el  $i$ -ésimo intervalo de tiempo.

$P_i$  Precipitación efectiva para el  $i$ -ésimo intervalo de tiempo.

$Q_i$  Gasto de escurrimiento directo para el  $i$ -ésimo intervalo de tiempo.

$NQ$  Número de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo.

$NP$  Número de ordenadas de precipitación.

$NU$  Número de ordenadas del hidrograma unitario.

El hidrograma unitario para esta cuenca se obtuvo en el inciso 1 del Apéndice IV. Desarrollando la fórmula anterior y sustituyendo los datos del escurrimiento, se obtiene lo siguiente:

$$NU = 8 \quad , \quad NP = 3 \quad , \quad NQ = NU + NP - 1 = 11$$

$$P1 = 1.48 \quad P2 = 2.48 \quad P3 = 1.48$$

APENDICE IV. (Continuación).

$$\begin{aligned} Q1 &= P1 U1 \\ Q2 &= P1 U2 + P2 U1 \\ Q3 &= P1 U3 + P2 U2 + P3 U1 \\ Q3 &= P1 U4 + P2 U3 + P3 U2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ Q11 &= P3 U8 \end{aligned}$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} Q1 &= (1.48)(0.0184) &= 0.0272 \\ Q2 &= (1.48)(0.0430) + (2.48)(0.0184) &= 0.1092 \\ Q3 &= (1.48)(0.0330) + (2.48)(0.0430) + (1.48)(0.0184) &= 0.1827 \\ Q3 &= (1.48)(0.0262) + (2.48)(0.0330) + (1.48)(0.0430) &= 0.1843 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ Q11 &= (1.48)(0.0034) &= 0.0051 \end{aligned}$$

Posteriormente este hidrograma esperado se compara con el hidrograma obtenido utilizando el método logarítmico (ver Figura 8).



APENDICE V. Ejemplo del método empleado para calcular el Índice de Precipitación Antecedente (IPA).

a) Se toma un valor arbitrario de 10 mm como índice inicial.

b) Se sustituyen los valores del IPA y de la precipitación en la fórmula descrita en el inciso 10 del "Material y Método", como a continuación se muestra:

Fecha	Precipitación (mm)	IPA (mm)				
	0.00	10.00				
31-jul-82	6.00	(0.85) (10.00)	+	0	=	8.50
31-jul-82	11.80	* 8.50	+	6	=	14.50
1-ago-82	5.30	(0.85) (14.50)	+	11.8	=	24.13
2-ago-82	4.10	(0.85) (24.13)	+	5.30	=	25.81
3-ago-82	0.00	(0.85) (25.81)	+	4.10	=	26.04
4-ago-82	0.00	(0.85) (26.04)	+	0.00	=	22.13
5-ago-82	0.00	(0.85) (22.13)	+	0.00	=	18.81
6-ago-82	0.00	(0.85) (18.81)	+	0.00	=	15.99
7-ago-82	1.00	(0.85) (15.99)	+	0.00	=	13.59
8-ago-82	12.50	(0.85) (13.59)	+	1.00	=	12.55

\* En este caso el valor del IPA anterior no se multiplica por la constante de recesión, ya que es el mismo día.

APENDICE VIa. Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990 (NOTA: Los fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 1					
1983	27-May	345.917	2.320	177.000	1.311
	13-Sep	0.000	0.000	6.100	0.000
	17-Sep	310.132	2.080	57.700	3.605
	20-Sep	648.594	4.350	61.600	7.062
	06-Oct	43.240	0.290	44.300	0.655
	17-Oct	11.928	0.080	36.000	0.222
1984	11-Jul	514.402	3.450	71.300	4.839
	06-Sep	441.342	2.960	129.000	2.295
	08-Sep	0.000	0.000	15.000	0.000
	10-Sep	0.000	0.000	29.000	0.000
	14-Sep	2430.363	16.300	92.700	17.584
	20-Sep	0.000	0.000	11.000	0.000
1986	20-Sep	384.683	2.580	113.500	2.273
	01-Oct	969.163	6.500	103.000	6.311
	20-Oct	31.311	0.210	45.900	0.458
	21-Oct	0.000	0.000	10.400	0.000
1987	25-Jul	2654.016	17.800	165.000	10.788
	31-Aug	64.114	0.430	16.600	2.590
	08-Sep	0.000	0.000	17.000	0.000
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
	26-Sep	566.588	3.800	77.500	4.903
1988	01-Jul	64.114	0.430	64.400	0.668
	18-Aug	2877.669	19.300	185.700	10.393
	05-Sep	15903.219	106.660	204.000	52.284
	17-Sep	0.000	0.000	40.000	0.000
	22-Sep	0.000	0.000	29.200	0.000
	28-Sep	0.000	0.000	24.900	0.000
1989	01-Aug	119.282	0.800	29.400	2.721
	31-Aug	23.856	0.160	52.700	0.304
	21-Sep	1872.721	12.560	92.800	13.534
	10-Oct	14.910	0.100	8.700	1.149

APENDICE VIa. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990 (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 2					
1984	06-Sep	467.016	2.420	132.000	1.833
	08-Sep	79.123	0.410	15.000	2.733
	10-Sep	27.017	0.140	29.000	0.483
	14-Sep	3483.325	18.050	98.800	18.269
	20-Sep	0.000	0.000	11.000	0.000
1986	20-Sep	245.087	1.270	111.900	1.135
	01-Oct	1568.944	8.130	107.400	7.570
1987	25-Jul	3454.378	17.900	165.000	10.848
	31-Aug	212.280	1.100	16.600	6.627
	08-Sep	154.386	0.800	17.000	4.706
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
1988	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
1989	09-Jul	328.069	1.700	110.500	1.538
	01-Aug	237.368	1.230	29.400	4.184
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	16-Sep	0.000	0.000	67.800	0.000
	17-Sep	44.386	0.230	37.000	0.622
CUENCA 3					
1984	14-Sep	3406.653	12.150	98.800	12.298
1986	20-Sep	308.421	1.100	111.900	0.983
	01-Oct	2287.925	8.160	103.700	7.869
1987	25-Jul	3555.256	12.680	165.000	7.685
	31-Aug	269.168	0.960	16.600	5.783
	08-Sep	392.536	1.400	17.000	8.235
	23-Sep	145.799	0.520	32.000	1.625
	26-Sep	3729.094	13.300	77.500	17.161
1988	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
	18-Aug	7376.877	26.310	185.700	14.168
	05-Sep	28189.426	100.539	204.000	49.284
	17-Sep	190.660	0.680	40.000	1.700
	22-Sep	150.005	0.535	29.200	1.832
	28-Sep	151.407	0.540	24.900	2.169
1989	09-Jul	54.114	0.193	110.500	0.175
	01-Aug	182.249	0.650	29.400	2.211
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	16-Sep	0.897	0.003	67.800	0.005
	17-Sep	249.541	0.890	37.000	2.405

APENDICE VIa. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990 (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 4					
1983	27-May	23.631	0.200	177.000	0.113
	13-Sep	16.896	0.143	6.100	2.344
	17-Sep	393.449	3.330	74.800	4.452
	20-Sep	209.131	1.770	58.000	3.052
	06-Oct	61.440	0.520	57.500	0.904
	17-Oct	16.541	0.140	76.900	0.182
1984	11-Jul	200.860	1.700	75.900	2.240
	06-Sep	60.731	0.514	135.500	0.379
	10-Sep	7.916	0.067	29.000	0.231
	14-Sep	1981.426	16.770	103.500	16.203
	20-Sep	14.178	0.120	20.300	0.591
1986	20-Sep	35.446	0.300	111.900	0.268
	01-Oct	178.411	1.510	103.000	1.466
1987	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
1988	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
	05-Sep	10106.808	85.540	204.000	41.931
	17-Sep	66.166	0.560	40.000	1.400
	22-Sep	15.360	0.130	29.200	0.445
	28-Sep	174.748	1.479	24.900	5.940
1989	09-Jul	0.000	0.000	110.500	0.000
	31-Aug	27.175	0.230	52.700	0.436
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	21-Jun	2280.353	19.300	127.400	15.149
	16-Sep	0.000	0.000	67.800	0.000
	17-Sep	47.261	0.400	37.000	1.081

APENDICE VIa. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990 (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentia).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 5					
1984	06-Sep	498.019	1.930	135.500	1.424
	08-Sep	72.251	0.280	14.100	1.986
	10-Sep	263.202	1.020	28.000	3.643
	14-Sep	5245.974	20.330	103.500	19.643
	20-Sep	54.189	0.210	11.000	1.909
1986	20-Sep	433.509	1.680	111.900	1.501
	01-Oct	1625.658	6.300	103.700	6.075
	20-Oct	74.832	0.290	56.900	0.510
	21-Oct	54.189	0.210	17.600	1.193
1987	25-Jul	3070.688	11.900	165.000	7.212
	31-Aug	46.447	0.180	16.600	1.084
	08-Sep	0.000	0.000	17.000	0.000
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
	26-Sep	2737.815	10.610	77.500	13.690
1988	01-Jul	61.930	0.240	64.400	0.373
	18-Aug	9276.574	35.950	185.700	19.359
	05-Sep	27470.245	106.457	204.000	52.185
	17-Sep	1353.683	5.246	40.000	13.115
	22-Sep	469.635	1.820	29.200	6.233
	28-Sep	2011.688	7.796	24.900	31.309
1989	09-Jul	0.000	0.000	110.500	0.000
	01-Aug	61.930	0.240	29.400	0.816
	31-Aug	335.453	1.300	52.700	2.467
	21-Sep	2670.724	10.350	92.800	11.153
	01-Oct	6069.124	23.520	201.200	11.690
1990	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
	21-Jun	5702.706	22.100	127.400	17.347
	16-Sep	10.322	0.040	67.800	0.059
	17-Sep	175.468	0.680	37.000	1.838

APENDICE VIB. Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 1					
1983	27-May	345.917	2.320	177.000	1.311
	13-Sep	0.000	0.000	6.100	0.000
	17-Sep	310.132	2.080	57.700	3.605
	20-Sep	648.594	4.350	61.600	7.062
	06-Oct	43.240	0.290	44.300	0.655
	17-Oct	11.928	0.080	36.000	0.222
1984	12-Jul	514.402	3.450	71.300	4.839
	06-Sep	441.342	2.960	129.000	2.295
	08-Sep	0.000	0.000	15.000	0.000
	10-Sep	0.000	0.000	29.000	0.000
	14-Sep	2430.363	16.300	92.700	17.584
	20-Sep	0.000	0.000	11.000	0.000
1986	20-Sep	384.683	2.580	113.500	2.273
	01-Oct	969.163	6.500	103.000	6.311
	20-Oct	31.311	0.210	45.900	0.458
	21-Oct	0.000	0.000	10.400	0.000
1987	25-Jul	2654.016	17.800	165.000	10.788
	31-Aug	64.114	0.430	16.600	2.590
	08-Sep	0.000	0.000	17.000	0.000
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
	26-Sep	566.588	3.800	77.500	4.903
1988	01-Jul	64.114	0.430	64.400	0.668
	18-Aug	2877.669	19.300	185.700	10.393
	05-Sep	15903.219	106.660	204.000	52.284
	17-Sep	0.000	0.000	40.000	0.000
	22-Sep	0.000	0.000	29.200	0.000
	28-Sep	0.000	0.000	24.900	0.000
1989	09-Jul	0.000	0.000	110.500	0.000
	01-Aug	119.282	0.800	29.400	2.721
	31-Aug	23.856	0.160	52.700	0.304
	21-Sep	1872.721	12.560	92.800	13.534
	01-Oct	3603.730	24.170	201.200	12.013
	10-Oct	14.910	0.100	8.700	1.149
1990	21-Jun	2266.089	15.198	127.400	11.930
	16-Sep	0.000	0.000	67.800	0.000
	17-Sep	0.000	0.000	37.000	0.000

APENDICE VIb. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 2					
1983	27-May	303.684	1.574	177.000	0.889
	13-Sep	36.710	0.190	6.100	3.118
	17-Sep	628.276	3.256	57.700	5.642
	20-Sep	708.020	3.669	61.600	5.956
	06-Oct	111.625	0.578	44.300	1.306
	17-Oct	45.358	0.235	36.000	0.653
1984	12-Jul	599.074	3.104	71.300	4.354
	06-Sep	467.016	2.420	132.000	1.833
	08-Sep	79.123	0.410	15.000	2.733
	10-Sep	27.017	0.140	29.000	0.483
	14-Sep	3483.325	18.050	98.800	18.269
	20-Sep	0.000	0.000	11.000	0.000
1986	20-Sep	245.087	1.270	111.900	1.135
	01-Oct	1568.944	8.130	107.400	7.570
	20-Oct	76.807	0.398	45.900	0.867
	21-Oct	44.235	0.229	10.400	2.204
1987	25-Jul	3454.378	17.900	165.000	10.848
	31-Aug	212.280	1.100	16.600	6.627
	08-Sep	154.386	0.800	17.000	4.706
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
	26-Sep	2095.491	10.858	77.500	14.011
1988	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
	18-Aug	6127.618	31.752	185.700	17.099
	05-Sep	22438.597	116.273	204.000	56.997
	17-Sep	384.888	1.994	40.000	4.986
	22-Sep	160.201	0.830	29.200	2.843
	28-Sep	571.838	2.963	24.900	11.900
1989	09-Jul	328.069	1.700	110.500	1.538
	01-Aug	237.368	1.230	29.400	4.184
	31-Aug	147.191	0.763	52.700	1.447
	21-Sep	2597.684	13.461	92.800	14.505
	01-Oct	2662.310	13.796	201.200	6.857
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	21-Jun	2540.608	13.165	127.400	10.334
	16-Sep	0.000	0.000	67.800	0.000
	17-Sep	44.386	0.230	37.000	0.622

APENDICE VIb. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentia).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 3					
1983	27-May	280.103	0.999	177.000	0.564
	13-Sep	0.000	0.000	6.100	0.000
	17-Sep	685.256	2.444	57.700	4.236
	20-Sep	784.792	2.799	61.600	4.544
	06-Oct	40.375	0.144	44.300	0.325
	17-Oct	0.000	0.000	36.000	0.000
1984	12-Jul	648.806	2.314	71.300	3.245
	06-Sep	475.249	1.695	129.000	1.314
	08-Sep	0.000	0.000	15.000	0.000
	10-Sep	12.828	0.046	29.000	0.158
	14-Sep	3406.653	12.150	98.800	12.298
	20-Sep	0.000	0.000	11.000	0.000
1986	20-Sep	308.421	1.100	111.900	0.983
	01-Oct	2287.925	8.160	103.000	7.922
	20-Oct	0.000	0.000	45.900	0.000
	21-Oct	0.000	0.000	10.400	0.000
1987	25-Jul	3555.256	12.680	165.000	7.685
	31-Aug	269.168	0.960	16.600	5.783
	08-Sep	392.536	1.400	17.000	8.235
	23-Sep	145.799	0.520	32.000	1.625
	26-Sep	3729.094	13.300	77.500	17.161
1988	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
	18-Aug	7376.877	26.310	185.700	14.168
	05-Sep	28189.426	100.539	204.000	49.284
	17-Sep	190.660	0.680	40.000	1.700
	22-Sep	150.005	0.535	29.200	1.832
	28-Sep	151.407	0.540	24.900	2.169
1989	09-Jul	54.114	0.193	110.500	0.175
	01-Aug	182.249	0.650	29.400	2.211
	31-Aug	84.769	0.302	52.700	0.574
	21-Sep	3025.052	10.789	92.800	11.626
	01-Oct	6521.428	23.259	201.200	11.560
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	21-Jun	4300.795	15.339	127.400	12.040
	16-Sep	0.897	0.003	67.800	0.005
	17-Sep	249.541	0.890	37.000	2.405



APENDICE VIb. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentía).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 4					
1983	27-May	23.631	0.200	177.000	0.113
	13-Sep	16.896	0.143	6.100	2.344
	17-Sep	393.449	3.330	74.800	4.452
	20-Sep	209.131	1.770	58.000	3.052
	06-Oct	61.440	0.520	57.500	0.904
	17-Oct	16.541	0.140	76.900	0.182
1984	11-Jul	200.860	1.700	75.900	2.240
	06-Sep	60.731	0.514	135.500	0.379
	08-Sep	14.040	0.119	15.000	0.792
	10-Sep	7.916	0.067	29.000	0.231
	14-Sep	1981.426	16.770	103.500	16.203
1986	20-Sep	14.178	0.120	20.300	0.591
	20-Sep	35.446	0.300	111.900	0.268
	01-Oct	178.411	1.510	103.000	1.466
	20-Oct	15.980	0.135	45.900	0.295
1987	21-Oct	1.915	0.016	10.400	0.156
	25-Jul	1453.574	12.302	165.000	7.456
	31-Aug	56.479	0.478	16.600	2.880
	08-Sep	45.081	0.382	17.000	2.244
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
1988	26-Sep	887.719	7.513	77.500	9.695
	01-Jul	0.000	0.000	64.400	0.000
	18-Aug	2628.934	22.250	185.700	11.982
	05-Sep	10106.808	85.540	204.000	41.931
	17-Sep	66.166	0.560	40.000	1.400
	22-Sep	15.360	0.130	29.200	0.445
1989	28-Sep	174.748	1.479	24.900	5.940
	09-Jul	0.000	0.000	110.500	0.000
	01-Aug	62.542	0.529	29.400	1.800
	31-Aug	27.175	0.230	52.700	0.436
	21-Sep	1004.140	8.499	92.800	9.158
	01-Oct	2273.254	19.240	201.200	9.563
1990	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
	21-Jun	2280.353	19.300	127.400	15.149
	16-Sep	0.000	0.000	67.800	0.000
	17-Sep	47.261	0.400	37.000	1.081

APENDICE VIb. (Continuación) Porcentaje de lluvia escurrida, volumen y lámina de escurrimiento, para cada evento registrado durante el periodo 1983-1990. Serie con los datos calculados a partir de regresiones (NOTA: Las fechas faltantes se deben a fallas de registro; en 1985 no hubo escorrentia).

Año	Fecha	Volumen Total Escurrido m <sup>3</sup>	Lámina Total Escurrida mm	Lluvia mm	Lluvia Total Escurrida %
CUENCA 5					
1983	27-May	552.523	2.141	177.000	1.210
	13-Sep	216.093	0.837	6.100	13.728
	17-Sep	961.560	3.726	57.700	6.458
	20-Sep	1062.050	4.116	61.600	6.682
	06-Oct	310.497	1.203	44.300	2.716
	17-Oct	226.991	0.880	36.000	2.444
1984	12-Jul	924.761	3.584	71.300	5.026
	06-Sep	498.019	1.930	135.500	1.424
	08-Sep	72.251	0.280	14.100	1.986
	10-Sep	263.202	1.020	28.000	3.643
	14-Sep	5245.974	20.330	103.500	19.643
	20-Sep	54.189	0.210	11.000	1.909
1986	20-Sep	433.509	1.680	111.900	1.501
	01-Oct	1625.658	6.300	103.700	6.075
	20-Oct	74.832	0.290	56.900	0.510
	21-Oct	54.189	0.210	17.600	1.193
1987	25-Jul	3070.688	11.900	165.000	7.212
	31-Aug	46.447	0.180	16.600	1.084
	08-Sep	0.000	0.000	17.000	0.000
	23-Sep	0.000	0.000	32.000	0.000
	26-Sep	2737.815	10.610	77.500	13.690
1988	01-Jul	61.930	0.240	64.400	0.373
	18-Aug	9276.574	35.950	185.700	19.359
	05-Sep	27470.245	106.457	204.000	52.185
	17-Sep	1353.683	5.246	40.000	13.115
	22-Sep	469.635	1.820	29.200	6.233
	28-Sep	2011.688	7.796	24.900	31.309
1989	09-Jul	0.000	0.000	110.500	0.000
	01-Aug	61.930	0.240	29.400	0.816
	31-Aug	335.453	1.300	52.700	2.467
	21-Sep	2670.724	10.350	92.800	11.153
	01-Oct	6069.124	23.520	201.200	11.690
	10-Oct	0.000	0.000	8.700	0.000
1990	21-Jun	5702.706	22.100	127.400	17.347
	16-Sep	10.322	0.040	67.800	0.059
	17-Sep	175.468	0.680	37.000	1.838

APENDICE VII. Porcentaje de lluvia anual escurrida, volumen y lámina de escurrimiento anual (D.E.= Desviación Estándar).

CUENCA	AÑO	VOLUMEN m <sup>3</sup>	LAMINA mm	LLUVIA	
				ESCURRIDA %	LLUVIA mm
CUENCA 1	1983	1359.810	9.120	1.104	826.000
	1984	3386.106	22.710	2.771	819.600
	1985	0.000	0.000	0.000	373.700
	1986	1385.158	9.290	1.729	537.300
	1987	3284.717	22.030	3.905	564.100
	1988	18845.002	126.390	14.854	850.900
	1989	5634.499	37.790	4.215	896.500
	1990	2266.089	15.198	2.689	565.200
	MEDIA	4520.173	30.316	3.908	679.113
	D.E.	6030.683	40.447	4.638	191.951
CUENCA 2	1983	1833.674	9.502	1.150	826.000
	1984	4655.556	24.124	2.943	819.600
	1985	0.000	0.000	0.000	373.700
	1986	1935.073	10.027	1.866	537.300
	1987	5916.535	30.658	5.435	564.100
	1988	29683.143	153.813	18.077	850.900
	1989	5972.623	30.949	3.452	896.500
	1990	2584.994	13.395	2.370	565.200
	MEDIA	6572.700	34.059	4.412	679.113
	D.E.	9573.974	49.611	5.752	191.951
CUENCA 3	1983	1790.526	6.386	0.773	826.000
	1984	4543.536	16.205	1.977	819.600
	1985	0.000	0.000	0.000	373.700
	1986	2596.347	9.260	1.723	537.300
	1987	8091.853	28.860	5.116	564.100
	1988	36058.375	128.604	15.114	850.900
	1989	9867.612	35.193	3.926	896.500
	1990	4551.233	16.232	2.872	565.200
	MEDIA	8437.435	30.093	3.938	679.113
	D.E.	11617.943	41.436	4.806	191.951

APENDICE VII. (Continuación).

AÑO	VOLUMEN m <sup>3</sup>	LAMINA mm	LLUVIA ESCURRIDA %	LLUVIA mm
CUENCA 4 1983	721.088	6.103	0.739	826.000
1984	2279.151	19.290	2.354	819.600
1985	0.000	0.000	0.000	373.700
1986	231.752	1.961	0.365	537.300
1987	2442.854	20.675	3.665	564.100
1988	12992.016	109.959	12.923	850.900
1989	3367.111	28.498	3.179	896.500
1990	2327.614	19.700	3.485	565.200
MEDIA	3045.198	25.773	3.339	679.113
D.E.	4193.491	35.492	4.136	191.951
CUENCA 5 1983	3329.713	12.904	1.526	826.000
1984	7058.395	27.354	3.337	819.600
1985	0.000	0.000	0.000	373.700
1986	2188.188	8.480	1.578	537.300
1987	5854.950	22.690	4.022	564.100
1988	40643.754	157.509	18.511	850.900
1989	9137.232	35.410	3.950	896.500
1990	5888.496	22.820	4.038	565.200
MEDIA	9262.591	35.896	4.620	679.113
D.E.	13003.790	50.394	5.805	191.951

APENDICE VIII. Índice de infiltración (@) y coeficientes de escurrimiento (C y C') para diferentes tormentas (NOTA: Los eventos se eligieron con base en la calidad del registro).

CUENCA	FECHA	(a) LAMINA			(b)	(d)		
		LLUVIA TOTAL mm	ESC. TOTAL mm	@ mm/ 15 min	LLUVIA 1 HR mm	LAM.ESC. DIR. mm	C=d/a %	C'=d/b %
1	17 SEP 83	57.70	2.08	23.50	55.84	0.80	1.38	1.43
	12 JUL 84	71.30	3.45	8.84	13.75	1.06	1.49	7.71
	6 SEP 84	129.00	2.96	6.11	18.40	1.25	0.97	6.79
	14 SEP 84	92.70	16.30	22.12	72.35	3.70	3.99	5.11
	21 SEP 86	113.50	2.58	9.43	21.00	1.07	0.94	5.10
	1 OCT 86	85.00	6.50	9.36	16.00	0.64	0.75	4.00
	25 JUL 87	165.00	17.80	10.52	21.50	5.44	3.04	25.30
	31 AGO 87	17.00	0.43	11.71	0.00	0.29	1.70	*
	26 SEP 87	48.00	3.80	9.15	26.50	1.05	2.19	3.96
	1 JUL 88	65.00	0.43	10.63	43.00	0.37	0.57	0.86
	4 SEP 88	189.00	106.66	8.73	45.00	0.55	1.07	1.21
	28 SEP 88	25.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	*
	1 AGOS 89	29.00	0.80	11.84	0.00	0.16	0.53	*
	2	6 SEP 84	130.40	2.42	6.85	18.73	0.64	0.49
14 SEP 84		98.80	18.05	25.33	74.78	1.36	1.51	1.82
21 SEP 86		111.90	1.27	9.66	21.00	0.44	0.39	2.10
25 JUL 87		165.00	17.90	11.32	25.50	3.03	1.69	11.88
31 AGO 87		17.00	1.10	11.72	4.60	0.28	1.64	6.09
1 JUL 88		65.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	*
9 JUL 89		111.00	1.70	19.07	104.00	0.93	0.84	0.89
1 AGO 89		29.00	1.23	11.94	21.00	0.06	0.21	0.30
17 SEP 90		36.00	0.23	17.99	0.00	0.02	0.05	*
3	14 SEP 84	98.80	12.15	25.32	77.22	2.24	2.90	2.27
	21 SEP 86	111.90	1.10	9.69	21.00	0.41	0.37	1.95
	20 OCT 86	103.70	0.00	7.36	10.00	1.44	1.39	14.40
	25 JUL 87	165.00	12.68	11.80	50.00	1.60	0.89	3.20
	31 AGO 87	17.00	0.96	11.90	0.00	0.09	0.56	*
	26 SEP 87	48.00	13.30	9.64	28.00	0.57	1.18	2.02
	1 JUL 88	65.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	*
	4 SEP 88	189.00	100.54	8.90	47.00	0.20	0.38	0.41
	28 SEP 88	25.00	0.54	8.95	0.00	0.11	0.43	*
	9 JUL 89	111.00	0.19	19.97	111.00	0.03	0.03	0.03
	1 AGOS 89	29.00	0.65	11.94	29.00	0.06	0.20	0.20
17 SEP 90	36.00	0.89	17.97	0.00	0.05	0.15	*	

\* No se puede calcular debido a que "b" = 0

APENDICE VIII. (Continuación).

CUENCA	FECHA	(a) LAMINA			(b)	(d)		C'=d/b %
		LLUVIA TOTAL mm	ESC. TOTAL mm	@ mm/ 15 min	LLUVIA 1 HR mm	LAM.ESC. DIR. mm	C=d/a %	
4	17 SEP 83	74.80	3.33	29.06	70.32	1.54	2.06	2.19
	20 SEP 83	61.30	1.77	19.73	41.58	0.27	0.44	0.65
	6 OCT 83	52.00	0.52	8.18	18.93	0.33	0.63	1.74
	12 JUL 84	73.60	1.70	7.38	12.88	0.97	1.32	7.53
	6 SEP 84	130.50	0.51	7.30	19.20	0.38	0.29	1.98
	14 SEP 84	103.50	16.77	24.19	78.43	3.80	3.67	4.85
	21 SEP 86	111.90	0.30	5.77	14.50	0.23	0.21	1.59
	25 JUL 87	165.00	12.30	11.61	25.50	2.16	1.20	8.47
	1 JUL 88	65.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	*
	4 SEP 88	189.00	85.54	8.90	21.00	0.19	0.38	0.92
	28 SEP 88	25.00	1.48	8.75	0.00	0.51	2.04	*
	9 JUL 89	111.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	*
	21 JUN 90	128.00	12.90	3.38	38.00	0.62	0.48	1.63
	17 SEP 90	36.00	0.40	17.80	0.00	0.40	1.10	*
	5	6 SEP 84	135.50	1.93	6.51	18.93	1.17	0.86
14 SEP 84		103.50	20.33	22.66	78.43	5.33	5.15	6.80
21 SEP 86		111.90	1.68	7.16	11.00	1.34	1.20	12.18
25 JUL 87		165.00	11.90	11.03	36.00	3.89	2.17	10.80
31 AGO 87		17.00	0.18	11.89	0.00	0.11	0.62	*
26 SEP 87		48.00	10.61	9.70	28.00	0.50	1.04	1.78
1 JUL 88		65.00	0.24	10.81	54.00	0.19	0.29	0.35
4 SEP 88		189.00	106.46	8.80	21.00	0.38	0.75	1.82
28 SEP 88		25.00	7.80	8.50	0.00	1.00	4.00	*
9 JUL 89		111.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	*
1 AGO 89		29.00	0.24	11.90	10.00	0.10	0.35	1.02
21 JUN 90		128.00	15.60	1.71	60.00	2.29	1.79	3.82
17 SEP 90		36.00	0.68	17.78	0.00	0.44	1.21	*

\* No se puede calcular debido a que "b" = 0

APENDICE IX. Coordenadas de los hidrogramas unitarios.

CUENCA 1*		CUENCA 2*		CUENCA 3*	
Tiempo hr	Descarga $m^3 s^{-1}$	Tiempo hr	Descarga $m^3 s^{-1}$	Tiempo hr	Descarga $m^3 s^{-1}$
0.0000	0.0184	0.0000	0.0230	0.0000	0.0118
0.2500	0.0430	0.2500	0.0450	0.2500	0.0702
0.5000	0.0330	0.5000	0.0415	0.5000	0.0586
0.7500	0.0262	0.7500	0.0346	0.7500	0.0467
1.0000	0.0202	1.0000	0.0272	1.0000	0.0393
1.2500	0.0147	1.2500	0.0193	1.2500	0.0321
1.5000	0.0068	1.5000	0.0127	1.5000	0.0249
1.7500	0.0034	1.7500	0.0072	1.7500	0.0176
2.0000	0.0000	2.0000	0.0038	2.0000	0.0102
		2.2500	0.0000	2.2500	0.0000

CUENCA 4+		CUENCA 5+	
Tiempo hr	Descarga $m^3 s^{-1}$	Tiempo hr	Descarga $m^3 s^{-1}$
0.0000	0.0061	0.0000	0.0000
0.2500	0.0294	0.2500	0.0268
0.5000	0.0237	0.5000	0.0537
0.7500	0.0205	0.7500	0.0427
1.0000	0.0169	1.0000	0.0362
1.2500	0.0123	1.2500	0.0310
1.5000	0.0085	1.5000	0.0254
1.7500	0.0065	1.7500	0.0199
2.0000	0.0045	2.0000	0.0166
2.2500	0.0030	2.2500	0.0133
2.5000	0.0000	2.5000	0.0100
		2.7500	0.0077
		3.0000	0.0033
		3.2500	0.0000

\* Hidrograma unitario obtenido usando el método "Tradicional"

+ Hidrograma unitario obtenido usando el método "Instantáneo"

APENDICE X. Lamina de escurrimiento promedio de las cinco cuencas, indice de precipitacion antecedente (IPA) precipitacion (P) e intensidad de la lluvia (I), para cada escurrimiento registrado durante el periodo de estudio.

ANO	FECHA	LAMINA PROMEDIO mm	IPA mm	P mm	I mm/15 min
1983	27-May	1.260	0.000	177.000	6.321
	13-Sep	0.072	62.367	6.100	0.600
	17-Sep	2.705	35.488	54.300	7.757
	20-Sep	3.060	61.026	65.600	3.150
	06-Oct	0.405	24.497	53.000	5.666
	17-Oct	0.110	23.701	31.300	1.240
1984	11-Jul	2.575	48.929	46.500	2.447
	06-Sep	1.956	61.678	113.000	0.920
	08-Sep	0.230	91.764	15.000	1.250
	10-Sep	0.307	86.049	29.000	1.281
	14-Sep	16.720	64.274	83.000	4.389
	20-Sep	0.083	65.911	11.000	11.000
1986	20-Sep	1.386	35.890	97.500	2.038
	01-Oct	6.120	26.322	94.900	0.954
	20-Oct	0.250	14.541	47.000	1.958
	21-Oct	0.105	61.541	20.000	0.400
1987	25-Jul	15.070	98.213	165.000	2.458
	31-Aug	0.668	50.430	16.600	5.333
	08-Sep	0.550	51.517	17.000	3.400
	23-Sep	0.104	16.603	32.000	5.200
	26-Sep	9.237	48.259	77.500	4.204
1988	01-Jul	0.134	37.299	64.400	6.444
	18-Aug	27.187	108.582	185.700	3.738
	05-Sep	99.799	100.237	204.000	4.069
	17-Sep	1.622	44.509	40.000	*
	22-Sep	0.621	37.835	29.200	20.000
	28-Sep	2.454	29.155	24.900	8.333
1989	09-Jul	0.473	7.730	110.500	6.627
	01-Aug	0.730	56.755	29.400	2.940
	31-Aug	0.563	34.606	52.700	1.013
	21-Sep	11.455	72.846	92.800	1.341
	01-Oct	23.520	29.550	201.200	9.944
	10-Oct	0.020	76.196	8.700	3.500
1990	21-Jun	20.700	30.388	127.400	2.082
	16-Sep	0.011	14.397	67.800	16.500
	17-Sep	0.550	74.068	37.000	18.000

\* Falta el dato



APENDICE XI. Descargas maximas de cada escurrimiento registrado en las cuencas ( $m^3 s^{-1}$ ).

ANO	FECHA	C1	C2	C3	C4	C5
1983	27-May	15.546	*	*	2.180	*
	13-Sep	0.000	*	*	0.991	*
	17-Sep	40.780	*	*	43.040	*
	20-Sep	27.800	*	*	7.480	*
	06-Oct	4.420	*	*	10.330	*
	17-Oct	0.980	*	*	1.520	*
1984	12-Jul	41.910	*	*	26.050	*
	06-Sep	43.040	21.940	*	7.930	40.780
	08-Sep	0.000	0.660	*	*	2.410
	10-Sep	0.000	0.297	*	0.206	3.200
	14-Sep	194.540	69.700	47.860	107.600	232.200
	20-Sep	0.000	0.000	*	2.410	5.862
1985	TOT	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1986	21-Sep	32.480	16.200	9.830	4.420	38.510
	01-Oct	28.710	14.270	28.710	5.100	40.780
	20-Oct	1.330	2.170	*	*	2.920
1987	21-Oct	0.000	*	*	*	1.720
	25-Jul	170.466	137.052	115.532	*	180.943
	31-Aug	7.929	10.336	5.097	*	4.417
	06-Sep	0.000	1.727	5.097	*	0.000
	23-Sep	0.000	0.000	1.529	0.000	0.000
	26-Sep	24.381	*	33.470	*	30.582
1988	01-Jul	16.197	0.000	0.000	0.000	8.382
	17-Aug	32.479	*	40.776	*	46.722
	04-Sep	238.426	*	319.978	107.603	214.357
	17-Sep	0.000	*	3.520	4.757	16.197
	22-Sep	0.000	*	1.140	1.727	11.383
	28-Sep	0.000	*	5.570	18.236	71.075
1989	09-Jul	*	43.041	1.727	0.000	0.000
	01-Aug	6.626	3.483	3.483	*	3.794
	31-Aug	1.331	*	*	1.331	10.336
	21-Sep	34.546	*	*	*	47.855
	01-Oct	257.681	*	*	*	175.563
	10-Oct	0.651	0.000	0.000	0.000	0.000
1990	21-Jun	*	*	*	38.511	130.256
	16-Sep	*	0.000	0.396	0.000	1.331
	17-Sep	*	0.821	3.794	8.382	17.556

\* Falta el dato



## APENDICE XII. Descripción del modelo Gamma de distribución de probabilidades.

La distribución Gamma es una función de probabilidades de dos parámetros, dada por la siguiente ecuación (Ezcurra & Rodrigues, op.cit.):

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\tau)} x^{(\tau-1)} e^{-x/\beta} ; \quad \beta > 0, \tau > 0$$

donde  $x$  es una variable aleatoria (cantidad de escorrentía en este caso), y  $F(x)$  es la frecuencia de probabilística, de tal forma que  $f(x)=0$  para toda  $x < 0$ . Esto significa que la distribución tiene al cero como límite inferior, pero no presenta límite superior en el campo de los números reales positivos.  $\beta$  es el parámetro escalar, y  $\tau$  es el parámetro que define la forma.  $\Gamma(\tau)$  es la función gamma ordinaria de tal forma que:

$$\Gamma(\tau) = \int_0^{\infty} x^{(\tau-1)} e^{-x} dx$$

La distribución gamma está positivamente sesgada, estando el sesgo inversamente relacionado con el parámetro  $\tau$ ; esto significa que conforme crece  $\tau$  la distribución se hace más simétrica. Para valores de  $\tau$  menores que uno y mayores o iguales que cero, la distribución tiene forma de J invertida, con moda de cero.

El programa Gamma, utilizado en el ajuste de los datos, hace la estimación de los parámetros  $\tau$  y  $\beta$  a partir de las ecuaciones de máxima verosimilitud descritas por Thom (1958, citado en Valiente, 1991).  $\tau$  se calcula como:

APENDICE XII. (Continuación).

$$\tau = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 Y/3}}{4 Y}$$

donde  $Y = \log X - [\Sigma \log x/n]$  ;  $\underline{X}$  es el promedio de los datos, y  $\underline{n}$  es el número de datos. Cuando  $x = 0$ ,  $Y = 1/(n+1)$  para evitar la indeterminación del  $\log 0$ . El parámetro  $\beta$  se calcula como:

$$\beta = X / \tau$$

**APENDICE XIII. Error en los hidrogramas esperados, obtenidos  
a partir de los hidrogramas unitarios.**

I. Cálculo del error en las ordenadas de los hidrogramas esperados:

a) Se estandarizan las ordenadas de los hidrogramas esperados ( $Q^{\wedge}$ ) y observados ( $Q$ ), dividiendo cada una de las ordenadas entre la suma de las ordenadas del hidrograma observado (SUM 1).

b) Una vez obtenidas las ordenadas estandarizadas para los hidrogramas esperados y observados ( $q^{\wedge}$  y  $q$  respectivamente), se calcula el error ( $E$ ), a partir de la diferencia al cuadrado de ambas ( $q-q^{\wedge}$ ).

c) Se obtiene el porcentaje de error (%E) para cada ordenada, dividiendo su diferencia al cuadrado entre la suma total del error (SUM 2). A continuación se presentan los errores obtenidos para cada cuenca.

CUENCA I

$Q^{\wedge}$	$Q$	$q^{\wedge}$ ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	$q$ ( $Q/SUM1$ )	$E$ ( $q-q^{\wedge}$ ) <sup>2</sup>	% E ( $E/SUM2*100$ )
0.0272	0.0345	0.0302	0.0383	0.0001	0.4943
0.1092	0.0510	0.1212	0.0566	0.0042	30.9021
0.1827	0.1654	0.2027	0.1835	0.0004	2.7249
0.1843	0.1395	0.2046	0.1548	0.0025	18.3764
0.1438	0.1133	0.1596	0.1257	0.0011	8.5024
0.1106	0.1029	0.1228	0.1142	0.0001	0.5372
0.0763	0.0920	0.0847	0.1021	0.0003	2.2541
0.0436	0.0677	0.0484	0.0751	0.0007	5.2867
0.0185	0.0538	0.0205	0.0597	0.0015	11.3650
0.0051	0.0402	0.0056	0.0446	0.0015	11.2656
0.0000	0.0266	0.0000	0.0295	0.0009	6.4629
0.0000	0.0142	0.0000	0.0157	0.0002	1.8286
	0.9010			0.0135	
	SUM 1			SUM 2	

APENDICE XIII. (Continuación)

CUENCA II

$\hat{Q}$	Q	$q^{\wedge}$ ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	q ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	E ( $q^{\wedge}-q$ ) <sup>2</sup>	% E ( $E/SUM2*100$ )
0.0105	0.0078	0.0207	0.0153	0.0000	0.3538
0.0541	0.0306	0.1064	0.0602	0.0021	26.2415
0.0951	0.0827	0.1870	0.1626	0.0006	7.3028
0.0969	0.0776	0.1906	0.1526	0.0014	17.6622
0.0818	0.0697	0.1610	0.1370	0.0006	7.0343
0.0643	0.0614	0.1265	0.1209	0.0000	0.3933
0.0464	0.0524	0.0913	0.1030	0.0001	1.6916
0.0307	0.0430	0.0603	0.0847	0.0006	7.2452
0.0180	0.0340	0.0355	0.0668	0.0010	12.0514
0.0088	0.0229	0.0172	0.0451	0.0008	9.5146
0.0017	0.0127	0.0034	0.0251	0.0005	5.7600
0.0000	0.0088	0.0000	0.0173	0.0003	3.6513
0.0000	0.0048	0.0000	0.0095	0.0001	1.0981
	0.5084			0.0082	
	SUM 1			SUM 2	

CUENCA III

$\hat{Q}$	Q	$q^{\wedge}$ ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	q ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	E ( $q^{\wedge}-q$ ) <sup>2</sup>	% E ( $E/SUM2*100$ )
0.0003	0.0009	0.0379	0.1064	0.0047	27.4583
0.0020	0.0011	0.2249	0.1293	0.0091	53.4604
0.0016	0.0013	0.1876	0.1487	0.0015	8.8390
0.0013	0.0012	0.1498	0.1384	0.0001	0.7491
0.0011	0.0011	0.1260	0.1236	0.0000	0.0353
0.0009	0.0009	0.1029	0.1076	0.0000	0.1288
0.0007	0.0008	0.0797	0.0927	0.0002	0.9865
0.0005	0.0006	0.0565	0.0732	0.0003	1.6321
0.0003	0.0005	0.0328	0.0526	0.0004	2.3034
0.0000	0.0002	0.0000	0.0275	0.0008	4.4071
	0.0087			0.0171	
	SUM 1			SUM 2	

APENDICE XIII. (Continuación).

CUENCA IV

$\hat{Q}$	Q	$q^{\wedge}$ ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	q ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	E ( $q^{\wedge}-q$ ) <sup>2</sup>	% E ( $E/SUM2*100$ )
0.0037	0.0162	0.0462	0.1999	0.0236	87.9015
0.0182	0.0173	0.2240	0.2128	0.0001	0.4636
0.0146	0.0140	0.1801	0.1720	0.0001	0.2438
0.0127	0.0109	0.1559	0.1343	0.0005	1.7287
0.0104	0.0089	0.1287	0.1103	0.0003	1.2579
0.0076	0.0070	0.0938	0.0865	0.0001	0.1986
0.0053	0.0046	0.0651	0.0562	0.0001	0.2950
0.0040	0.0023	0.0492	0.0279	0.0005	1.6831
0.0028	0.0000	0.0341	0.0000	0.0012	4.3116
0.0018	0.0000	0.0227	0.0000	0.0005	1.9163
	0.0812			0.0269	
	SUM 1			SUM 2	

CUENCA V

$\hat{Q}$	Q	$q^{\wedge}$ ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	q ( $Q^{\wedge}/SUM1$ )	E ( $q^{\wedge}-q$ ) <sup>2</sup>	% E ( $E/SUM2*100$ )
0.0886	0.1650	0.0936	0.1742	0.0065	83.9769
0.1776	0.1575	0.1875	0.1663	0.0004	5.7913
0.1412	0.1458	0.1491	0.1540	0.0000	0.3081
0.1196	0.1215	0.1263	0.1282	0.0000	0.0513
0.1023	0.0915	0.1080	0.0966	0.0001	1.6905
0.0839	0.0787	0.0886	0.0831	0.0000	0.3906
0.0658	0.0606	0.0695	0.0640	0.0000	0.3946
0.0549	0.0419	0.0579	0.0442	0.0002	2.4145
0.0439	0.0326	0.0463	0.0344	0.0001	1.8458
0.0329	0.0235	0.0348	0.0248	0.0001	1.2754
0.0256	0.0153	0.0270	0.0161	0.0001	1.5301
0.0110	0.0090	0.0116	0.0095	0.0000	0.0573
0.0000	0.0044	0.0000	0.0046	0.0000	0.2737
	0.9472			0.0077	
	SUM 1			SUM 2	

### APENDICE XIII. (Continuación).

#### II Cálculo del error en la descarga máxima

El error en la descarga máxima ( $E_m$ ) para cada hidrograma esperado se obtuvo restando la descarga máxima del hidrograma observado ( $M_o$ ), menos la descarga máxima del hidrograma esperado ( $M_e$ ), y dividiendo el valor absoluto de esta diferencia, entre la descarga máxima observada:

$$E_m = \frac{|M_o - M_e|}{M_o} * 100$$

Los errores para la descarga máxima fueron:

	$M_o$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$M_e$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$E_m$ (%)
CUENCA I	0.1654	0.1843	11.430
CUENCA II	0.0827	0.0969	17.170
CUENCA III	0.0013	0.0020	53.896
CUENCA IV	0.0173	0.0182	5.200
CUENCA V	0.1650	0.1776	7.640