

5358

FACULTAD DE INGENIERIA

Criterio para Generar y Predecir Escurrimientos en las Diversas Corrientes que Componen la Cuenca del Río Tuxpan, Ver.

DESCARTE

T E S I S

Que para obtener el título de :

I N G E N I E R O C I V I L

p r e s e n t a :

DAVID JESUS SAICHEZ REYES



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES
CON GRATITUD Y CARÍO

A MI HERMANO
CON APRECIO

AL DR. ROLANDO SPRINGALL G.
CON MI AGRADECIMIENTO POR LA
DIRECCION DE ESTA TESIS



FACULTAD DE INGENIERIA
Exámenes Profesionales
Núm. 40-65
Exp. Núm. 40/214.2/

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Al Pasante señor DAVID JESUS SANCHEZ REYES,
P r e s e n t e .

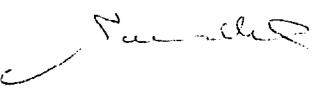
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Dr. Rolando Springall Galindo, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CRITERIO PARA GENERAR Y PREDECIR ESCURRI-
MIENTOS EN LAS DIVERSAS CORRIENTES QUE
COMPONEN LA CUENCA DEL RIO TUXPAN, VER."

- I. Introducción
- II. Información disponible
- III. Procesamiento de lluvias
- IV. Procesamiento de escurrimientos
- V. Modelo lluvia-escurrimiento
- VI. Conclusiones

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá -- prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de -- seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la -- Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., a 10 de abril de 1975
EL DIRECTOR


ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON


EVC/CSA/glt.

INDICE GENERAL

I.	<u>INTRODUCCION</u>	1
II.	<u>INFORMACION DISPONIBLE</u>	4
II.1	<u>Generalidades</u>	4
II.2	<u>Localización</u>	5
II.3	<u>Orografía</u>	6
II.4	<u>Geología</u>	7
II.5	<u>Climatología</u>	8
II.5.1	Lluvia	8
II.5.2	Temperatura	9
II.5.3	Evaporación	9
II.6	<u>Hidrometría</u>	10
III.	<u>PROCESAMIENTO DE LLUVIAS</u>	11
IV.	<u>PROCESAMIENTO DE ESCURRIMIENTOS</u>	13
V.	<u>MODELO LLUVIA - ESCURRIMIENTO</u>	21
V.1	<u>Correlación simple y múltiple</u>	21
V.1.1	Correlación simple	21
V.1.2	Correlación múltiple	26

V.2	<u>Generación de información hidrológica</u>	32
V.2.1	Series Cronológicas	32
V.2.2	Procesos de generación	34
V.3	<u>Elaboración del Modelo</u>	39
V.3.1	Modelo a partir de escurrimientos	40
V.3.2	Modelo a partir de lluvias	41
V.3.3	Integración del modelo	41
V.3.4	Generalización del modelo	42
V.4	<u>Calibración del Modelo</u>	43
VI.	<u>CONCLUSIONES</u>	45

I. INTRODUCCION

Al elegir el lugar del proyecto de alguna obra hidráulica es muy probable que no se cuente con mediciones del régimen de escurrimiento de la corriente en dicho sitio. Una forma usual de estimar escurrimientos cuando se tiene una estación hidrométrica aguas arriba o aguas abajo del sitio, es el de considerar que para dicho sitio el volumen de escurrimiento medio es proporcional al aforado, afectando éste por un porcentaje que está en función de las áreas drenadas hasta la estación medidora y el lugar del proyecto. Este método resulta sumamente práctico; sin embargo, no es recomendable ya que el escurrimiento depende de diversos factores y no solamente del área drenada; por lo tanto el volumen que se obtenga con el

criterio anterior puede ser completamente distinto al real. Además, si en una corriente no se cuenta con registros hidrométricos no se puede emplear el criterio anterior.

La idea fundamental de este trabajo es presentar un criterio para predecir y generar escurrimientos en sitios que carezcan de control hidrométrico, que permita inferirlos a partir del análisis de volúmenes escurridos en cuencas con registros hidrométricos en relación con el régimen de lluvia, definiendo un modelo matemático lluvia - escurrimiento para el sitio del proyecto, teniendo en cuenta solamente su régimen pluviométrico y sus características fisiográficas.

Dada la complejidad de la comprobación de la veracidad del modelo que se propone, se vió la conveniencia de elaborarlo y aplicarlo a una zona hidrológica real. Por lo tanto se eligió para el estudio una extensa zona de la región del Golfo de México, dentro de la cual se ubica la cuenca del río Tuxpan en el estado de Veracruz. Dicha región cuenta con escasa información hidrométrica pero, por otro lado, se estima que tiene grandes probabilidades de desarrollo.

Esto implica que en un futuro próximo se construirán obras de Ingeniería Civil dentro de las cuales se encuentran las obras hidráulicas, para lo cual será muy importante conocer el régimen hidrométrico en distintas corrientes de la zona, pudiendose en este caso utilizar el modelo aquí

propuesto.

Para lo anterior se planteó un programa de trabajo, cuyos conceptos y resúmenes se muestran aquí en forma de capítulos.

Cap II Se indica las características de la zona y la información disponible.

Cap III y IV Se presentan los procesamientos de los registros de lluvia y escurrimiento disponibles, así como la descripción de las estaciones hidrométricas que se emplean en el estudio.

Cap V Define el criterio que se propone para generalizar y predecir escurrimientos en la zona, complementado con la teoría fundamental en que se basa la elaboración del modelo.

Cap VI Conclusiones.

II. INFORMACION DISPONIBLE

II.1 Generalidades

Se dispone de cartas de la zona a escala 1:500 000 elaborados por la - -
Secretaría de la Defensa Nacional, en base a las que se obtuvieron las ca-
racterísticas fisiográficas de las cuencas que se muestran en la tabla II.1.
El área de las cuencas se determinó con planímetro y la longitud de los -
cauces principales con curvímetro. El criterio que se siguió para deter-
minar la pendiente del cauce es el de aceptarla como la línea que se apo-
ya en el extremo final del perfil del tramo de cauce por estudiar y cuya -
propiedad es contener la misma área abajo de ella como en su parte supe-
rior.

En la figura II.1 se muestra el plano de localización de la zona en estudio, así como la ubicación de estaciones climatológicas e hidrométricas que se utilizaron en el mismo.

II.2 Localización

La zona en estudio se localiza en su mayor parte en la Región Hidrológica 27, abarcando una pequeña parte de la Región Hidrológica 26 según la regionalización realizada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en la parte central del Golfo de México.

La hidrografía de la región esta integrada por ríos, lagunas, esteros y corrientes menores. Entre los primeros se tienen los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla, Colipa, Calabozo, Los Hules. Estos dos últimos se unen para formar el río Tempoal que aguas arriba cambia de nombre por el de Moctezuma que es uno de los afluentes principales del río Panuco.

Las lagunas más importantes son: Tamiahua, Laguna Chica, Laguna Grande, San Agustín.

Las corrientes de la región se desarrollan fundamentalmente en el estado de Veracruz, aunque cubren una importante zona del estado de Puebla, y áreas menores en los estados de Hidalgo y Tlaxcala.

II.3 Orografía

El accidente orográfico más importante de la región está formado por la - Sierra Madre Oriental, que se extiende desde Texas hasta el Cofre de Perote y que en su extremo sureste recibe el nombre de Sierra de Hidalgo, - - Sierra de Puebla y otras denominaciones locales.

Al oriente se extiende la planicie costera formada por un litoral cóncavo y sinuoso cuyo mayor desarrollo se encuentra en la porción norte y va disminuyendo hacia el sur, hasta las estribaciones de la cordillera Neovolcánica que llegan al mar. La zona de contacto de estas regiones geomórficas se conocen con el nombre de Huasteca y en ella la Sierra Madre Oriental alcanza alturas importantes, a partir de donde los ríos fluyen bruscamente y labran su curso por valles y lomeríos paralelos a las corrientes principales. El litoral del Golfo de México en el tramo correspondiente a la región, no es diferente al resto de las costas del propio Golfo, en general es una playa baja arenosa que excepcionalmente presenta afloramientos rocosos en algunas eminencias que están próximas a las costas.

La laguna de Tamiahua se comunica al Golfo de México por la bahía de - - Tanhujo y 10 km al sur de ella desemboca al río Tuxpan formando una barra; la costa sigue en dirección sureste con muchos meándros así como lagunetas y pantanos pequeños los que, en la temporada de lluvias, cubren amplias extenu

siones.

Al oeste y contigua al litoral se extiende la zona de topografía ondulada cubierta de vegetación exuberante, que contrasta con el litoral formado de dunas y áreas planas arenosas donde la cubierta vegetal es de escaso desarrollo.

II.4 Geología

El área en que se sitúa la zona en estudio está ubicada en la porción más suroriental de la Sierra Madre Oriental, así como en la parte frontal de las provincias fisiográficas denominadas Mesa Central y Faja Costera del Golfo de México.

Tomando como base la porción más occidental de la región se considera que afloran en dicha zona rocas volcánicas del Cenozoico Medio y Superior, las que se encuentran en discordancia petrográfica con areniscas, lutitas y calizas del Jurásico y Cretácico Superior rocas que generalmente afloran a lo largo de la Sierra Madre Oriental.

Sobreyacen a los sedimentos antes mencionados y sobre el flanco oriental de la Sierra, calizas, lutitas, areniscas y margas, así como conglomerado del Cretácico Superior, Paleoceno, Eoceno y Oligoceno; estos sedimentos conservan un rumbo noroeste - sureste.

Las arenas del Mioceno y los sedimentos recientes del Plioceno y Pleistoceno se sitúan de una manera burda y general en la planicie costera del -

Golfo.

Estructuralmente la región estudiada forma parte de los plegamientos de la Sierra Madre Oriental, los que manifiestan grandes estructuras geológicas que constituyen una serie de anticlinales, sinclinales, fallas y fracturas menores, las que presentan rumbo oeste - noroeste y este - sureste. Los recursos naturales como son, bosques, minería y agua adquieren - gran importancia en la zona más occidental que se estudia.

II.5 Climatología

El clima de la región según Thornthwaite se clasifica como "muy húmedo a húmedo sin estación seca bien definida"; cálida en partes y en otras semiseco o templado. La estación invernal no está bien definida.

La vegetación es de bosques de coníferas.

Para el estudio de la zona se seleccionaron las estaciones climatológicas que se muestran en la tabla II.2

II.5.1 Lluvia

Las precipitaciones más elevadas se manifiestan en la cuenca del río Tecolutla. La estación Cuetzalan registró valores de lluvia anual de 6017.5 mm con un promedio de 4412.5 mm. El régimen fluvial manifiesta de una manera general un período de ocurrencia entre junio y octubre, en el que se presentan los valores más altos; registrándose además una etapa entre diciembre y febrero en el que los nortes provocan precipitaciones de me-

nor cuantía. En la zona montañosa el régimen fluvial presenta concentraciones en los meses de junio a septiembre. La precipitación media anual en la estación Cuetzalan es de 4412.5 mm y corresponde a la máxima registrada en la región.

II.5.2 Temperatura

El contraste topográfico existente entre las zonas montañosas y la planicie costera de la región, provoca una diferencia en la temperatura media anual de 8.4° C. En la zona montañosa la estación Ixtacamaxtitlán registró valores de 16.2° C, teniéndose registros de 20.4° C en la porción intermedia. La temperatura máxima en la zona alta se manifiesta entre abril y septiembre con valores de 33 a 40° C en la estación Tuxpan y las mayores observadas se han registrado en la porción norte extrema de la región Ozuluama con 45° C.

Las temperaturas mínimas en la zona alta se presentan de octubre a marzo cuyos valores fluctúan de 4° C a 5° C en Ixtacamaxtitlán. En la planicie costera se han registrado las mínimas de noviembre a marzo con valores de 6.5° C. En la porción intermedia las temperaturas ocurren de diciembre a febrero con valores hasta de 0.5° C en Poza Rica. En Tuxpan y Tecolutla la mínima registrada es de 1° y 2° C.

II.5.3 Evaporación

De las estaciones seleccionadas y consideradas como las más representa

tivas de la región en estudio, únicamente Poza Rica proporciona datos de evaporación, por lo que se consideró pertinente no efectuar comparaciones de las condiciones de evaporación que se manifiestan en las diferentes zonas de la región.

II.6 Hidrometría

La región seleccionada para el estudio dispone de control sobre los ríos - Calabozo, Los Hules, Cazonos, Tecolutla y Pantepec, a través de las estaciones hidrométricas de Terrerillos, Los Hules, Poza Rica, Remolino y Alamo respectivamente.

III. PROCESAMIENTO DE LLUVIAS

El estudio de las lluvias se inició con la recabación de información pluviométrica disponible en las 24 estaciones climatológicas ubicadas dentro y en las proximidades de la zona en estudio (tabla II.2), dividiendo la misma en 5 cuencas dotadas de control hidrométrico el cual es llevado por las estaciones Los Hules, Terrerillos, Alamo, Poza Rica de Hidalgo y el Remolino.

Para determinar la altura de lluvia media mensual por cuenca, cada una de ellas se analizó mediante el método de los polígonos de Thiessen (Fig. III.1), definiendo así, el área de influencia de cada estación (tablas -

III.1. a, b, c, d, e). Dicho método permite utilizar la ecuación

$$h_{p_m} = \frac{h_{p_i} A_i}{A_T}$$

donde

- h_{p_m} Altura de lluvia media mensual en la cuenca en estudio, en mm.
- h_{p_i} Altura de lluvia mensual en la estación climatológica i , en mm.
- A_i Area del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i , en Km^2
- A_T Area total de la cuenca, en Km^2

En las tablas III.2, a, b, c, d, e, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los años del período 1962 - 1972, que es al que se limitó tanto el estudio de lluvias como de escurrimientos, con el propósito de uniformizar períodos.

En algunas estaciones fué necesario ampliar y completar datos faltantes, para lo cual se empleó la teoría de la correlación utilizando los datos de la estación en estudio y los de diversas estaciones cercanas a la misma. La teoría anterior se muestra en el capítulo V.

IV. PROCESAMIENTO DE ESCURRIMIENTOS

De acuerdo a lo mencionado en capítulos anteriores las estaciones hidrométricas que se utilizan en el estudio, todas en el estado de Veracruz, son las siguientes:

Terrerillos

Los Hules

Poza Rica

Remolino

Alamo

A continuación se proporcionan algunas de las características más importantes de las estaciones hidrométricas mencionadas.

Estación Torrenillos, Ver.

Cuenca general : Río Pánuco

Corriente : Río Calabozo

Nace a una elevación de 2 100 m sobre el nivel del mar a 4 Km al suroeste de Huayacocotla, Ver., muy cercano al límite con el estado de Hidalgo, siendo conocido sucesivamente con los nombres de río Hormiguero, Onahuatlán y del Encinal; al recibir por margen derecha la aportación del río Garcés, su nombre cambia al de río Calabozo, internándose en una zona francamente plana. Después de recibir por margen izquierda las aportaciones del río los Hules, se conoce a la corriente como río Tempoal, desarrollándose en el estado de Veracruz hasta desembocar por margen derecha al colector general (río Moctezuma).

La estación se localiza en la zona plana del río a 5 Km aguas arriba de la confluencia por margen derecha, del arroyo de Camaitlán al río Calabozo.

Coordenadas : Long. W. G. 98° 08.5'; Lat. N.: 21° 02.5'

Ubicación : Se encuentra a 8 Km al noroeste de Chicontepec en el mu

nicipio del mismo nombre, en el estado de Veracruz.

Acceso: Con origen en Tampico y por carretera a Tuxpan, Ver., a la altura del Km 162, se encuentra San Sebastian, -- Ver., de donde parte un camino a la derecha rumbo a -- Chicontepec, Ver., por el cual se recorren 25 Km. hasta encontrar una brecha a la derecha por la cual, con re corrido de 500 m se llega a la estación.

Estación Los Hules, Ver.

Cuenca General: Río Pánuco.

Corriente: Río Los Hules.

Esta corriente es el principal afluente del río Tempoal. Nace a una elevación de 2300 m.s.n.m., 5 Km al poniente de Zacualtipán, Hgo., con el nombre de arroyo la -- Malita, tomando posteriormente los de río Chinameca, -- Atlapexco y río de los Hules. Su rumbo general es nor- oriente; drena las estribaciones de la Sierra Madre -- Oriental y su topografía en general es accidentada salvo en la parte baja, antes de su confluencia por margen izquierda al río Calabozo que, a partir de esta confluencia cambia su nombre al de río Tempoal.

La estación se localiza a 7 Km aguas abajo de la confluencia del río de la Candelaria al Atlapexco, en la zona baja del río.

Coordenados: Long. W. G.: $98^{\circ} 16.5'$ Lat. N.: $21^{\circ} 10.0'$

Ubicación: Se encuentra a unos 15 Km al sureste del poblado de Platón Sánchez, en el municipio de Platón Sánchez, estado de Veracruz.

Acceso: Con origen en Tampico y por la carretera rumbo a Tuxpan, Ver., a la altura del Km 162, se encuentra San Sebastian, Ver., existiendo a la derecha una desviación a Chicontepec, Ver., por lo cual se corren 12 Km hasta San Diego, donde se toma el camino real que conduce a Huejutla, -- Hgo., recorriéndose 11 Km hasta la estación, pasando por Chapopote Chico.

Estación Poza Rica, Ver.

Cuenca General: Río Cazones

Corriente: Río Cazones

Nace en el parteaguas con la cuenca del río Grande de Tulancingo, Hgo., a una elevación de 2750 m con el nombre de arroyo Chaltecontla; sigue un rumbo noreste y es controlado por la presa Los Reyes (Miltepec) que ali

menta a la presa Necaxa mediante un tunel que atraviesa el parteaguas con el río Tecolutla. Aguas abajo de esta presa cruza una zona de topografía abrupta, donde recibe por margen izquierda al arroyo Pahuatitla y cambia su nombre al de río San Marcos.

En San Pedro Petlacotla, Pue., cambia su curso al -- oriente-nororiente y discurre por una zona de topografía media hasta Poza Rica, Ver., sitio en el que varía su rumbo a nororiente y penetra a la llanura costera, en la que se conoce como río Cazones, finalmente desemboca en el Golfo de México.

Coordenadas: Long. W.G. $97^{\circ}28' 30''$; Lat. N. $20^{\circ}32' 48''$

Ubicación: La estación esta situada sobre el río Cazones en el cruce con la carretera Papantla - Tuxpan, en las afueras de Poza Rica, hacia el N.N.W, dentro del municipio del mismo nombre, en el estado de Veracruz.

Acceso: Se efectúa por la carretera antes citada que se encuentra asfaltada y que constituye un tramo del ramal Nautla-Tecolutla-Poza Rica-Tuxpan.

Estación Remolino, Ver.

Cuenca General : Rfío Tecolutla.

Corriente Rfío Tecolutla.

Nace a 3500 m.s.n.m., a 20 Km al norte de Huamantla - de Juárez, Tlax., recibiendo sucesivamente los nombres de arroyo Zapata y ríos Coyuca, Apulco y Tecolutla, este último aguas abajo de la afluencia por margen izquierda del río Laxaxalpan. La última parte de su recorrido - transcurre en una zona plana, pasa por las inmediaciones de Gutiérrez Zamora, Ver. y desemboca en el Golfo de México a la altura de la barra de Tecolutla.

Coordenadas : Long. W. G. $97^{\circ} 15' 06''$; Lat. N. $20^{\circ} 23' 54''$

Ubicación : Se localiza sobre el río Tecolutla, a 300 m aguas arriba del puente colgante del camino Papantla - San Andrés y a 9 Km al sureste de Papantla, dentro del municipio del mismo nombre, estado de Veracruz.

Acceso : Se efectúa por la carretera México - Poza Rica, desviándose en Papantla por el camino pavimentado que conduce a las instalaciones petroleras de San Andrés; 5 Km antes de llegar a este último sitio se cruza el río Tecolutla sobre un puente colgante, localizándose la estación a 300 m aguas arriba.

Estación Alamo, Ver.

Cuenca General: Río Tuxpan

Corriente: Río Pantepec

Esta corriente nace con el nombre de río Pantepec a 8 Km al poniente de Tenango de Donia, Hgo., en el parteaguas - con la cuenca del río Grande de Tulancingo a una elevación de 2750 m, en una zona de topografía sumamente accidentada. Aguas abajo de Pantepec, Pue., cambia su curso al norte; recibe por margen izquierda las aportaciones del río Beltrán y ya en la llanura costera, 9 Km aguas arriba de Alamo, Ver., recibe por margen izquierda su principal afluente, el río Vinazco. La topografía de los afluentes mencionados es tan accidentada como la del río Pantepec en su parte alta, lo que aunado a las grandes precipitaciones de la región dan lugar a una apreciable potencialidad hidroeléctrica. Aguas abajo de Alamo, Ver., la corriente es conocida como río Tuxpan, localizándose en sus margenes extensas áreas planas con posibilidades de riego. Desemboca en el Golfo de México en el sitio denominado Barra de Tuxpan.

- Coordenadas: Long. W. G. $97^{\circ} 40' 24''$; Lat. N. $20^{\circ} 55' 54''$
- Ubicación: La estación está ubicada sobre el río Pantepec a 3 Km - al norte del poblado El Alamo y frente a la congregación de Chapopote, dentro del municipio de Alamo, en el estado de Veracruz.
- Acceso: Se efectúa por la carretera México - Pachuca - Poza - - Rica - Tuxpan, desviándose al N. W. en Tihuatlán, Ver. (Krn 315), por un camino revestido en el que aproximadamente a 30 Km se llega a Alamo. La estación se encuentra a 3 Km al norte del poblado.

En las tablas IV.1.a, b, c, d, e, se muestra el período de registro utilizado en el estudio para cada una de las estaciones, así como la lámina de escurrimiento expresada en mm. Esta última se obtuvo de dividir el volumen mensual aforado entre el área total aportadora hasta la estación hidrométrica. La suma y la media mensual mostrada en las tablas antes mencionadas se calculó tomando en cuenta el período 1962 - 1972.

V. MODELO LLUVIA - ESCURRIMIENTO

Conociendo el régimen pluviométrico e hidrométrico de la zona en estudio, se procedió a elaborar un modelo matemático lluvia - escurrimiento.

El modelo se fundamentó en la teoría de la correlación simple y múltiple, - así como en la de los procesos de generación, cuyos principios se presentan a continuación.

V.1 Correlación simple y múltiple

V.1.1 Correlación simple

El análisis de la correlación es utilizada para conocer como una variable independiente (X) afecta a una variable dependiente (Y)

Cuando en el problema existe sólo una variable independiente involucrada, al proceso de análisis se le denomina correlación lineal o curvilínea simple.

Es conveniente antes de realizar un análisis de correlación simple de un grupo de parejas de datos graficar estos, para poder conocer la tendencia de la naturaleza de la información. Si la tendencia es una línea recta la relación se denomina lineal; si es una curva, la relación se denomina curvilínea o exponencial. Esta última se puede cambiar a lineal realizando una transformación de ejes coordenados.

Después de graficar las parejas de datos y conocer su tendencia, se correlacionan para conocer cual es la relación que se ajusta mejor a dicha tendencia. Si ésta es una línea recta, a la que se llama recta de regresión, para calcular su ecuación es conveniente utilizar el método de mínimos cuadrados.

La recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$, de la figura V.1, tiene la ecuación:

$$Y = A_0 + A_1 X \quad (V.1)$$

Observando la misma figura

$$\begin{aligned}
 D_1 &= (A_0 + A_1 X_1 - Y_1) \\
 D_2 &= (A_0 + A_1 X_2 - Y_2) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 D_N &= (A_0 + A_1 X_N - Y_N)
 \end{aligned}
 \tag{V.2}$$

En donde D_N es el error entre el valor real de Y_N y el inferido mediante - la ecuación V.1.

La ecuación de la recta que se obtiene por mínimos cuadrados es tal que la suma de los cuadrados de los errores será mínimo, esto se logra de la siguiente manera

$$\sum D^2 = (A_0 + A_1 X_1 - Y_1)^2 + (A_0 + A_1 X_2 - Y_2)^2 + \dots + (A_0 + A_1 X_N - Y_N)^2$$

$$\frac{\partial (\sum D^2)}{\partial A_0} = 2 \left[(A_0 + A_1 X_1 - Y_1) + (A_0 + A_1 X_2 - Y_2) + \dots + (A_0 + A_1 X_N - Y_N) \right] = 0$$

$$\frac{\partial (\sum D^2)}{\partial A_1} = 2 \left[(A_0 + A_1 X_1 - Y_1) X_1 + (A_0 + A_1 X_2 - Y_2) X_2 + \dots + (A_0 + A_1 X_N - Y_N) X_N \right] = 0$$

De donde

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^N Y_i &= A_0 N + A_1 \sum_{i=1}^N X_i \\
 \sum_{i=1}^N X_i Y_i &= A_0 \sum_{i=1}^N X_i + A_1 \sum_{i=1}^N X_i^2
 \end{aligned}
 \tag{V.3}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene

$$A_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \tag{V.4}$$

$$A_0 = \bar{Y} - A_1 \bar{X} \tag{V.5}$$

en donde

$$S_{xy} = N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right) \quad (V.6)$$

$$S_{xx} = N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \quad (V.7)$$

\bar{Y} , \bar{X} es el valor medio de las Y y X respectivamente

La variancia del error puede escribirse

$$Se^2 = \frac{S_{yy}}{N(N-2)} \left[1 - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx} S_{yy}} \right] = S_y^2 \left[1 - \Gamma_{xy}^2 \right] \quad (V.8)$$

siendo

$$\Gamma_{xy} = \frac{S_{xy}}{(S_{xx} S_{yy})^{1/2}} \quad (V.9)$$

donde

$$S_{yy} = N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)^2 \quad (V.10)$$

Γ_{xy} se denomina coeficiente de correlación lineal y proporciona una idea de que tan agrupadas están las parejas de datos (X_i, Y_i) a la curva de ajuste, en este caso una recta.

Si Γ_{xy} vale -1 ó 1 de la ec. V.8 la variancia del error vale cero, y por lo tanto todos los puntos (X_i, Y_i) están sobre la curva de regresión o una recta. Conforme Γ_{xy} tiende a cero, la correlación de los puntos en estudio se aleja de la tendencia considerada.

Si la ecuación de la curva es exponencial del tipo

$$Y = A_0 X^{A_1} \quad (V.11)$$

En este caso para utilizar el análisis de correlación lineal en vez del curvi-

líneo es necesario efectuar algunas transformaciones.

Empleando logaritmos se tiene:

$$\log Y = \log A_0 + A_1 \log X \quad (V.12)$$

Considerando

$$Y^1 = \log Y$$

$$X^1 = \log X$$

$$A = \log A_0$$

La ec. (V.11) queda

$$Y^1 = A + A_1 X^1 \quad (V.13)$$

que es una recta con pendiente A_1 y ordenada al origen A con las características de la recta de regresión pudiéndose emplear el análisis lineal deseado. Para ampliar el período y completar datos faltantes en los registros de lluvia mensual en varias estaciones, fué necesario aplicar el método antes descrito. Esto se logró mediante la elaboración de un programa que determina los coeficientes de correlación entre los datos de diversas estaciones cercanas a la que se estudia, seleccionándose la ecuación de regresión que proporcionó el coeficiente de correlación más apropiado.

Este programa toma en cuenta ecuaciones de regresión del tipo V.1 y V.11, dando los valores de los parámetros A_0 y A_1 . El listado del programa se proporciona en la Tabla V.1.

V.1.2 Correlación múltiple

El método de correlación se utiliza para determinar en que medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica de una forma adecuada la relación entre una variable dependiente y varias independientes.

Cuando todos los valores de las variables satisfacen exactamente una ecuación, se dice que las variables están correlacionadas perfectamente.

Cuando se trata de dos variables, se habla de correlación simple. Si se trata de más de dos variables se habla de una correlación múltiple.

Ecuación de Regresión

Una ecuación de regresión relaciona una variable dependiente, por ej. Y , a partir de las variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k .

La forma de la ecuación de regresión más sencilla es:

$$\hat{Y} = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_k X_k + E$$

donde E es el error que existe entre la Y real de cada punto y la \hat{Y} estimada con la ecuación de regresión, esto es:

$$E = Y - (A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_k X_k)$$

$$\sum E^2 = \sum \left[Y - (A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_k X_k) \right]^2$$

Empleando el criterio de mínimos cuadrados se puede minimizar la expresión anterior, para lo cual

$$\frac{\partial \sum E^2}{\partial A_0} = 0$$

$$\frac{\partial \sum E^2}{\partial A_1} = 0$$

⋮

$$\frac{\partial \sum E^2}{\partial A_k} = 0$$

Obteniéndose $k + 1$ ecuaciones con $k + 1$ incógnitas

$$N A_0 + A_1 \sum X_1 + A_2 \sum X_2 + \dots + A_k \sum X_k = \sum Y$$

$$A_0 \sum X_1 + A_1 \sum X_1^2 + A_2 \sum X_2 X_1 + \dots + A_k \sum X_1 X_k = \sum X_1 Y$$

$$A_0 \sum X_k + A_1 \sum X_1 X_k + A_2 \sum X_2 X_k + \dots + A_k \sum X_k^2 = \sum X_k Y$$

Las ecuaciones anteriores son llamadas ecuaciones normales para el plano de regresión de mínimos cuadrados.

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los coeficientes A_0, A_1, \dots, A_k .

Matricialmente, lo anterior se puede expresar en la forma

$$U B = V$$

donde

$$U = \begin{bmatrix} N & \sum X_1 & \sum X_k \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_k \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \sum X_k & \sum X_1 X_k & \sum X_k^2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ \vdots \\ A_k \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y \\ \vdots \\ \Sigma X_k Y \end{bmatrix}$$

Con lo cual

$$B = U^{-1} V$$

donde U^{-1} es la matriz inversa de U .

La variación total de Y se expresa como $\Sigma (Y - \bar{Y})^2$, es decir, la suma de los cuadrados de las desviaciones de las Y con respecto a su media \bar{Y} . La ecuación que define la variación total es

$$Y - \bar{Y} = (Y - \hat{Y}) + (\hat{Y} - \bar{Y})$$

donde \hat{Y} es el valor de las Y estimadas con la ecuación de regresión.

Elevando al cuadrado ambos miembros y sumando se tiene

$$\Sigma (Y - \bar{Y})^2 = \Sigma (Y - \hat{Y})^2 + \Sigma (\hat{Y} - \bar{Y})^2 + 2 \Sigma (Y - \hat{Y})(\hat{Y} - \bar{Y}) \quad (V.14)$$

Además

$$\begin{aligned} \Sigma (Y - \hat{Y})(\hat{Y} - \bar{Y}) &= \Sigma (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) (A_0 + A_1 X_1 + \dots + A_k X_k - \bar{Y}) \\ &= A_0 \Sigma (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) + A_1 \Sigma X_1 (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) + \dots + A_k \Sigma X_k (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) - \\ &\quad - \bar{Y} \Sigma (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) = 0 \end{aligned}$$

De las ecuaciones normales se tiene que

$$\sum (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) = 0$$

y

$$\sum X_k (Y - A_0 - A_1 X_1 - \dots - A_k X_k) = 0$$

Con lo cual la ec V.14 se transforma a

$$\sum (Y - \bar{Y})^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2 + \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 \quad (V.15)$$

en donde al primer término del segundo miembro se le conoce como variación no explicada por no tener un patrón definido, mientras que el segundo término, llamado variación explicada, sí lo tiene.

El coeficiente de correlación múltiple se valúa en la forma

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{SSE}{SST}\right)^2} \quad (V.16)$$

en donde SSE se denomina error típico de la estimación de la variable X_1 sobre X_2, X_3, \dots, X_k y SST se denomina error típico de la estimación de la variable X_1 . Dichos errores se deducen de acuerdo con

$$SSE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{N}} \quad (V.17)$$

$$SST = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{N}} \quad (V.18)$$

Sustituyendo las ecs V.17 y V.18 en la V.16 se tiene que

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (V.19)$$

Llevando a cabo una analogía con los términos de la ec V.15 se puede llegar a la conclusión siguiente

$$r = \sqrt{1 - \frac{\text{variación no explicada}}{\text{variación total}}} \quad (V.20)$$

Una buena relación entre variables arroja un coeficiente de correlación múltiple cercano a 1 ó -1. Mientras dicho coeficiente tienda a cero, la relación es menor.

Es importante hacer notar que si se analiza una regresión atendiendo únicamente al coeficiente de correlación se puede caer en errores muy serios. Sea que se desea correlacionar la variable X con la variable Y solo se tienen dos datos. En este caso resulta que al hacer el ajuste, la suma de errores es cero, puesto que por dos puntos siempre es posible hacer pasar una recta, con lo que el coeficiente de correlación resulta igual a uno. En este caso lo que sucede es que no se deja ningún grado de libertad a los errores.

En general se puede decir que cuando el número de datos de la muestra es muy pequeño, aunque se obtenga un coeficiente de correlación alto, no se puede asegurar que las variables están correlacionadas, o sea, se dice que la correlación puede no ser significativa.

Para determinar si una correlación es significativa o no, se realiza lo que se llama un "análisis de variancia". El criterio consiste en utilizar la dis

tribución desarrollada por Fisher, que es una distribución formada por el cociente de dos distribuciones Chi cuadrada del tipo

$$F = \frac{X_1^2 / V_1}{X_2^2 / V_2} \quad (V.21)$$

donde

V_1 grados de libertad de la variable X_1^2 , que se obtiene como el número de variables independientes.

V_2 grados de libertad de la variable X_2^2 , que se obtiene como el número de datos de la muestra menos la suma de el número de variables independientes más uno.

La variable X_1^2 se integra de la siguiente manera

$$X_1^2 = \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2$$

$$X_2^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2$$

donde

\hat{Y} variables estimadas con la ecuación de regresión

\bar{Y} valor medio de los datos de la muestra

Determinado el valor de F_{calc} se realiza una prueba de hipótesis la cual compara el valor de F_{calc} con el de F_{tab} , que proporciona la distribución de Fisher para un cierto nivel de significancia. El valor de F_{tab} depende, además del nivel de significancia, del valor de V_1 y V_2 .

Si $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$, la correlación si es significativa

Si $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$, la correlación no es significativa

V.2 Generación de información hidrológica

Los registros hidrológicos en general son muestras muy pequeñas de la población que representan, por lo que el incrementar la información disponible es un problema de importancia en el análisis de la misma.

La generación de un registro hidrológico se aplica fundamentalmente a volúmenes de escurrimiento, con cuyos resultados se pueden realizar funcionamiento de presas, así como el dimensionamiento de las mismas. El criterio puede apoyarse exclusivamente en los volúmenes de escurrimiento disponibles o bien, considerando también volúmenes de las lluvias que los originaron. El hecho de que un registro de datos hidrológicos es una secuencia ordenada de valores con respecto al tiempo, permite darle un tratamiento de serie cronológica, base de las técnicas de información.

V.2.1 Series Cronológicas

Los métodos estadísticos usados en el análisis de series de datos hidrológicos, en general consideran que las series son estacionarias y que las observaciones se distribuyen independientemente en el tiempo. Lo anterior implica por una parte, la conservación de los parámetros estadísticos de la muestra y por otra, que la ocurrencia de un evento se considere independiente de los eventos antecedentes. Si bien esto último no es rigurosamente -

cierto se acepta por la naturaleza de los registros.

El análisis de una serie cronológica requiere, como primer paso, separar los elementos que la componen, para posteriormente determinar y obtener el proceso generativo de la misma.

Una serie cronológica de datos hidrológicos puede considerarse formada por la suma de dos elementos, uno aleatorio y el otro discreto.

Un elemento no aleatorio se presenta cuando se tienen valores separados k unidades de tiempo.

Si a los valores de una serie cronológica se les denomina con X_i (fig V.2), y si son linealmente dependientes de las observaciones desplazadas k unidades de tiempo, la correlación entre X_i y X_{i+k} puede dar una medida de su dependencia y se le denomina correlación seriada de orden k .

Este coeficiente de correlación seriado es semejante al que se obtiene para dos grupos de datos, siendo en este caso X_i y X_{i+k} los dos grupos mencionados. Es claro que para la consideración anterior $K = 0$, $r_0 = 1$ y si la serie no es aleatoria para $k \geq 1$, $-1 < r_k < 1$. Si la serie es aleatoria, $r_k = 0$ para todos los valores de $k \geq 1$.

Los elementos de una serie no aleatoria pueden estar formados por una tendencia (un movimiento en largos períodos) y una oscilación sobre la misma, o por alguno de los dos. Para determinar con precisión la tendencia es necesario contar con un registro completo de la serie. Como en general esto

no es posible, en las series hidrológicas no se toma en cuenta o bien se estima como la media de los valores registrados. En una serie hidrológica - los movimientos oscilatorios son muy marcados pues por la naturaleza de - los datos se tiene una variación cíclica.

Se tienen varios criterios para remover los elementos no aleatorios de una serie cronológica; la mayor parte de estos criterios involucran el ajuste de un polinomio a los datos que se tienen. Esto presenta la dificultad de que en general, la muestra por analizar es muy pequeña. En función del método - usado para descomponer una serie, se tienen diversos criterios de genera- ción, los cuales muchas veces se combinan.

V.2.2 Procesos de generación

La manera por la cual es posible producir una serie cronológica se denomi- na "proceso de generación". Las diversas características de la serie cro- nológica muchas veces pueden ser representadas matemáticamente.

En estudios hidrológicos los procesos más usuales son el de los promedios móviles, la suma de armónicas y los auto regresivos.

a) Promedios móviles

Este proceso se puede expresar de la siguiente forma :

$$X_i = A_0 + A_1 X_{i-1} + A_2 X_{i-2} + \dots + A_m X_{i-m} \quad (V.22)$$

donde

X_i valor de la serie en el tiempo $t = i$

m términos de los promedios móviles.

El problema fundamental estriba en determinar cuantos valores de X_{i-k} influyen en el valor de X_i para posteriormente determinar los factores de peso, $A_0, A_1, A_2, \dots, A_m$. Con este propósito se utilizan los coeficientes de correlación seriados Γ_k que se obtienen en función de X_i y X_{i-k} considerados como dos grupos de datos.

$$\Gamma_k = \frac{[S(x_i) (x_{i-k})]}{[S(x_i) (x_i) S(x_{i-k}) (x_{i-k})]^{1/2}}$$

en donde

$$S(x_i) (x_{i-k}) = (N - K) \sum_{i=1}^{N-K} X_i X_{i-k} - \left(\sum_{i=1}^{N-K} X_i \right) \left(\sum_{i=1}^{N-K} X_{i-k} \right)$$

$$S(x_i) (x_i) = (N - K) \sum_{i=1}^{N-K} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N-K} X_i \right)^2$$

$$S(x_{i-k}) (x_{i-k}) = (N - K) \sum_{i=1}^{N-K} X_{i-k}^2 - \left(\sum_{i=1}^{N-K} X_{i-k} \right)^2$$

Si la serie sigue un proceso de promedios móviles, los coeficientes de correlación Γ_k deberán ser nulos para $k > N$. Conocidos los valores de Γ_k puede determinarse el proceso que más se apega a la serie analizada. Si se grafican los valores de Γ_k contra los de k se obtiene lo que se llama un correlograma, que permite visualizar cuál es el proceso más adecuado a utilizar (fig V.3).

Al aplicar este tipo de modelos no debe olvidarse que son puramente teóricos y que al analizar una serie puede resultar una superposición de varios procesos. También es posible que nunca se obtenga un coeficiente seriado nulo, debido al tamaño de la muestra utilizada.

Es conveniente considerar, al aplicar un proceso como el de la ecuación - V.22, los términos de mayor peso (o sea los de coeficientes de correlación seriados altos) y despreciar los valores bajos, por lo que al utilizar el modelo los valores generados tendrán un cierto error. Entonces, la ecuación V.22 quedará:

$$X_i = A_0 + A_1 X_{i-1} + A_2 X_{i-2} + \dots + A_m X_{i-m} + E \quad (V.23)$$

en donde E es una variable aleatoria que es el error entre el valor real de la serie y el obtenido de la ecuación V.22.

La variancia del error se puede obtener como

$$Se^2 = Sx^2 (1 - r^2) \quad (V.24)$$

donde

Sx^2 , Variancia de las X_i

r Coeficiente de correlación entre los valores de la serie y los calculados por la ec V.22.

Si se considera que los errores tienen una distribución con media cero y - distribución normal, al utilizar la variable normalizada y su variancia, se obtiene que

$$E = Z Sx (1 - r^2)^{1/2} \quad (V.25)$$

donde Z es una variable aleatoria con media cero y variancia de la unidad.

La ecuación V.25 permite calcular el error cuando se utiliza la ecuación - V.23 para generación. Durante el procesos se puede considerar como cons

tantes los valores de S_{xy} que se obtuvieron de la serie de datos y valorar el error dando valores a Z , a través de una tabla de distribución normal, considerando la probabilidad de cada valor de una tabla de números aleatorios. Si en vez de generar, el propósito es predecir algún valor, se da directamente el valor de la probabilidad con que se desee obtener.

En hidrología son muy usadas las ecuaciones del tipo V.23 para correlacionar dos variables seriadas como lo son los escurrimientos y las lluvias. Así si las X_i son volúmenes de escurrimiento mensual y las Y_i son los volúmenes de lluvia mensual que los originaron, se puede plantear un modelo del tipo

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_m X_m \quad (V.26)$$

donde las A_i se determinan a partir de los datos disponibles y de tal manera que la suma de los errores al cuadrado sea mínima. A partir de esto, los parámetros A_i se obtienen al resolver el sistema:

$$\begin{pmatrix} M & X_{1i} & X_{2i} & \dots & X_{mi} \\ X_{1i} & X_{1i}^2 & X_{1i}X_{2i} & & X_{1i}X_{mi} \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ X_{mi} & X_{mi}X_{1i} & X_{mi}X_{2i} & & X_{mi}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ A_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_i \\ X_{1i}Y_i \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{mi}Y_i \end{pmatrix} \quad (V.27)$$

donde M es el número de grupos de valores $(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{mi}, Y_i)$ y las sumas son desde i hasta M .

b) Proceso de suma de armónicas.

Cuando los coeficientes de correlación seriados Γ_k de una serie tenga un correlograma como el de la figura V.3.b. el proceso de generación de la serie sigue una suma de armónicas. Un modelo muy simple de un proceso de generación de la suma de armónicas puede ser

$$Y_i = A \sin \theta_i + Z_i \quad (V.28)$$

donde

A amplitud del ciclo

θ_i período del ciclo

Z_i componente aleatoria

c) Proceso autorregresivo

Con este tipo de procesos es posible representar los efectos de almacenaje que se tiene en las cuencas. De los procesos autorregresivos el más usado es el Markoviano de primer orden que tiene la forma:

$$Y_i = \Gamma_i Y_{i-1} + Z_i \quad (V.29)$$

El coeficiente de correlación seriado puede expresarse como $\Gamma_k = \Gamma_1^k$, siendo su correlograma el mostrado en la fig V.3.c.

La ecuación de recurrencia utilizada por Thomas y Fiering aplicando un mo

delo Markoviano para generar escurrimientos tiene la forma

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_{j+1} + B_j (Q_i - \bar{Q}_j) + S_{j+1} (1 - \Gamma_j^2)^{1/2} Z_i \quad (V.30)$$

donde

- Q_i y Q_{i+1} son escurrimientos de mes i y el mes $i+1$ respectivamente, a partir del inicio de la secuencia de generación.
- \bar{Q}_j y \bar{Q}_{j+1} son los escurrimientos medios mensuales durante los meses j y $j+1$ respectivamente, dentro de un ciclo de 12 meses.
- B_j es el coeficiente de correlación para estimar el escurrimiento del mes $j+1$, a partir del escurrimiento del mes j .
- S_{j+1} es la desviación estandar de los escurrimientos en el mes $j+1$.
- Γ_j es el coeficiente de correlación entre los flujos de los meses j y $j+1$.
- Z_i es una variable aleatoria normal independiente con media cero y variancia la unidad.

V.3 Elaboración del modelo

Como primer paso, se elaboraron dos tipos de modelos para generar escurrimientos, en cada una de las cuencas que comprenden la región en estudio.

El primero en base a escurrimientos exclusivamente y el segundo a partir de lluvias. Posteriormente se integraron y se generalizaron para el área en estudio.

V.3.1 Modelo a partir de escurrimientos

Se procedió a deducir escurrimientos mensuales en función de los escurrimientos de meses anteriores, (modelo tipo I) a partir de una ecuación de la forma

$$Y_i = A_{11} + A_{21}Y_{i-1} + A_{31}Y_{i-2} + A_{41}Y_{i-3} + A_{51}Y_{i-4} \quad (V.31)$$

en donde

$Y_i, Y_{i-1}, \dots, Y_{i-4}$ representa la lámina de escurrimiento del mes $i, i-1, \dots, i-4$, en mm.

$A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{41}, A_{51}$ representan parámetros de la ecuación.

Se consideró que como máximo el escurrimiento del mes i podría depender a lo más de los escurrimientos de los cuatro meses anteriores. Por medio de un programa de correlación lineal múltiple se realizó una serie de correlaciones entre los escurrimientos antes mencionados, con lo que se obtuvieron las ecuaciones de regresión mostradas en las tablas V.2.a,b,c,d,e, - en donde se observan los meses de escurrimiento que están correlacionados con los escurrimientos del mes i .

V.3.2 Modelo a partir de lluvias

Se planteó un modelo para deducir volúmenes de escurrimientos mensuales en función de los volúmenes de lluvia del mes en estudio y los meses anteriores (modelo tipo II). La ecuación considerada fué del tipo

$$Y_i = A_{12} + A_{22}X_i + A_{32}X_{i-1} + A_{42}X_{i-2} + A_{52}X_{i-3} \quad (V.32)$$

en donde

Y_i lámina de escurrimiento del mes i en mm.

$X_i, X_{i-1}, X_{i-2}, X_{i-3}$ lámina de lluvia del mes $i, i-1, i-2, i-3$, en mm.

$A_{12}, A_{22}, A_{32}, A_{42}, A_{52}$ parámetros de la ecuación.

De manera semejante a la del inciso anterior se realizó un grupo de correlaciones, entre las variables independientes y la dependiente, cuyos resultados se muestran en las tablas V.3.a, b, c, d, e.

V.3.3 Integración del modelo

Una vez conocidas las ecs. V.31 y V.32, se procedió a obtener para cada cuenca una sola para cada mes, mediante un grupo de correlaciones entre los escurrimientos del mes i y las variables independientes que intervienen en ambos tipos de ecuaciones.

Por medio de este análisis se logró obtener una ecuación de regresión mensual (modelo tipo III), que en la mayoría de los casos resultó ser del mis-

mo tipo en todas las cuencas. Pensando en la generalización, en algunos de los meses fué necesario ajustar las ecuaciones de regresión, a fin de que fueran similares para todas las cuencas. Para ello, se sacrificó precisión. Las ecuaciones así obtenidas se muestran en las tablas V.4.a, b, c, d, e.

Como puede observarse en las tablas antes mencionadas, las ecuaciones obtenidas tienen la forma para los diferentes meses como:

$$Y_i = A_0 + A_1 Y_{i-1} + E \quad (\text{ene, feb, mar, nov, dic.}) \quad (\text{V.33})$$

$$Y_i = A_0 + A_1 X_i + E \quad (\text{abr, jun, jul, ago, sept, oct.}) \quad (\text{V.34})$$

$$Y_i = A_0 + A_1 X_{i-1} + E \quad (\text{may.}) \quad (\text{V.35})$$

Para valuar E al aplicar estas ecuaciones, se consideró conveniente aceptar como constantes los valores de la desviación estandar del escurrimiento mensual, así como su coeficiente de correlación (figs. V.4 y V.5)

De acuerdo con lo anterior, la ec V.25 se transforma en

$$E = K Z$$

donde K es una constante para cada mes

En las tablas V.5 y V.6 se muestra una forma de sistematizar el cálculo de K y E respectivamente.

V.3.4 Generalización del modelo

Como puede verse, los modelos antes analizados son particulares para cada cuenca, lo cual limita las posibilidades de aplicación en la zona. Con

el fin de dar mayor generalidad, se procedió a elaborar un modelo que - - permita obtener los parámetros A_0 y A_1 para cada mes, en función de las características fisiográficas de la cuenca en donde se desee utilizar, dentro de la región en estudio. Lo anterior se llevó a cabo mediante una serie de correlaciones entre los parámetros A_0 y A_1 contra distintas combinaciones de características fisiográficas, requiriéndose plantear trece tipos de modelos diferentes y escoger los que proporcionaron los mejores resultados - (tabla V.7).

V.4 Calibración del Modelo

Con los resultados obtenidos en el inciso anterior, se procedió a probar la bondad del modelo, aplicandolo a una cuenca con control hidrométrico, a fin de comparar los resultados obtenidos y los observados.

La cuenca elegida para la calibración fué la controlada por la estación - - Alamo. Conocidas las características fisiográficas hasta la estación hidro métrica es posible determinar los coeficientes A_0 y A_1 para cada uno de los meses los cuales se mantendrán constantes durante todo el proceso. Los - coeficientes mencionados se obtuvieron al aplicar las ecuaciones dadas en la tabla V.7.

Una vez conocidos estos parámetros, el escurrimiento del mes anterior al cual se desea conocer el escurrimiento y el valor del error dado en la tabla V.6, se procedió a aplicar las ecuaciones V.33 a V.35, con- - - - -

lo cual se definió el escurrimiento del mes deseado. Este proceso se - -
repitió durante los años de 1962 a 1972. En la fig. V.6 se proporciona la -
comparación gráfica de los resultados obtenidos por medio del modelo , los
obtenidos sin considerar el error E y los valores observados.

VI. CONCLUSIONES

Las ecuaciones propuestas se basan en un análisis detallado de toda la información disponible para la región seleccionada en el presente trabajo, por lo cual es de esperarse que se obtengan resultados más acordes con la realidad que los que podrían deducirse con otros criterios.

Como puede notarse en el capítulo anterior, la bondad del modelo puede ser considerada como satisfactoria sin embargo, debe tomarse en cuenta que en su elaboración se ha sacrificado precisión para poder darle mayor flexibilidad, con lo que se obtiene la ventaja de simplificar considerablemente el proceso de generación.

Al generar información hidrométrica por medio del modelo y compararla con la observada (Fig V.6) se aprecia que los volúmenes deducidos se ajustan más a los reales durante la época de estiaje. En época de avenidas la variación entre el volumen generado y el real resulta ser mayor. Si la comparación se realiza entre los volúmenes medios anuales o totales generados y observados a través de todo el período considerado (1962 - 1972), se observa que la variación es pequeña dado que

$$\text{Volumen medio anual observado} = 2787 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen medio anual generado} = 2932 \times 10^6 \text{ m}^3$$

De lo anterior se concluye que el modelo conserva a pesar de su generalidad las características de la información que se utilizó en su elaboración, factor determinante en los procesos de generación.

El modelo descrito es aplicable a cualquier corriente dentro de la zona estudiada, para predecir y generar escurrimientos en función de las características fisiográficas de la cuenca considerada. Este tipo de técnicas puede generalizarse a cualquier región meteorológicamente homogénea.

Estaciones Hidrométricas	Area Drenada (Km ²)	Longitud Del Cauce (Km)	Pendiente Media del Cauce
Terrenillos	1 520.0	94.0	0.007017
Los Hules	1 240.0	83.5	0.011589
Poza Rica	1 550.0	118.0	0.009336
Remolino	7 150.0	170.0	0.011059
Alamo	4 317.5	141.0	0.005895

TABLA II.1

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

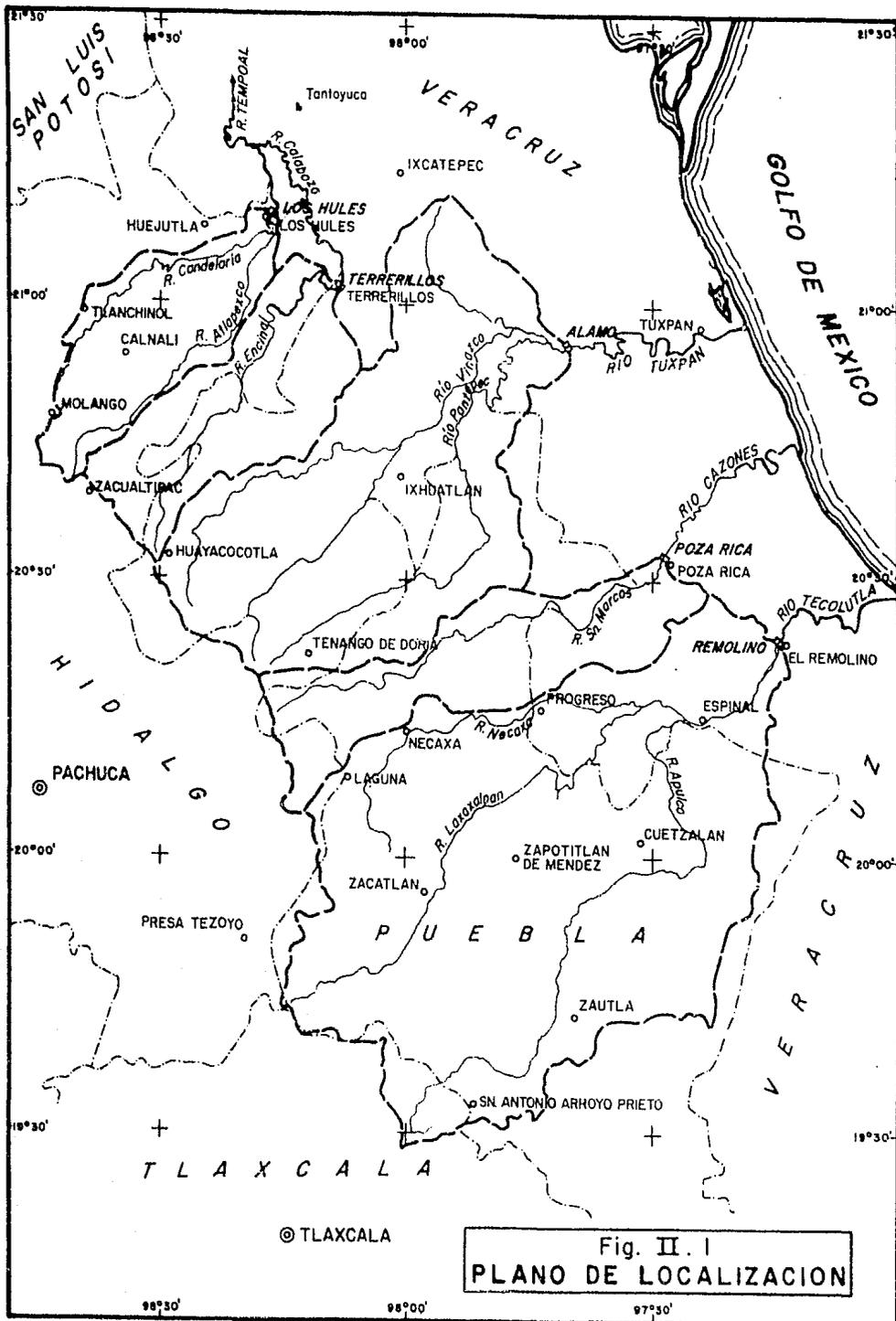


Fig. II. I
PLANO DE LOCALIZACION

ESTACION	Localización	
	Latitud	Longitud
Calnalf	20° 54' 30"	98° 35' 00"
Cuetzalan	20° 02' 00"	97° 31' 30"
El Remolino	20° 21' 00"	97° 14' 00"
Espinal	20° 15' 00"	97° 24' 00"
Huayacocotla	20° 32' 30"	98° 29' 00"
Huejutla	21° 08' 30"	98° 25' 00"
Ixcatepec	21° 14' 00"	98° 00' 00"
Ixhuatlán	20° 41' 30"	98° 00' 00"
Laguna	20° 09' 00"	98° 07' 30"
Los Hules	21° 09' 00"	98° 16' 00"
Molango	20° 47' 30"	98° 43' 30"
Necaxa	20° 13' 30"	98° 00' 00"
Poza Rica de Hidalgo	21° 38' 00"	96° 26' 00"
Presa Tezoyo	19° 51' 00"	98° 16' 00"
Progreso de Zaragoza	20° 16' 30"	97° 43' 30"
San Antonio Arroyo - Prieto	19° 33' 00"	97° 52' 00"
Tenango de Doria	20° 12' 30"	97° 59' 30"
Terrerillos	21° 02' 00"	90° 08' 00"
Tlanchinol	20° 57' 00"	98° 37' 00"
Tuxpan	20° 58' 00"	97° 24' 30"
Zacatlán	19° 56' 00"	97° 57' 00"
Zacuatlipán	20° 38' 00"	98° 39' 00"
Zapotitlán de Méndez	20° 00' 00"	97° 46' 30"
Z a u t l a	19° 43' 00"	97° 39' 30"

TABLA II.2

ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

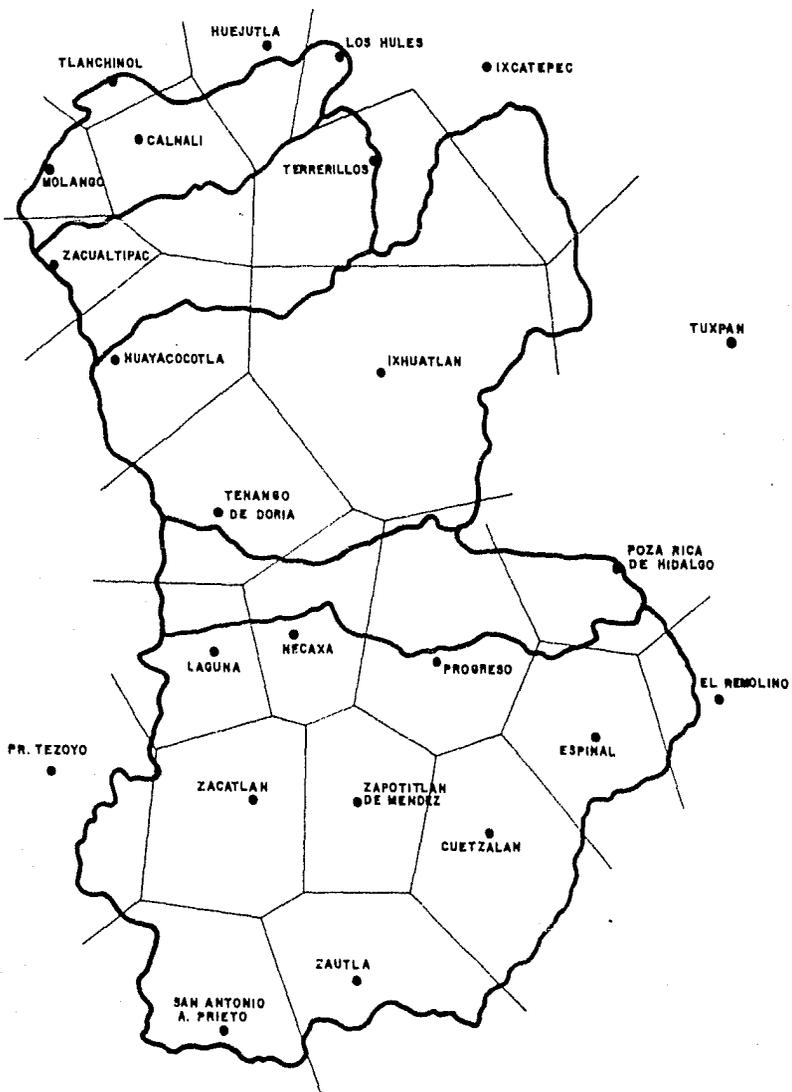


Fig. III.1 Polígonos de Thiessen.

CUENCA LOS HULES (1)		
ESTACION	Area (Km ²)	% A
Los Hules	115.0	9.3
Huejutla	265.5	21.4
Tlanchinol	90.3	7.3
Molongo	208.0	16.8
Calnalf	520.1	41.9
Zacualtipac	41.1	3.3
	1240.0	100.0

TABLA III.1.a

AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS UTILIZANDO EL MÉTODO
DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN

CUENCA TERRERILLOS (II)		
ESTACION	Area (Km ²)	% A
Terrerillos	574.1	37.8
Calnali	294.5	19.4
Zacualtipac	234.6	15.4
Huayacocotla	299.5	19.7
Ixhuatlán	117.3	7.7
	1520.0	100.0

TABLA III.1.b

AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS UTILIZANDO EL MÉTODO
DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN

CUENCA A L A M O (III)		
ESTACION	Areas (Km ²)	% A
Ixcatepec	347.5	8.1
Terrerillos	367.5	8.5
Tuxpan	95.0	2.2
Ixhuatlan	1965.0	45.5
Progreso	47.5	1.1
Necaxa	105.0	2.4
Tenango	800.0	18.5
Huayacocotla	590.0	13.7
	4317.5	100.0

TABLA III.1.c

AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLOGICAS UTILIZANDO EL METODO
DE LOS POLIGONOS DE THIESSEN

CUENCA POZA RICA (IV)		
ESTACION	Area (Km ²)	% A
Poza Rica de Hgo.	322.5	20.8
Progreso	580.0	37.4
Necaxa	295.0	19.0
Tenango de Doria	190.0	12.3
Laguna	150.0	9.7
Espinal	12.5	0.8
	1550.0	100.0

TABLA III.1.d

AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLOGICAS UTILIZANDO EL METODO
DE LOS POLIGONOS DE THIESSEN

CUENCA EL REMOLINO (V)		
ESTACION	Area (Km ²)	% A
El Remolino	163.4	2.3
Poza Ricade Hgo.	88.4	1.2
Espinal	768.6	10.7
Progreso	575.7	8.1
Cuetzalán	1097.9	15.4
Necaxa	385.6	5.4
Zapotitlán de M.	800.7	11.2
Zautla	915.8	12.8
Laguna	176.8	2.5
Zacatlán	1092.6	15.3
Sn. Antonio - Arroyo prieto	795.3	11.1
Presa Tezoyo	289.2	4.0
	7150.0	100.0

TABLA III.1.e

ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS UTILIZANDO EL MÉTODO
DE LOS POLÍGONOS DE THIESEN

Tabulación de la lluvia media mensual en mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	67.9	15.3	17.2	5.0	37.5	366.0	398.8	174.1	230.2	153.5	121.6	17.6	1604.5
1962	9.2	7.3	28.6	180.0	62.1	274.0	145.6	131.6	290.8	74.0	132.7	42.5	1368.4
1963	23.3	22.4	21.7	8.6	60.8	249.5	401.0	149.4	200.8	116.4	41.9	65.2	1361.5
1964	29.2	20.0	78.6	52.1	142.7	191.7	93.8	99.5	154.6	104.6	199.9	33.0	1199.3
1965	49.4	27.1	56.9	100.9	34.0	237.3	174.4	321.3	109.0	105.6	70.4	32.7	1319.0
1966	50.2	43.2	32.4	43.8	70.3	349.1	161.3	132.3	227.5	180.5	47.3	9.1	1347.0
1967	38.9	38.7	60.3	32.4	108.2	147.4	113.7	298.3	316.9	148.8	80.2	40.1	1423.9
1968	49.5	30.7	38.5	129.7	102.6	301.3	205.1	194.4	228.0	129.6	43.3	92.7	1545.4
1969	49.0	67.4	39.4	47.7	63.9	101.4	182.0	415.2	529.1	116.5	49.4	23.3	1684.3
1970	18.1	68.8	13.8	6.7	54.2	405.0	198.4	208.4	279.8	62.1	23.2	2.7	1341.2
1971	20.1	14.7	46.9	73.2	92.0	293.3	188.0	213.5	164.2	238.3	142.8	33.6	1520.6
1972	71.1	24.4	71.6	23.4	132.6	280.8	411.7	188.3	101.7	148.7	84.8	22.6	1561.7
SUMA													
MEDIA													

TABLA III.2.a

CUENCA CONTROLADA POR LA ESTACION TERRERILLOS

Tabulación de la lluvia media mensual en mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	86.9	23.1	37.2	7.3	86.2	478.7	346.8	205.0	252.6	154.6	138.1	28.2	1844.7
1962	15.9	9.6	35.5	181.1	39.9	311.9	156.5	127.8	332.4	124.9	142.3	46.0	1523.8
1963	35.3	31.5	26.4	6.1	85.0	287.5	436.4	206.3	192.5	108.7	43.3	77.2	1536.2
1964	40.4	29.9	77.5	84.1	109.9	167.1	87.6	90.0	163.1	97.4	199.5	43.8	1190.3
1965	34.2	31.5	49.5	72.2	47.8	198.8	186.3	291.8	111.9	106.6	56.5	32.0	1214.1
1966	73.7	52.3	40.9	89.8	80.5	326.0	117.7	158.6	233.5	226.3	51.4	13.7	1464.4
1967	38.1	49.7	73.2	53.8	106.5	160.1	134.4	248.7	370.7	225.3	81.8	57.7	1600.1
1968	36.3	150.8	75.1	168.3	141.6	283.4	195.7	197.9	304.8	170.3	59.8	111.6	1895.6
1969	64.0	70.0	83.3	79.7	94.1	62.7	247.7	397.5	542.9	169.0	71.0	70.1	195.2
1970	25.8	83.3	25.6	10.4	47.3	483.6	216.8	215.9	358.2	111.1	21.3	17.5	1616.8
1971	35.6	28.8	50.5	102.5	96.2	232.6	170.5	210.9	184.8	265.6	170.3	43.6	1591.9
1972	97.9	47.6	58.0	18.7	141.8	277.5	463.7	189.5	104.7	239.7	78.7	23.2	1741.0
SUMA													
MEDIA													

TABLA III.2.b

CUENCA CONTROLADA POR LA ESTACION LOS HULES

Tabulación de la lluvia media mensual en mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	60.1	41.0	11.4	17.7	69.8	457.0	477.8	377.4	308.8	126.8	221.0	55.5	2224.3
1962	16.0	7.9	28.8	167.5	34.4	283.7	257.3	155.6	307.4	131.8	89.3	37.4	1517.1
1963	56.2	25.3	36.2	18.5	106.1	289.8	517.0	265.1	175.2	118.1	25.4	80.2	1713.1
1964	29.3	32.7	67.7	72.8	256.7	259.3	268.4	162.7	250.7	238.3	219.5	82.7	1940.8
1965	81.5	56.0	58.5	137.8	16.8	262.7	365.1	550.9	233.0	178.5	72.2	26.2	2039.2
1966	55.2	62.9	88.4	67.0	125.8	514.7	339.4	220.6	430.1	241.4	42.9	18.3	2206.7
1967	89.4	80.5	43.1	47.3	119.5	244.8	165.2	423.3	435.1	112.2	99.1	61.9	1921.4
1968	68.7	40.6	31.3	170.4	78.4	321.8	322.2	359.0	362.7	196.1	129.4	115.0	2195.6
1969	56.5	51.7	44.0	45.8	65.8	99.1	375.8	536.1	574.5	159.3	57.3	58.2	2124.1
1970	46.3	86.4	28.0	8.6	73.7	260.0	359.6	310.5	416.9	71.3	44.6	18.3	1724.2
1971	71.4	10.4	79.2	68.2	109.0	252.8	381.7	315.1	276.5	322.2	225.4	64.1	2176.0
1972	97.6	41.1	82.9	22.7	154.2	430.6	504.9	327.6	329.5	200.0	79.2	26.7	2297.0
SUMA													
MEDIA													

TABLA III.2.c

CUENCA CONTROLADA POR LA ESTACION POZA RICA

Tabulación de la lluvia media mensual en mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	58.1	32.2	36.3	16.1	78.5	315.7	346.5	165.6	287.1	158.6	177.8	85.4	1757.9
1962	23.3	16.2	38.9	142.0	42.5	213.3	204.2	178.6	284.4	124.1	103.1	47.7	1418.3
1963	42.0	34.1	35.0	15.0	84.9	222.4	528.3	225.8	239.0	138.4	63.1	81.4	1709.4
1964	42.4	30.8	78.2	65.3	208.2	216.2	230.2	143.0	227.0	194.0	279.7	65.7	1780.7
1965	109.1	54.0	59.5	121.8	33.1	245.4	254.9	391.1	186.3	159.2	58.3	35.7	1708.4
1966	63.0	58.7	106.0	71.5	119.6	397.0	261.1	215.2	364.7	263.9	32.8	23.4	1976.9
1967	88.8	75.6	28.5	62.1	124.3	230.4	154.2	297.0	465.6	169.4	90.9	67.9	1854.7
1968	68.7	55.0	36.6	118.7	62.2	277.2	265.5	216.5	285.3	152.6	75.0	119.2	1732.5
1969	64.0	40.9	66.8	64.4	67.2	153.3	294.1	486.4	488.5	151.1	37.1	62.4	1976.2
1970	43.5	92.7	22.7	7.4	85.2	283.6	240.9	345.5	339.3	124.9	27.5	32.7	1645.9
1971	58.8	17.7	89.0	58.8	60.5	218.8	273.9	229.5	240.4	249.5	164.7	72.4	1734.0
1972	92.8	32.1	106.5	21.8	140.6	326.6	416.8	187.4	152.8	134.4	133.4	18.5	1763.7
SUMA													
MEDIA													

TABLA III.2.d

CUENCA CONTROLADA POR LA ESTACION REMOLINO

Tabulación de la lluvia media mensual en mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	60.2	22.1	28.7	9.2	49.5	368.2	377.7	141.0	222.3	88.7	157.0	28.6	15 53.2
1962	10.5	4.4	31.8	159.6	126.8	221.0	183.8	180.1	210.5	94.7	132.9	44.5	14 00.6
1963	32.6	17.1	18.7	32.5	95.5	242.7	378.5	203.6	268.2	189.0	73.3	59.4	16 11.1
1964	32.1	28.3	70.1	58.5	180.5	326.0	226.4	176.8	213.9	158.3	151.3	41.3	16 63.5
1965	80.6	57.7	58.1	105.5	52.6	355.5	328.1	371.4	142.6	188.0	187.1	60.3	19 87.5
1966	62.4	73.8	72.8	68.6	78.8	369.0	281.4	243.7	308.6	193.9	53.3	17.2	18 23.5
1967	41.5	81.0	55.0	34.7	100.5	233.7	137.6	358.3	419.9	158.3	69.1	63.9	17 53.3
1968	50.1	35.8	29.0	104.1	165.1	347.0	246.3	263.9	278.8	141.5	53.5	82.8	17 97.9
1969	53.2	45.9	92.1	52.9	68.7	127.6	239.9	467.6	536.3	128.5	56.8	21.3	18 90.7
1970	35.5	100.0	16.6	20.2	97.0	349.0	316.6	303.7	424.3	83.7	35.7	11.7	17 49.0
1971	25.7	26.3	53.5	63.6	80.7	315.2	290.4	257.3	227.2	187.2	120.6	41.9	16 89.6
1972	65.6	35.5	82.6	68.9	153.0	285.2	461.5	235.3	190.5	123.3	97.8	23.6	18 22.8
SUMA													
MEDIA													

TABLA III.2.e

CUENCA CONTROLADA POR LA ESTACION ALAMO

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	31.2	18.4	7.2	4.0	3.1	114.9	166.7	160.5	96.6	106.7	69.5	18.1	796.9
1962	10.0	6.0	5.0	37.7	18.4	50.7	84.2	14.9	111.9	33.9	19.4	21.2	413.3
1963	11.3	5.8	4.2	2.4	3.3	19.2	200.4	83.0	52.6	26.9	19.3	11.6	440.0
1964	9.8	5.3	3.8	9.2	4.6	21.6	25.7	5.2	20.2	32.6	25.5	49.8	213.3
1965	18.4	5.8	4.6	13.0	15.9	31.9	96.5	218.9	78.4	54.3	23.1	8.4	569.2
1966	6.1	6.8	5.6	5.9	17.5	175.5	68.6	68.0	113.0	150.8	39.8	13.5	671.1
1967	10.3	7.5	10.1	4.8	7.1	15.7	13.7	106.5	46.0	106.1	46.0	15.6	702.1
1968	11.9	9.3	9.7	10.6	32.9	49.6	110.3	81.7	29.6	99.7	29.6	38.4	650.4
1969	23.1	21.0	17.2	12.4	22.4	5.1	59.1	130.0	437.2	90.9	36.7	24.0	879.1
1970	10.9	9.2	8.2	4.4	3.3	126.7	97.6	69.8	202.5	64.6	16.0	8.0	621.2
1971	6.2	4.6	4.5	24.1	5.3	30.0	44.0	91.5	115.7	278.3	81.0	20.7	705.5
1972	13.7	9.7	10.9	4.6	5.7	107.9	163.6	116.4	66.9	62.9	27.5	12.4	602.2
SUMA	131.7	91.0	83.8	129.1	136.4	633.9	963.7	985.9	1723.8	1001.0	363.9	223.6	
MEDIA	12.0	8.3	7.6	11.7	12.4	57.6	87.6	89.6	156.7	91.0	33.1	20.3	

TABLA IV.1.a

LAMINA DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION TERRERILLOS, EN mm.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	34.4	24.9	13.3	6.7	5.2	158.5	166.6	143.4	107.4	79.6	62.4	21.1	823.5
1962	12.6	8.4	7.7	43.1	28.7	69.5	85.0	22.6	151.6	56.9	27.7	32.8	546.6
1963	16.8	10.2	7.4	3.5	9.5	25.3	247.5	80.6	57.1	31.6	27.3	16.6	533.4
1964	12.9	9.2	8.8	24.3	8.1	31.6	27.1	11.5	41.8	46.1	26.7	56.9	305.0
1965	20.4	10.3	8.1	11.2	11.3	23.9	72.2	232.7	71.7	91.1	34.4	16.8	604.1
1966	14.2	14.1	14.0	25.9	51.0	191.1	93.2	62.8	124.0	161.0	46.0	18.2	815.5
1967	15.5	12.1	15.1	8.7	14.7	20.2	15.8	111.0	399.8	180.2	52.5	25.6	871.2
1968	17.3	13.3	12.5	17.9	43.8	54.1	114.4	88.9	199.9	112.5	36.5	51.4	762.5
1969	27.7	16.9	15.4	19.3	18.3	5.9	82.0	145.8	419.1	89.5	37.8	31.6	909.3
1970	15.8	15.3	12.1	7.1	4.9	131.6	116.1	75.3	254.2	90.8	24.0	12.1	759.3
1971	8.5	5.7	5.5	20.5	9.5	28.8	33.8	84.7	100.0	256.4	72.5	26.4	652.3
1972	14.7	16.5	12.9	8.2	20.1	131.1	170.5	137.7	63.4	122.1	47.9	21.6	766.7
SUMA	176.4	132.0	119.5	189.7	219.9	713.1	1057.6	1053.8	1882.6	1238.2	433.3	310.0	
MEDIA	16.0	12.0	10.9	17.2	20.0	64.8	96.1	95.8	171.1	112.6	39.4	28.2	

TABLA IV.1.b

LAMINA DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION LOS HULES, EN mm

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	25.0	20.4	10.9	6.3	5.7	149.9	251.6	226.4	96.2	98.1	108.3	42.0	1040.8
1962	20.7	10.1	9.6	21.6	26.6	77.3	151.7	61.6	223.8	37.7	44.9	42.2	787.8
1963	24.2	8.2	7.0	5.3	4.5	40.9	363.5	166.3	93.6	50.3	35.1	23.7	822.6
1964	15.6	11.3	10.7	17.5	15.2	115.1	77.7	22.0	47.5	52.0	62.9	74.9	522.4
1965	29.9	12.4	10.6	20.0	18.6	58.7	150.8	275.8	138.7	88.5	36.6	19.4	860.0
1966	23.8	16.7	16.5	26.0	29.7	223.1	129.4	94.7	212.7	105.3	44.3	25.5	947.7
1967	19.7	15.3	18.2	10.0	17.2	50.8	61.6	153.0	245.6	91.0	48.0	21.4	751.8
1968	20.8	12.4	11.3	10.4	27.0	97.8	105.5	125.7	196.3	117.1	54.0	58.5	836.8
1969	39.0	19.8	16.8	21.2	11.2	7.7	133.7	240.4	449.9	82.4	35.9	30.5	1088.5
1970	17.6	14.7	13.1	8.6	8.8	95.2	165.8	135.1	184.5	96.6	28.0	15.8	783.8
1971	13.3	9.4	7.1	10.5	6.7	33.6	94.5	137.2	116.5	257.9	66.8	40.2	793.7
1972	27.1	18.7	17.7	8.1	10.0	94.8	151.8	107.0	121.9	99.6	47.2	35.0	738.9
SUMA	251.7	149.0	138.6	159.2	175.5	895.0	1586.0	1518.8	2031.0	1138.4	503.7	337.1	
MEDIA	22.88	13.55	12.60	14.47	15.95	81.36	144.18	138.07	184.64	103.49	45.79	35.19	

TABLA IV.1.c

LAMINA DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION POZA RICA, EN mm

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961						69.7	140.8	114.7	105.0	101.2	91.5	42.0	
1962	32.0	19.9	19.5	34.9	22.2	44.2	80.5	37.3	104.3	73.5	33.9	30.0	532.2
1963	26.1	16.6	14.0	11.5	14.8	29.8	173.1	104.1	85.7	46.0	41.3	25.2	588.2
1964	21.7	19.1	17.6	22.1	29.3	97.0	92.9	40.9	59.8	90.4	81.5	98.1	670.4
1965	55.5	26.6	23.4	33.7	28.4	39.7	127.6	239.4	90.4	112.9	49.7	26.1	853.4
1966	25.7	24.6	29.7	27.9	31.1	133.1	123.4	84.5	175.6	132.2	47.8	26.5	862.1
1967	30.2	26.6	24.6	18.7	24.5	54.2	55.4	89.7	207.6	105.5	58.7	32.2	727.9
1968	33.1	20.8	23.0	26.9	33.8	57.4	99.8	119.1	141.9	102.6	47.6	68.5	774.5
1969	46.2	27.2	26.0	28.9	23.1	16.3	139.6	198.7	296.8	95.8	52.7	36.3	987.6
1970	24.3	28.6	24.5	18.0	23.5	85.2	112.3	123.8	153.0	105.9	34.8	23.3	757.3
1971	22.8	20.0	20.1	30.8	17.4	39.6	105.3	143.6	107.9	216.7	118.5	49.1	891.8
1972	42.3	33.6	35.7	22.3	30.0	142.7	151.7	166.9	116.7	95.2	62.4	44.1	943.6
SUMA	359.9	263.6	258.1	275.7	278.1	739.2	1261.6	1348.0	1539.7	1176.7	628.9	459.4	
MEDIA	32.7	24.0	23.5	25.1	25.3	67.2	114.7	122.6	140.0	107.0	57.2	41.8	

TABLA IV.1.d

LAMINA DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION REMOLINO, EN mm

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
1961	19.9	15.8	7.5	3.7	2.5	113.1	152.1	120.1	79.4	87.3	63.6	13.3	423.6
1962	9.1	4.9	4.2	21.6	19.7	53.8	103.4	29.2	126.0	55.8	21.9	23.8	472.9
1963	16.3	7.7	5.0	2.7	6.2	33.6	235.3	95.9	53.5	28.0	17.7	8.1	510.0
1964	11.9	8.4	5.6	8.9	15.5	58.4	36.4	12.6	23.0	36.1	32.1	41.2	290.1
1965	29.2	15.7	23.2	29.6	19.0	52.9	114.7	262.3	92.2	54.6	29.1	19.9	742.4
1966	14.2	13.3	13.3	13.1	11.7	162.2	72.8	48.1	121.1	114.0	39.6	17.5	640.9
1967	15.0	10.4	12.3	7.0	17.0	36.6	34.1	120.6	292.8	85.2	36.4	23.3	690.7
1968	16.4	8.3	7.3	6.8	24.7	92.9	112.2	112.9	174.5	79.4	35.3	37.7	708.4
1969	24.0	13.8	12.2	10.7	10.7	5.8	89.4	158.4	376.8	57.8	21.4	17.7	798.7
1970	9.3	8.0	7.5	4.1	4.0	138.1	114.1	97.9	221.0	72.6	19.5	8.7	704.8
1971	7.7	5.3	4.7	20.0	4.8	32.2	87.6	121.4	129.4	230.4	78.5	31.9	753.9
1972	17.5	13.4	15.1	5.3	12.2	150.9	206.6	134.3	106.0	75.9	35.2	16.3	788.7
SUMA	170.6	109.2	110.4	129.8	145.5	816.9	1206.6	1193.6	1716.3	889.8	336.7	246.1	7101.5
MEDIA	15.5	9.9	10.0	11.8	13.2	74.3	109.7	108.5	156.0	80.9	33.3	22.4	645.6

TABLA IV.1.e

LAMINA DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION ALAMO, EN mm

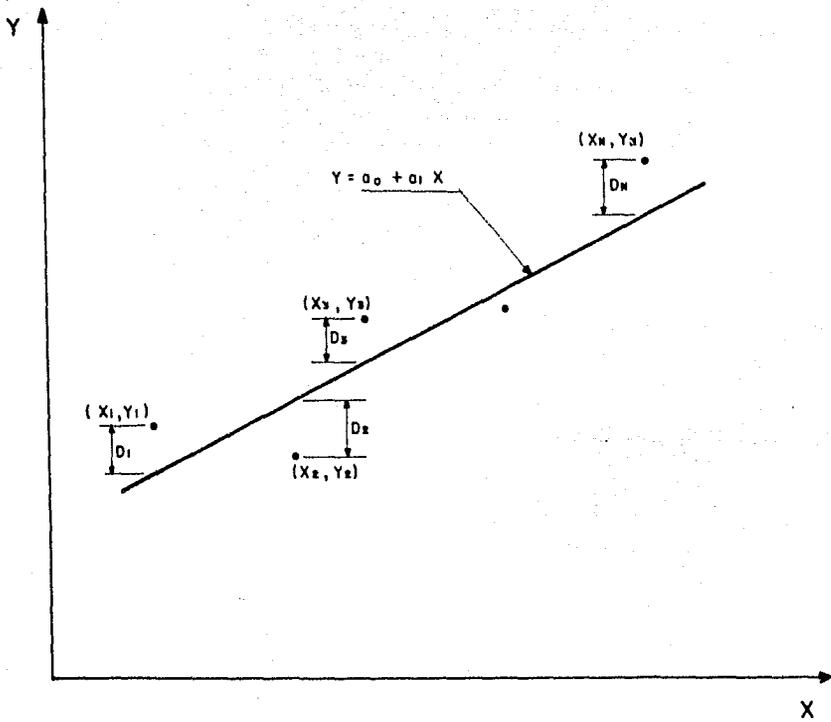


Fig. V.1 Recta de regresión por mínimos cuadrados.

CORRELACION LINEAL Y EXPONENCIAL DE DOS VARIABLES

L I S T A D O

```

10 DIM R$(50)
20 DISP "TITULO DE LA CORRELACION";
30 INPUT R$
40 PRINT R$
50 PRINT
60 PRINT
70 DISP "CORR. LINEAL=1, EXP=2; AMBAS=0";
80 INPUT M
90 DISP " NUMERO DE PAREJAS";
100 INPUT N
110 A1=A2=A3=A4=A5=0
120 C1=C2=C3=C4=C5=0
130 I=0
140 DISP " VALOR DE X,Y";
150 INPUT X,Y
160 I=I+1
170 A1=A1+X
180 A2=A2+Y
190 A3=A3+(X*Y)
200 A4=A4+X^2
210 A5=A5+Y^2
220 X=LGTX
230 Y=LGTY
240 C1=C1+X
250 C2=C2+Y
260 C3=C3+(X*Y)
270 C4=C4+X^2
280 C5=C5+Y^2
290 IF I=N THEN 310
300 GOTO 140
310 B1=A1/N
320 D1=C1/N
330 B2=A2/N
340 D2=C2/N
350 B3=A4*N-A1^2
360 D3=C4*N-C1^2
370 B4=A5*N-A2^2
380 D4=C5*N-C2^2
390 B5=A3*N-(A1*A2)
400 D5=C3*N-(C1*C2)
410 B6=B5/B3
420 D6=D5/D3
430 A6=B2-B6*B1
440 C6=D2-D6*D1
450 C6=10+C6
460 R1=B5/((B3*B4)+0.5)
470 R2=D5/((D3*D4)+0.5)
480 DISP " DE 5 PUNTOS EN X";
490 INPUT F,G,H,K,J
500 Z1=A6+B6*F
510 Z2=A6+B6*J
520 IF M=2 THEN 500

```

```

530 PRINT "LINEAL"
540 PRINT "A="A6;"B="B6;"R="R1
550 PRINT
560 WRITE (15,580)"X1="F;"X2="J
570 WRITE (15,580)"Y1="Z1;"Y2="Z2
580 FORMAT F10.4,4X,F10.4
590 Z3=C6+D6
600 Z4=C6+G+D6
610 Z5=C6+H+D6
620 Z6=C6+K+D6
630 Z7=C6+J+D6
640 IF M=1 THEN 740
650 PRINT
660 PRINT "EXFONENCIAL"
670 PRINT "A="C6;"B="D6;"R="R2
680 PRINT
690 WRITE (15,700)"X1="F;"X2="G;"X3="H;"X4="K;"X5="J
700 FORMAT F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4
710 WRITE (15,700)"Y1="Z3;"Y2="Z4;"Y3="Z5;"Y4="Z6;"Y5="Z7
720 PRINT
730 GOTO 470
740 END

```

Nº. DE PALABRAS = 619

DAVID J. SANCHEZ R.

TESTS PROFESIONAL

F. I.

UNAM.

Tabla V. 1

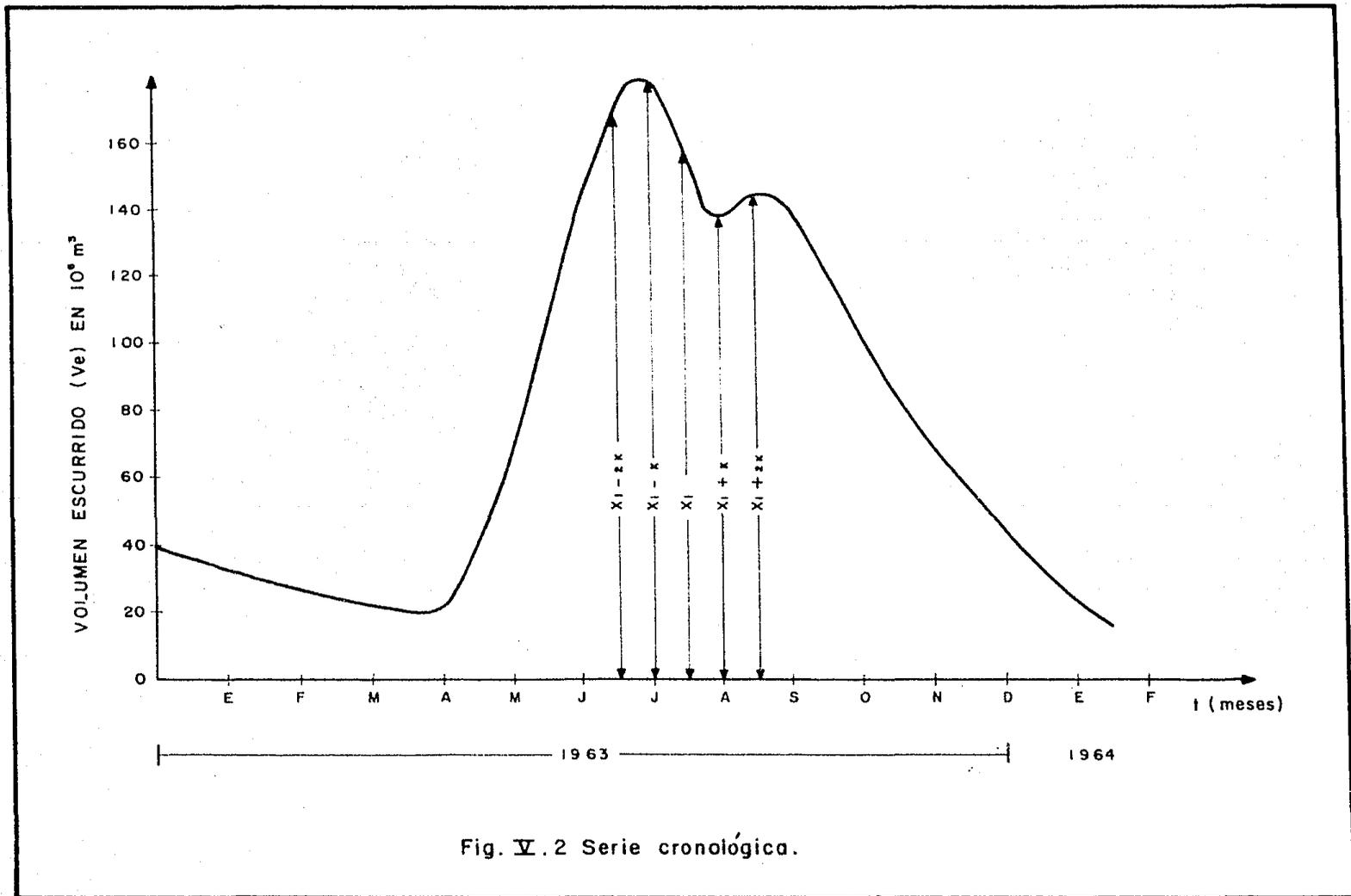
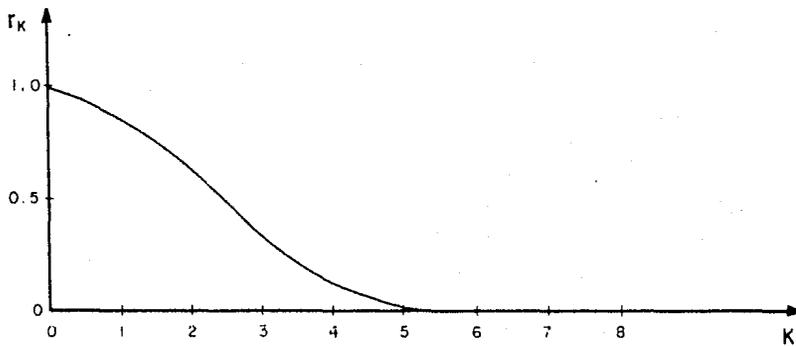
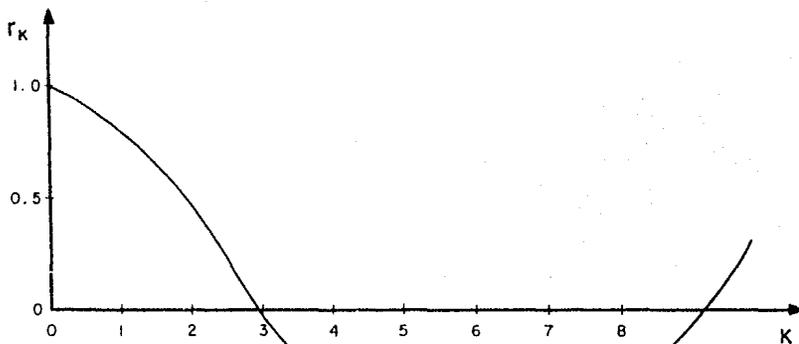


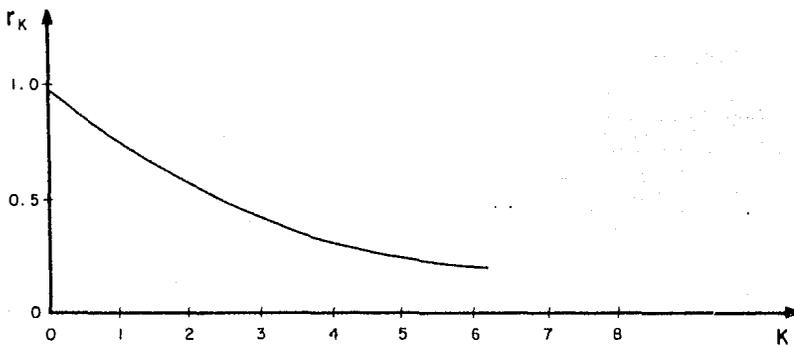
Fig. V.2 Serie cronológica.



a) PROCESO DE PROMEDIOS MOVILES



b) PROCESO DE SUMA DE ARMONICOS



c) PROCESO AUTORREGRESIVO

Fig. V.3 Correlogramas de diversos procesos.

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 4.8869 + 0.3405 DIC'ES	0.876995
FEB ES = - 2.1254 + 1.4763 ENE ES - 0.3497 DIC'ES	0.750153
MAR ES = 0.6706 + 0.8398 FEB ES	0.931432
ABR ES =	
MAY ES =	
JUN ES =	
JUL ES =	
AGO ES =	
SEP ES =	
OCT ES =	
NOV ES = 11.2332 + 0.2401 OCT ES	0.945436
DIC ES =	

TABLA V.2.a

MODELO TIPO I PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION TERRERILLOS

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M
ENE ES = 7.8330 + 0.2916 DIC'ES	0.855919
FEB ES = 4.8244 + 0.4475 ENE ES	0.614536
MAR ES = 0.8699 + 0.8328 FEB ES	0.861931
ABR ES =	
MAY ES =	
JUN ES =	
JUL ES =	
AGO ES =	
SEP ES =	
OCT ES =	
NOV ES = 15.9546 + 0.2082 OCT ES	0.944574
DIC ES =	

TABLA V.2.b

MODELO TIPO I PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION LOS HULES

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 11.9244 + 0.0058 DIC'ES	0.769411
FEB ES = 6.3190 + 0.3158 ENE ES	0.598145
MAR ES = - 1.0417 + 1.0071 FEB ES	0.930184
ABR ES =	
MAY ES = 4.3249 + 0.8036 ABR ES	0.638990
JUN ES = 17.5065 + 4.0024 MAY ES	0.610172
JUL ES =	
AGO ES =	
SEP ES =	
OCT ES =	
NOV ES =	
DIC ES = - 18.0768 + 1.5448 NOV ES - 0.1688 OCT ES	0.867315

TABLA V.2.c

MODELO TIPO I PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION POZA RICA

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 7.6615 + 0.4339 DIC'ES + 0.0653 OCT'ES	0.971823
FEB ES = 14.4467 + 0.0885 OCT'ES	0.737589
MAR ES = - 1.2016 + 1.0293 FEB ES	0.887607
ABR ES =	
MAY ES =	
JUN ES = - 39.9022 + 4.2363 MAY ES	0.593487
JUL ES =	
AGO ES =	
SEP ES =	
OCT ES =	
NOV ES = 10.8389 + 0.4331 OCT ES	0.756813
DIC ES =	

TABLA V.2.d

MODELO TIPO I PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION REMOLINO

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M
ENE ES = 3.1163 + 0.5508 DIC ⁴ ES	0.909665
FEB ES = 2.6694 + 0.4680 ENE ES	0.834268
MAR ES = - 4.6232 + 1.4767 FEB ES	0.920031
ABR ES =	
MAY ES =	
JUN ES =	
JUL ES =	
AGO ES =	
SEP ES =	
OCT ES =	
NOV ES = 10.2323 + 0.2856 OCT ES	0.934293
DIC ES =	

TABLA V.2.e

MODELO TIPO I PARA LA CUENCA CONTROLADA
 POR LA ESTACION ALAMO

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 7.3173 + 0.1305 DIC'LL	0.665838
FEB ES = 1.2315 + 0.1171 FEB LL + 0.0885 DIC'LL	0.703843
MAR ES = 3.1416 + 0.1350 FEB LL	0.655393
ABR ES = 1.4968 + 0.1613 ABR LL	0.824354
MAY ES = 7.7079 + 0.1697 ABR LL + 0.2815 FEB LL	0.819305
JUN ES = - 67.5967 + 0.4866 JUN LL	0.771421
JUL ES = - 13.9417 + 0.4910 JUL LL	0.912501
AGO ES = - 6.9079 + 0.4513 AGO LL	0.748637
SEP ES = -131.0693 + 0.7158 SEP LL + 0.5560 AGO LL	0.945809
OCT ES = - 75.6471 + 1.2863 OCT LL	0.875122
NOV ES = - 10.4117 + 0.3357 OCT LL	0.899384
DIC ES =	

TABLA V.3.a

MODELO TIPO II PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION TERRERILLOS

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 10.1432 + 0.1197 DIC'LL	0.700661
FEB ES = 5.5617 + 0.0459 FEB LL + 0.0885 ENE LL	0.792901
MAR ES =	
ABR ES = 9.6890 + 0.1744 ABR LL - 0.1164 FEB LL	0.909369
MAY ES =	
JUN ES = - 32.2236 + 0.3825 JUN LL	0.698627
JUL ES = - 7.1861 + 0.4710 JUL LL	0.859652
AGO ES = - 23.7981 + 0.5634 AGO LL	0.755911
SEP ES = - 71.9875 + 0.9224 SEP LL	0.909518
OCT ES = - 10.4907 + 0.9390 OCT LL - 0.1569 JUL LL	0.923640
NOV ES = 3.5743 + 0.2136 OCT LL	0.916825
DIC ES = 0.7700 + 0.2729 DIC LL + 0.1590 NOV LL	0.823528

TABLA V.3.b

MODELO TIPO II PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION LOS HULES

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 14.0900 + 0.1565 DIC'LL	0.648985
FEB ES = 9.5578 + 0.0885 FEB LL	0.596898
MAR ES = 7.7153 + 0.1084 FEB LL	0.675327
ABR ES =	
MAY ES = 7.7037 + 0.1098 ABR LL	0.731097
JUN ES = - 49.1053 + 0.4458 JUN LL	0.831504
JUL ES = - 49.3303 + 0.5519 JUL LL	0.70271
AGO ES = - 27.4349 + 0.5020 AGO LL	0.916884
SEP ES = - 97.8873 + 0.8196 SEP LL	0.874470
OCT ES = 16.3816 + 0.4866 OCT LL	0.630138
NOV ES = 29.7980 + 0.1622 NOV LL	0.920836
DIC ES = 15.5904 + 0.1988 NOV LL	0.746250

TABLA V.3.c

MODELO TIPO II PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION POZA RICA

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = - 0.9350 +0.2643 ENE LL+0.1831 DIC' LL+0.0532 NOV' LL	0.961796
FEB ES = 16.1903 +0.1228 ENE LL	0.617202
MARES =	
AER ES = 10.2804 +0.1355 AER LL+0.0916 MARLL	0.885366
MAYES =	
JUN ES = -85.3910 +0.4576 JUN LL+0.3934 MAY LL	0.951738
JUL ES = 32.7479 +0.2885 JUL LL	0.895878
AGO ES = 8.6400 +0.4295 AGO LL	0.719100
SEP ES = -24.4344 +0.5525 SEP LL	0.885325
OCT ES = - 2.8052 +0.6487 OCT LL	0.729308
NOV ES = - 3.2616 +0.1816 NOV LL+0.2531 OCT LL	0.825882
DIC ES = 17.0654 +0.2550 NOV LL	0.821463

TABLA V.3.d

MODELO TIPO II PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION REMOLINO

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	C. DE C. M.
ENE ES = 4.0330 + 0.2577 ENE LL	0.801672
FEB ES = 2.4244 + 0.1685 ENE LL	0.934585
MAR ES = - 1.7084 + 0.2638 ENE LL	0.911484
ABR ES = 2.0493 + 0.1395 ABR LL	0.65675
MAY ES = 5.2118 + 0.1146 ABR LL	0.691215
JUN ES = - 55.0244 + 0.4484 JUN LL	0.624727
JUL ES = - 49.1704 + 0.5654 JUL LL	0.821788
AGO ES = -152.3511 + 0.5965 AGO LL + 0.3376 JUL LL	0.710633
SEP ES = -136.1550 + 0.5367 SEP LL + 0.4851 AGO LL	0.937972
OCT ES =	
NOV ES =	
DIC ES =	

TABLA V.3.e

MODELO TIPO II PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION ALAMO

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE	OBSERVACIONES
ENE ES = 3.4571 + 0.2824 DIC'ES *	0.942967	
FEB ES = 0.0547 + 0.6864 ENE ES	0.750153	
MAR ES = 0.6706 + 0.8398 FEB ES	0.931432	
ABR ES = 1.4068 + 0.1613 ABR LL	0.824354	
MAY ES = 1.5748 + 0.2106 ABR LL	0.756153	Se procesaron nueve datos
JUN ES = - 67.5967 + 0.4866 JUN LL	0.771421	
JUL ES = - 13.9417 + 0.4910 JUL LL	0.912501	
AGO ES = - 6.9079 + 0.4513 AGO LL	0.748637	
SEP ES = - 70.5528 + 0.9643 SEP LL	0.884132	
OCT ES = - 75.6471 + 1.2863 OCT LL	0.875122	
NOV ES = 11.2332 + 0.2401 OCT ES	0.945436	
DIC ES = 7.5524 + 0.1858 NOV ES	0.688421	Se procesaron ocho datos

* Diciembre de escurrimiento del año anterior.

TABLA V.4.a

MODELO TIPO III PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION TERRERILLOS

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE	OBSERVACIONES
ENE ES = 7.8330 + 0.2916 DIC'ES	0.855919	
FEB ES = 2.1431 + 0.5236 ENE ES	0.896041	Se procesaron ocho datos
MAR ES = 0.8699 + 0.8328 FEB ES	0.861931	
ABR ES = 4.5059 + 0.1617 ABR LL	0.822598	
MAY ES = 5.7476 + 0.1540 ABR LL	0.768600	Se procesaron nueve datos
JUN ES = - 32.2236 + 0.3825 JUN LL	0.698627	
JUL ES = - 7.1861 + 0.4710 JUL LL	0.859652	
AGO ES = - 23.7981 + 0.5634 AGO LL	0.755911	
SEP ES = - 71.9875 + 0.9224 SEP LL	0.909518	
OCT ES = - 42.7096 + 0.9258 OCT LL	0.876100	
NOV ES = 15.9546 + 0.2082 OCT ES	0.944574	
DIC ES = 7.2129 + 0.2850 NOV ES	0.917906	Se procesaron siete datos

TABLA V.4.b

MODELO TIPO III PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION LOS HULES

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE	OBSERVACIONES
ENE ES = 11.9244 + 0.3058 DIC'ES	0.769411	
FEB ES = 6.5293 + 0.3319 ENE ES	0.708748	Se procesaron diez datos
MAR ES = - 1.0417 + 1.0071 FEB ES	0.930184	
ABR ES = 6.0058 + 0.0986 ABR LL	0.931328	Se procesaron ocho datos
MAY ES = 7.7037 + 0.1098 ABR LL	0.731097	
JUN ES = - 49.1053 + 0.4458 JUN LL	0.831504	
JUL ES = - 49.3303 + 0.5519 JUL LL	0.702710	
AGO ES = - 27.4349 + 0.5020 AGO LL	0.916684	
SEP ES = - 97.8873 + 0.8196 SEP LL	0.874470	
OCT ES = - 28.7690 + 0.7524 OCT LL	0.859053	Se procesaron nueve datos
NOV ES = 28.8377 + 0.1548 OCT ES	0.896961	Se procesaron nueve datos
DIC ES = - 11.8186 + 1.0015 NOV ES	0.735095	Se procesaron diez datos

TABLA V.4.c

MODELO TIPO III PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION POZA RICA

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE	OBSERVACIONES
ENE ES = 14,2829 + 0.4434 DIC'ES	0.938094	
FEB ES = 9.1568 + 0.4498 ENE ES	0.716341	Se procesaron nueve datos
MAR ES = - 1.2016 + 1.0293 FEB ES	0.887607	
ABR ES = 16.2591 + 0.1293 ABR LL	0.795382	
MAY ES = 9.7585 + 0.2422 ABR LL	0.778008	Se procesaron seis datos
JUN ES = - 66.5725 + 0.5285 JUN LL	0.829237	
JUL ES = 32.7479 + 0.2885 JUL LL	0.895878	
AGO ES = 8.6900 + 0.4295 AGO LL	0.719100	
SEP ES = - 24.4344 + 0.5525 SEP LL	0.885325	
OCT ES = - 2.8052 + 0.6487 OCT LL	0.729308	
NOV ES = 10.8389 + 0.4331 OCT ES	0.756813	
DIC ES = 31.6989 + 0.1633 NOV ES	0.745825	Se procesaron siete datos

TABLA V.4.d

MODELO TIPO III PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION REMOLINO

ECUACION DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE	OBSERVACIONES
ENE ES = 3.1163 + 0.5508 DIC'ES	0.909665	
FEB ES = 2.6694 + 0.4680 ENE ES	0.834268	
MAR ES = - 4.6232 + 1.4767 FEB ES	0.920031	
ABR ES = - 0.0617 + 0.3129 ABR LL	0.930575	Se procesaron ocho datos
MAY ES = - 6.6852 + 0.1873 MAY LL	0.774276	Se procesaron ocho datos
JUN ES = - 82.2042 + 0.5589 JUN LL	0.866338	Se procesaron ocho datos
JUL ES = - 49.1704 + 0.5654 JUL LL	0.821788	
AGO ES = - 41.6469 + 0.5395 AGO LL	0.710633	
SEP ES = - 69.1160 + 0.7689 SEP LL	0.881637	
OCT ES = 23.6339 + 0.4222 OCT LL	0.890833	Se procesaron siete datos
NOV ES = 10.2323 + 0.2856 OCT ES	0.934293	
DIC ES = 5.9621 + 0.3443 NOV ES	0.872505	Se procesaron ocho datos

TABLA V.4.e

MODELO TIPO III PARA LA CUENCA CONTROLADA
POR LA ESTACION ALAMO

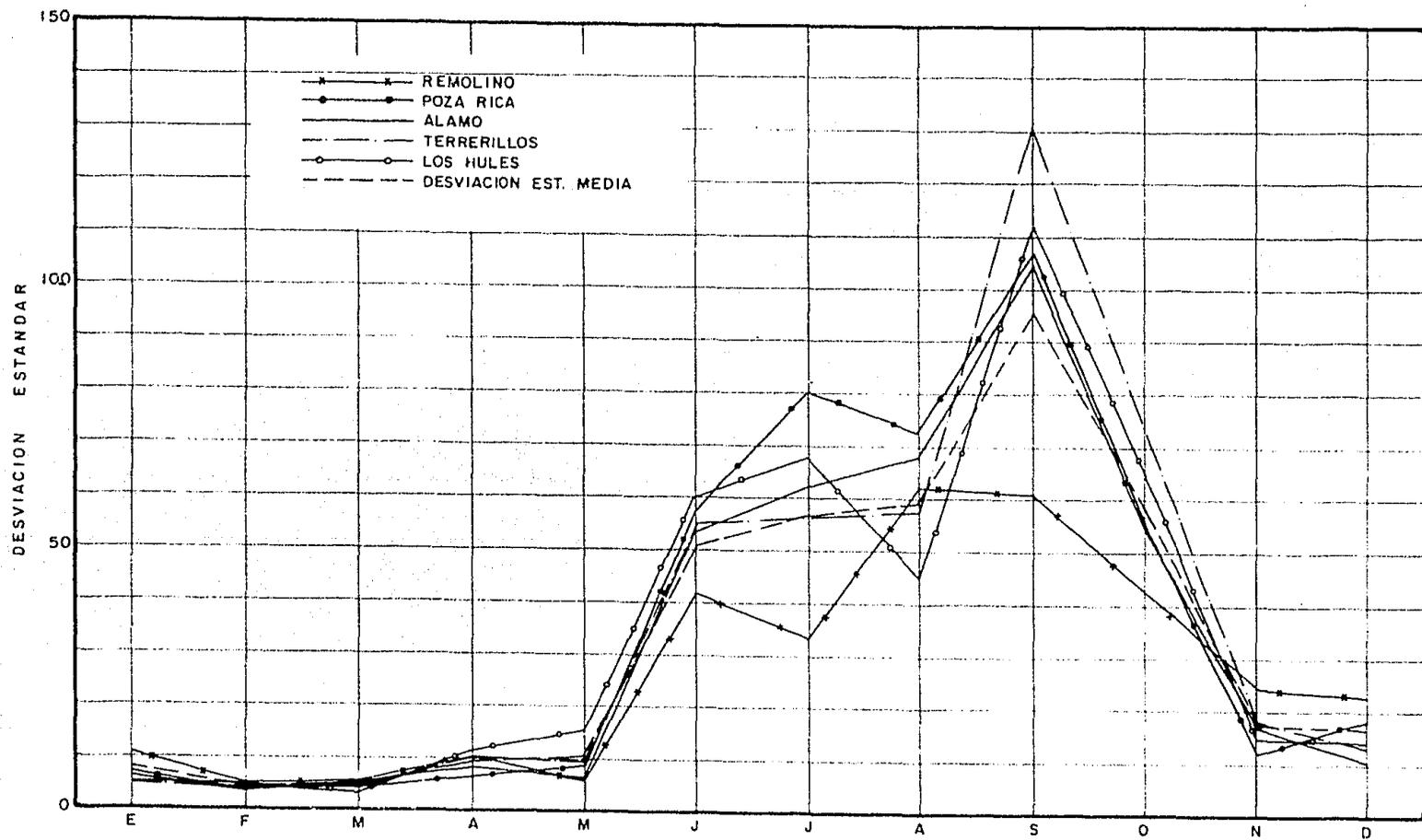
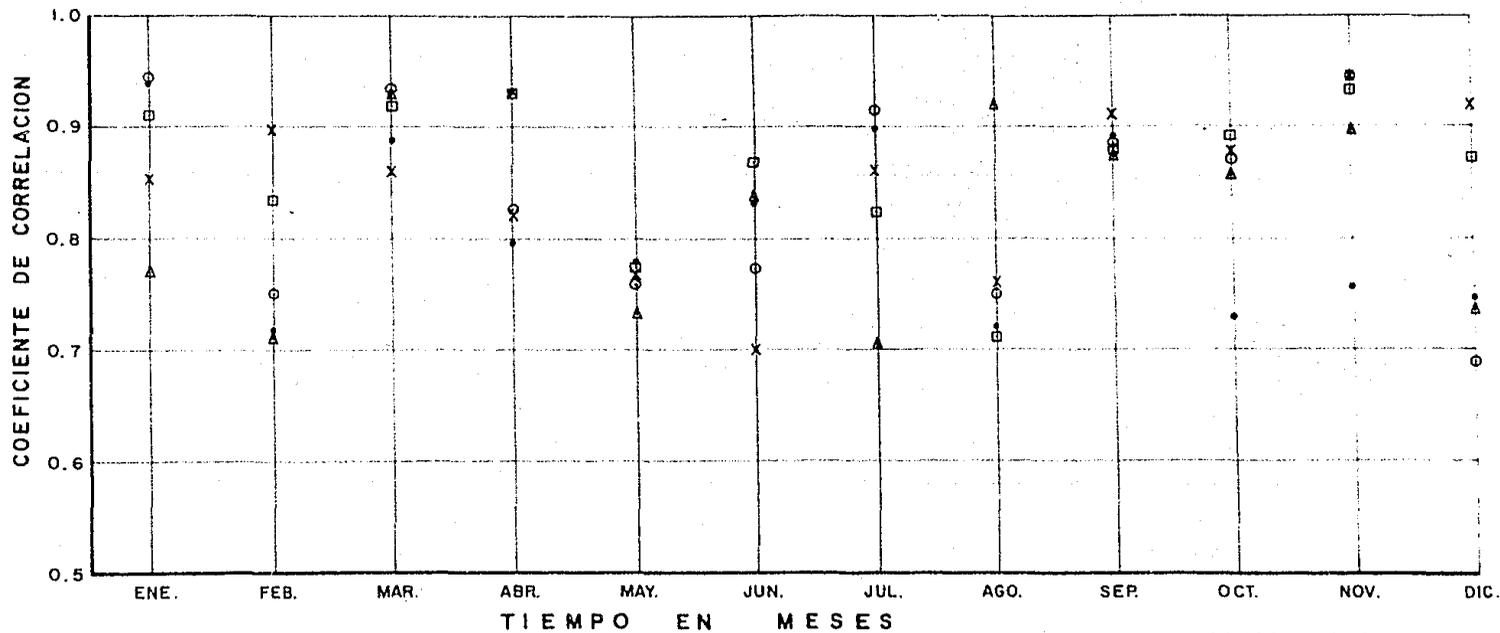


Fig. V.4 Desviación estandar mensual.



SIMBOLOGIA
 ○ TERRERILLOS
 ◻ ALAMO
 △ POZA RICA
 X LOS HULES
 • REMOLINO

Fig. V.5 Coeficientes de correlación mensual.

M E S	Sy (Media)	r_{xy} (Media)	r_{xy}^2	$(1 - r_{xy}^2)$	$(1 - r_{xy}^2)^{1/2}$	$K = Sy(1 - r_{xy}^2)^{1/2}$
Enero	6.89	0.883	0.780	0.220	0.469	3.231
Febrero	4.41	0.781	0.610	0.390	0.625	2.756
Marzo	4.69	0.906	0.821	0.179	0.423	1.984
Abril	9.58	0.861	0.741	0.259	0.509	4.876
Mayo	9.22	0.762	0.581	0.419	0.647	5.965
Junio	53.49	0.799	0.638	0.362	0.602	32.201
Julio	59.81	0.838	0.702	0.298	0.546	32.656
Agosto	61.10	0.770	0.593	0.407	0.638	38.982
Septiembre	103.09	0.887	0.787	0.213	0.462	47.628
Octubre	58.19	0.846	0.716	0.284	0.533	31.015
Noviembre	17.20	0.896	0.803	0.197	0.444	7.637
Diciembre	15.86	0.792	0.627	0.373	0.611	9.690

TABLA V.5

CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDARD DEL ERROR

AÑO	E N E R O			F E B R E R O			M A R Z O			A B R I L		
	K = 3.231			K = 2.756			K = 1.984			K = 4.876		
	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$
1962	0.1306	-1.13	-3.7	0.2431	-0.70	-1.9	0.6168	0.30	0.6	0.6243	0.32	1.6
1963	0.1189	-1.18	-3.8	0.0649	-1.52	-4.2	0.5060	0.02	0.0	0.7658	0.72	3.5
1964	0.5731	0.18	0.6	0.8085	0.87	2.4	0.8656	1.11	2.2	0.6903	0.50	2.4
1965	0.3968	-0.26	-0.8	0.5053	0.01	0.0	0.6733	0.45	0.9	0.9911	2.37	11.6
1966	0.5606	0.15	0.5	0.4722	-0.07	-0.2	0.6364	0.35	0.7	0.5740	0.19	0.9
1967	0.5084	0.02	0.1	0.6598	0.41	1.1	0.7649	0.72	1.4	0.7824	0.78	3.8
1968	0.8947	1.25	4.0	0.5044	0.01	0.0	0.1871	-0.89	-1.8	0.8520	0.15	0.7
1969	0.3897	-0.28	-0.9	0.9040	1.30	3.6	0.4328	-0.17	-0.3	0.7695	0.74	3.6
1970	0.1636	-0.98	-3.2	0.5121	0.03	0.1	0.7965	0.83	1.6	0.6937	0.51	2.5
1971	0.7810	0.78	2.5	0.6597	0.41	1.1	0.6541	0.40	0.8	0.0406	-1.74	-8.5
1972	0.0422	1.72	5.6	0.2022	-0.83	-2.3	0.5645	0.17	0.3	0.8894	1.22	5.9

TABLA V.6

CALCULO DEL ERROR

AÑO	M A Y O			J U N I O			J U L I O			A G O S T O		
	K= 5.965			K= 32.201			K= 32.656			K= 38.982		
	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$
1962	0.0441	- 1.70	- 10.1	0.4197	- 0.20	- 6.4	0.5581	0.15	4.9	0.5218	0.05	1.9
1963	0.8135	0.89	5.3	0.6511	0.39	12.6	0.5771	0.19	6.2	0.1454	- 1.06	- 41.3
1964	0.9797	2.05	12.2	0.0407	- 1.74	- 56.0	0.5442	0.11	3.6	0.3634	- 0.35	- 13.6
1965	0.7285	0.61	3.6	0.9239	1.43	46.0	0.8761	1.16	37.9	0.3666	- 0.34	- 13.3
1966	0.5905	0.23	1.4	0.2232	- 0.76	- 24.5	0.1428	- 1.07	- 34.9	0.5642	0.16	6.2
1967	0.9539	1.68	10.0	0.2961	- 0.54	- 17.4	0.4183	- 0.21	- 6.9	0.4539	- 0.12	- 4.7
1968	0.5160	0.04	0.2	0.0551	- 1.60	- 51.5	0.4312	- 0.17	- 5.6	0.1561	- 1.01	- 39.4
1969	0.7851	0.79	4.7	0.0539	- 1.61	- 51.8	0.5445	0.11	3.6	0.7849	0.79	30.8
1970	0.8464	1.02	6.1	0.8288	0.95	30.6	0.4854	- 0.04	- 1.3	0.7520	0.68	26.5
1971	0.6789	0.46	2.7	0.7478	0.67	21.6	0.9157	- 1.38	45.1	0.2547	- 0.66	- 25.7
1972	0.3938	- 0.27	- 1.6	0.7565	0.70	22.5	0.9158	1.38	45.1	0.0756	- 1.44	- 56.1

TABLA V.6
 CALCULO DEL ERROR
 (CONTINUACION)

AÑO	SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	K = 47.628			K = 31.015			K = 7.637			K = 9.690		
	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$	P	Z	$\epsilon = KZ$
1962	0.1206	- 1.17	- 55.7	0.7945	0.82	25.4	0.4866	- 0.03	- 0.2	0.7068	0.54	5.2
1963	0.2033	- 0.83	- 39.5	0.9975	2.81	87.2	0.0956	- 1.31	- 10.0	0.6694	0.44	4.3
1964	0.6543	0.40	19.1	0.6080	0.27	8.4	0.7545	0.69	5.3	0.5168	0.04	0.4
1965	0.6799	0.47	22.4	0.7423	0.65	20.2	0.7723	0.75	5.7	0.3117	- 0.49	- 4.7
1966	0.7454	0.66	31.4	0.3175	- 0.48	- 14.9	0.8085	0.87	6.6	0.1586	- 1.00	- 9.7
1967	0.9052	1.31	62.4	0.9377	1.53	47.5	0.4948	- 0.01	- 0.1	0.0237	- 1.98	- 19.2
1968	0.6689	0.44	21.0	0.6951	0.51	15.8	0.2228	- 0.76	- 5.8	0.6160	0.29	2.8
1969	0.1946	0.86	41.0	0.6519	0.39	12.1	0.9583	1.73	13.2	0.9585	1.73	16.8
1970	0.2574	- 0.65	- 31.0	0.8287	0.95	29.5	0.4415	- 0.15	- 1.1	0.1133	- 1.21	- 11.7
1971	0.9386	1.54	73.3	0.8994	1.28	39.7	0.7065	0.54	4.1	0.8722	1.14	11.0
1972	0.0304	- 1.87	- 89.1	0.5532	0.14	4.3	0.8239	0.93	7.1	0.9191	1.40	13.6

TABLA V.6
 CALCULO DEL ERROR
 (CONTINUACION)

S, pendiente media del cauce principal
L, longitud del cauce principal en km

A, área de la cuenca en km²
hpm, lámina media de lluvia en mm

MES	ECUACION DE REGRESION	COEFICIENTE DE CORRELACION	OBSERVACIONES
ENERO	$A_0 = -5.736 + 1543.379 S$ $A_1 = 0.257 + 2.422 A/S^2$	$r_0 = 0.768533$ $r_1 = 0.956878$	
FEBRERO	$A_0 = -5.577 + 0.080 L$ $A_1 = 1.7510 - 0.0007 hpm$	$r_0 = 0.765627$ $r_1 = 0.895001$	
MARZO	$A_0 = 0.237 - 0.006 A/S$ $A_1 = 0.782 + 0.005 A/S^2$	$r_0 = -0.817248$ $r_1 = 0.936198$	
ABRIL	$A_0 = 1.810 + 0.00004 A^2/L$ $A_1 = 0.100 + 0.0015 A/S^2$	$r_0 = 0.743073$ $r_1 = 0.858392$	
MAYO	$A_0 = -16.649 + 2256.887 S$ $A_1 = 0.1 + 0.003 A/L$	$r_0 = 0.860661$ $r_1 = 0.847903$	
JUNIO	$A_0 = -99.488 + 499.352 S/L$ $A_1 = 0.627 - 1.815 S/L$	$r_0 = 0.952860$ $r_1 = -0.945847$	
JULIO	$A_0 = 58.818 - 0.813 L$ $A_1 = 0.322 + 0.002 L$	$r_0 = -0.928219$ $r_1 = 0.979696$	Se procesaron cuatro datos Se procesaron cuatro datos
AGOSTO	$A_0 = 22.261 - 0.433 L$ $A_1 = 0.342 + 1.588 S/L$	$r_0 = -0.778291$ $r_1 = 0.921496$	Se procesaron cuatro datos Se procesaron cuatro datos
SEPTIEMBRE	$A_0 = 4.9 + 4.8 \times 10^3 A$ $A_1 = 1.365 - 5.210 A/L^2$	$r_0 = 0.823713$ $r_1 = -0.802374$	
OCTUBRE	$A_0 = -125.919 + 0.830 L$ $A_1 = 1.615 - 0.007 L$	$r_0 = 0.769513$ $r_1 = -0.717134$	
NOVIEMBRE	$A_0 = -0.02 + 0.002 L$ $A_1 = 0.141 + 0.00004 A$	$r_0 = 0.933471$ $r_1 = 0.940910$	
DICIEMBRE	$A_0 = -15.616 + 1.016 A/L$ $A_1 = 1.365 + 5.210 A/L^2$	$r_0 = 0.823713$ $r_1 = -0.802374$	

TABLA V.7

ECUACIONES DE REGRESION PARA EL CALCULO DE
A₀ Y A₁ EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS
FISIOGRAFICAS DE CUENCA

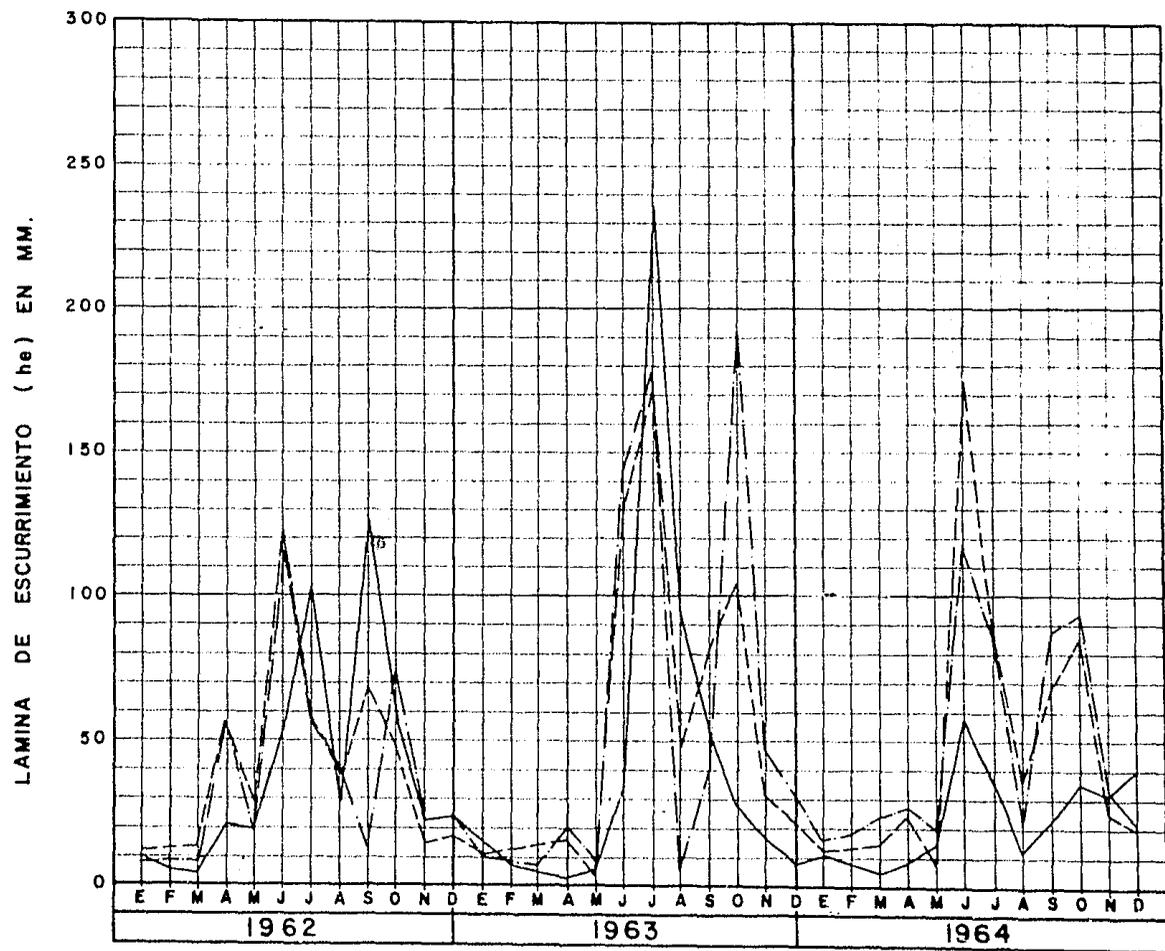


Fig. V.6 Comparación gráfica de resultados.

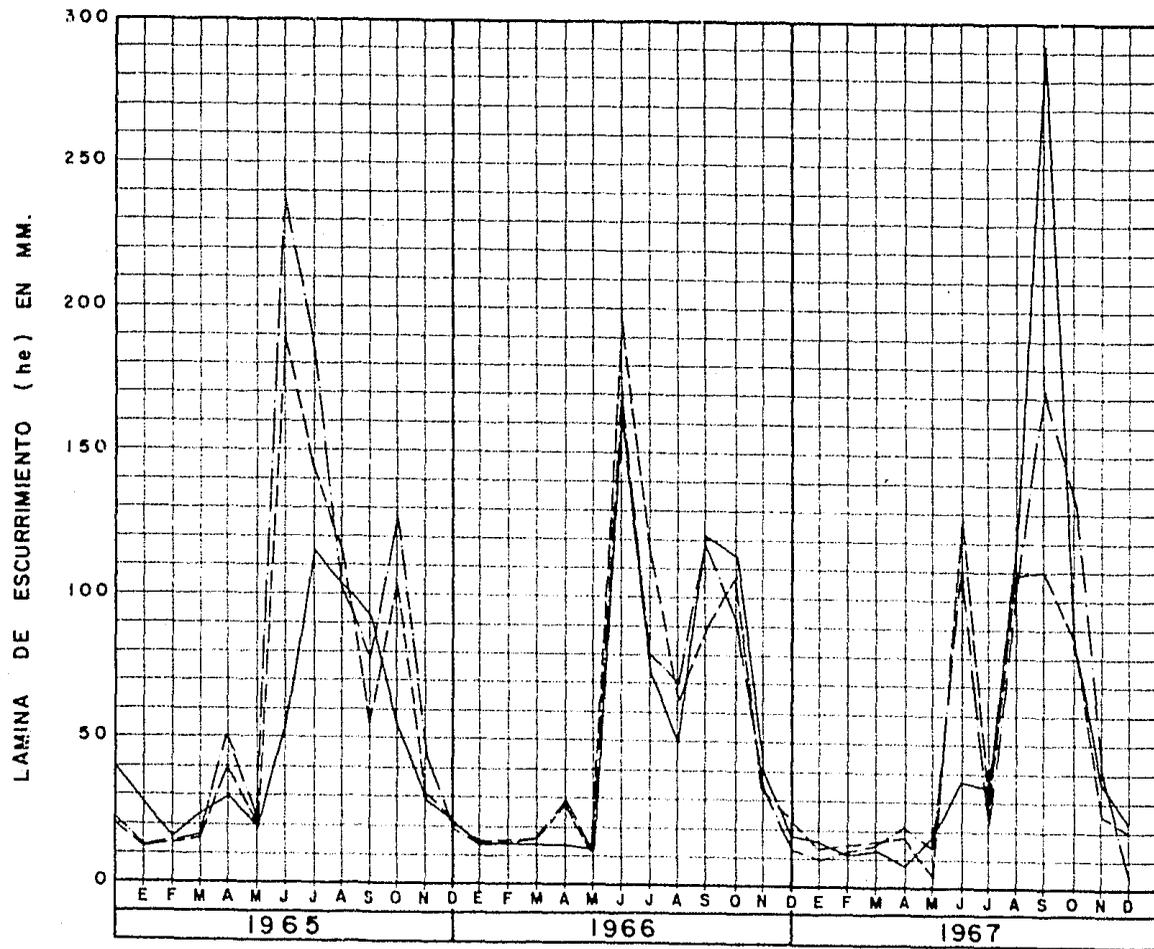


Fig. V.6 Comparación gráfica de resultados (continuación).

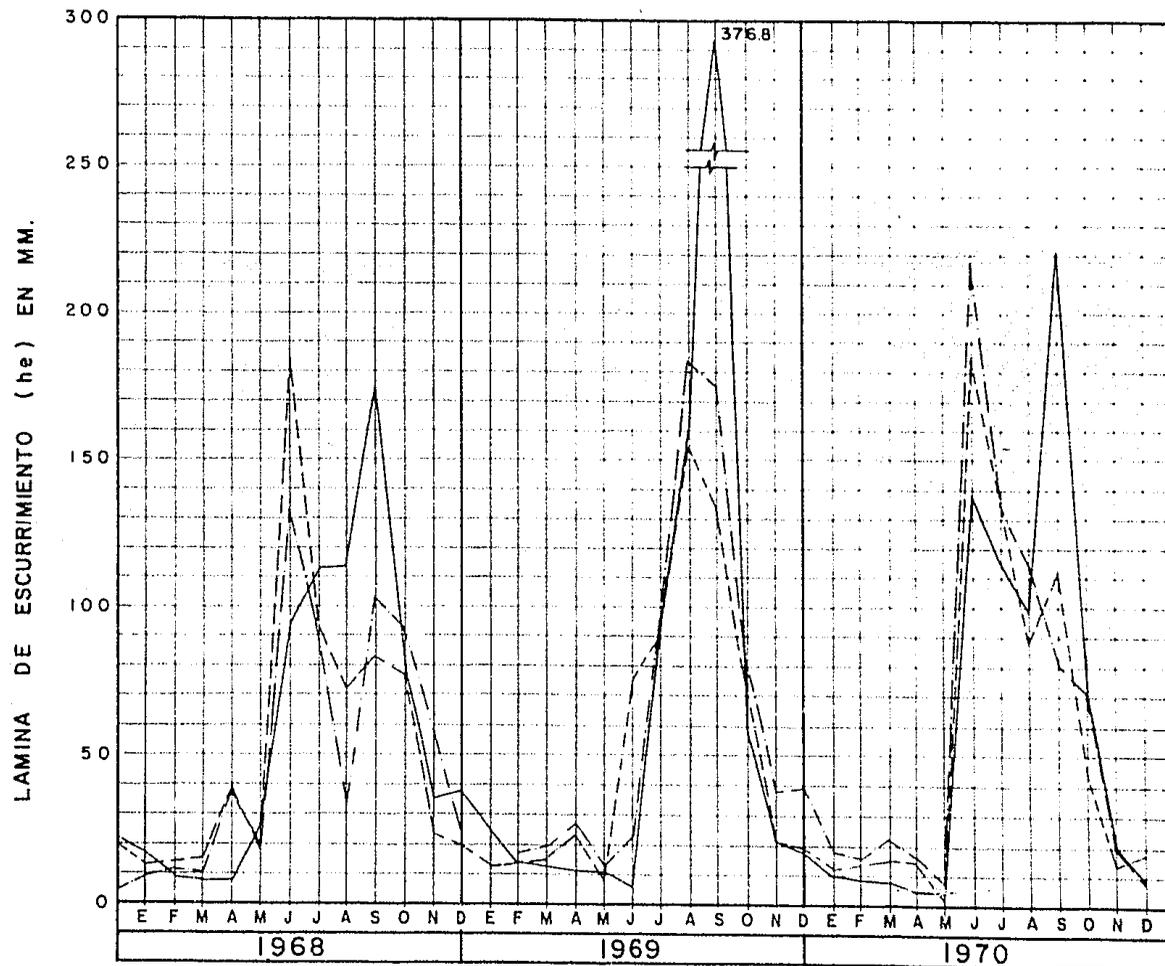


Fig. V.6 Comparación gráfica de resultados (continuación).

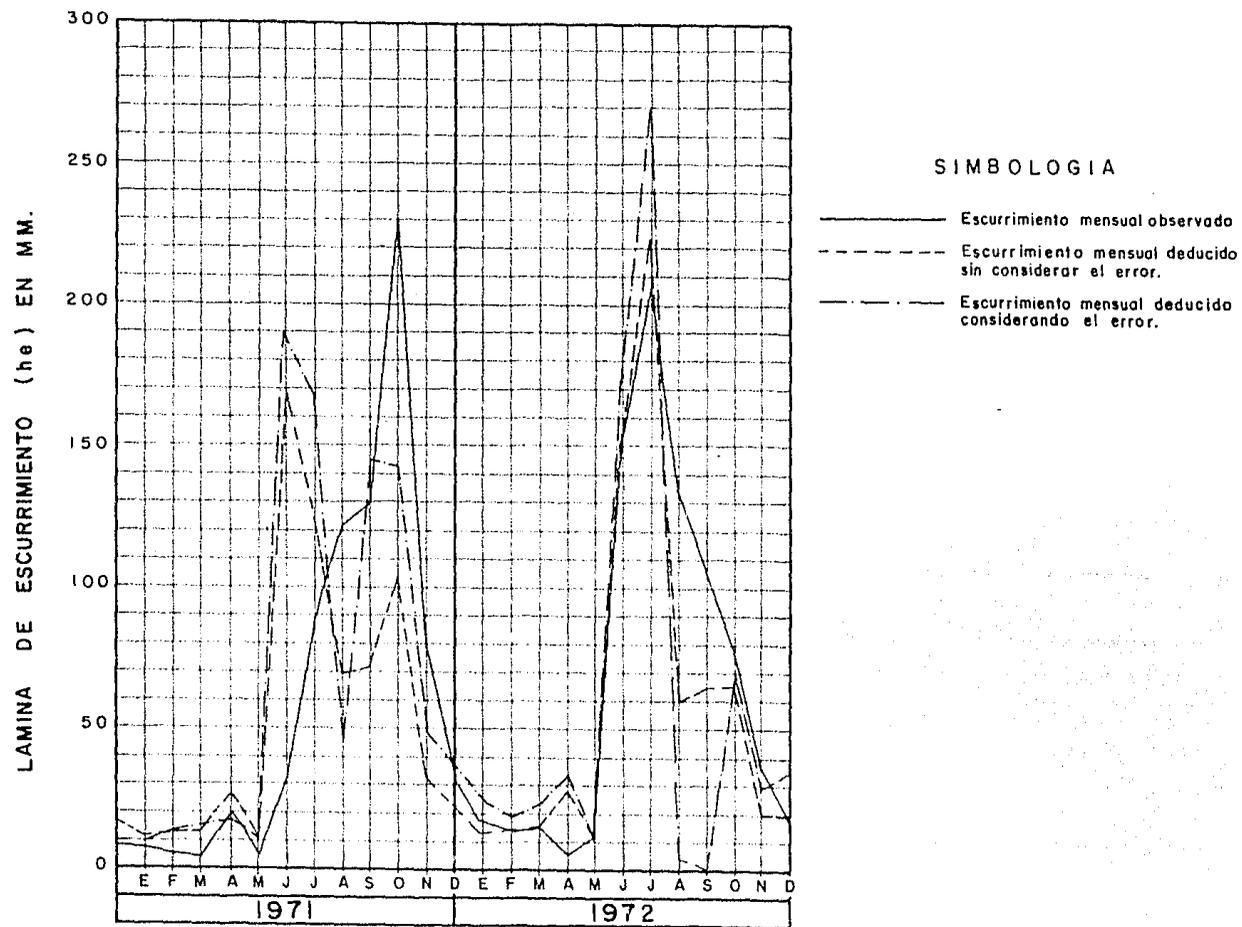


Fig. V. 6 Comparación gráfica de resultados (continuación)

B I B L I O G R A F I A

Probability and Statistics for Engineers
Irwin Miller and John E. Freund
Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1965)

Hidrología Primera Parte
Dr. Rolando Springall G.
Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D. F. (1970)

Hidrología Segunda Parte
Dr. Rolando Springall G.
Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D. F. (1975)

Introduction to Hydrology
Warren Viessman, Jr., Terence E. Harbaugh, John W.
Knapp
Intext Educational Publishers

Hidrología para Ingenieros
Linsley, Kohler, Paulhus
Mc. Graw-Hill Book Company New York (1967)

Boletín Hidrológico N° 42 Tomos I y II
Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D. F.

Boletín Hidrológico N° 32 Tomo II
Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D. F.