


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or scholar, seated on a throne and holding a book. The figure is surrounded by various symbols, including a crown, a lion, and a cross. The Latin text "SACRAE THEOLOGICAE UNIVERSITATIS CAROLINAE" is inscribed around the perimeter of the seal. The text "CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACATEMALENSIS INTER" is also visible, likely part of the university's motto or name.

"ESTUDIO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN CENTRO
DE PRONOSTICO DE CAUDALES
(Cuenca del río Michatoya)"

CARLOS ENRIQUE HURTADO FLORES

Guatemala, febrero de 1971

DL
08
T(208)C

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Mauricio Castillo Contoux
Vocal Primero:	Ing. Marco Antonio Cuevas
Vocal Segundo:	Ing. Rodolfo González M.
Vocal Tercero:	Ing. Adolfo Behrens M.
Vocal Cuarto:	Br. Gustavo A. Sierra
Vocal Quinto:	Br. Guido R. Cosenza
Secretario:	Ing. Héctor Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Amando Vides Tobar
Vocal Segundo:	Ing. Rodolfo González M.
Examinador:	Ing. Roberto Obiols G.
Examinador:	Ing. Luis Felipe Mérida
Secretario:	Ing. Héctor Centeno B.

DEDICO ESTE ACTO

A la memoria de mi Madre:

Olga Matilde Flores Escobar de Hurtado

A mi Esposa:

Vilma Haydée Recinos de Hurtado

A mis Padres:

Gerardo Hurtado Aguilar
Genoveva Bonatto de Hurtado

A mis Hermanos:

Gerardo Alberto
Rosa María Antonieta
Olga Lucrecia
Beatriz Eugenia
Alma Gloria
Julio César
Elsa Marina
Fabiola Elena

A mi Familia

A mis Amigos

A la Facultad de Ingeniería.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido en las leyes y reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, someto a vuestra consideración el presente trabajo de tesis titulado:

"ESTUDIO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN CENTRO
DE PRONOSTICO DE CAUDALES
(Cuenca del río Michatoya)"

Tema que me fuera asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
REDES HIDROMETRICAS E HIDROMETEOROLOGICAS	3
- Situación de la red hidrométrica	3
- Situación de la red hidrometeorológica	5
- Análisis de doble masa	6
CAPITULO II	
METODOS EXISTENTES PARA PREDETERMINAR CRECIDAS	9
- Métodos empíricos	10
- Método basado sobre crecidas históricas	10
- Método de curvas envolventes	10
- Métodos estadísticos	13
- Métodos hidrometeorológicos	13
- Método del coeficiente	14
Cálculo del coeficiente de escorrentía, para las cuencas del río Michatoya y lago de Amatitlán	14
- Método del hidrograma unitario	18
- Método del hidrograma unitario sintético	19
Cálculo de los parámetros del hidrograma unitario sintético	20
- Método coaxial de correlación gráfica	23
- Método racional	24

CONTENIDO
(ii)

Pág.

CAPITULO III

ANALISIS SOBRE LA DISTRIBUCION DE LA LLUVIA EN LAS CUENCAS
DEL RIO MICHATOYA Y LAGO DE AMATITLAN

27

- Lluvias por convección 27
- Lluvias orográficas 27

CAPITULO IV

RED HIDROMETEOROLOGICA PROPUESTA

31

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

35

- Costo instrumental (instalado) 35
- Costo de operación 36
- Relación beneficio a costo
 - Falta de agua en verano 37
 - Exceso de agua en invierno 40
 - Azolve del cauce 41
- Beneficios secundarios 42

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

45

- De la red hidrometeorológica 45
- De los métodos de pronósticos 45
- Del centro de pronóstico 46

BIBLIOGRAFIA

47

INTRODUCCION

Las constantes amenazas de inundaciones que ocurren en grandes zonas agrícolas de nuestro país, debidas a la falta de control existente sobre el régimen de los ríos, nos hace sentir la necesidad de pronosticar las grandes avenidas que en ellos ocurren, para encontrar la solución más adecuada a este problema, y contrarrestarlo en lo posible, tomando las medidas que el caso requiera.

Recientemente, en septiembre de 1969, hubimos de lamentar terribles pérdidas en la economía nacional, como consecuencia del temporal que azotó nuestro país en esos días, y aún cuando se pensaba en ese entonces, que en muchos años no volvería a suceder, la Naturaleza nos demostró el año pasado la falta de veracidad en el pronóstico, al producir se grandes inundaciones que dañaron nuevamente la economía nacional.

Como consecuencia del temporal del año de 1969, el renglón de la energía eléctrica sufrió grandes daños, al ser prácticamente inutilizadas las instalaciones de la planta termoeléctrica de Guacalate, por la fuerza de las aguas del río del mismo nombre. Debido a ello, el fluido que se generaba por estas turbinas, hubo de ser reemplazado con la generación de otras plantas, lo que obligó de inmediato a realizar un estudio para el aprovechamiento óptimo del caudal del río Michatoya en la generación de electricidad por las plantas hidroeléctricas que operan dentro del sistema Michatoya controladas por el Instituto Nacional de Electrificación. Luego, al entrar en operación la hidroeléctrica de Jurún Marinalá, se hizo sentir más aún la necesidad de programar el uso del agua almacenada en el lago de Amatitlán y la recogida por la cuenca propia del río Michatoya, lo cual se podrá realizar mediante el establecimiento de un centro de pronóstico de caudales para tal cuenca y una red hidrometeorológica, que permita, mediante un sistema de comunicación directa con el centro, proporcionar los datos necesarios para efectuar el pronóstico del caudal de escurrimiento en el punto que nos interese, cuando se suscite una borrasca cualquiera.

La escasa información confiable que se pudo obtener para la realización del presente trabajo, nos hace meditar sobre el estado de la hidrometeorología en Guatemala y la necesidad de desarrollarla en toda la república, para el beneficio de las comunidades y de su economía.

En los proyectos se solicita frecuentemente del hidrólogo el cálculo de la magnitud de los sucesos extremos, mientras el funcionamiento depende con frecuencia de cálculos precisos del caudal, para un período seguido de horas, de días o de más largo tiempo. La continuación en el caudal es un aspecto importante de la predicción. La relación en cierta forma baja de costo a beneficio del servicio de predicción, lo convierte en una medida ideal de protección de avenidas, mayores rendimientos en la agricultura, beneficios y economías en la producción de electricidad, etc.

Es por todo lo anterior, que es necesario prestarle una mayor atención a una de las ramas de la geofísica, que en países como el nuestro ha estado abandonada prácticamente por muchos años: la hidrometeorología.

El presente estudio, nos permite ejemplificar el procedimiento y/o los factores que se deben tomar en cuenta para el planeamiento de una red hidrometeorológica sobre una cuenca real, lo que además de permitirnos realizar una de las tantas aplicaciones que tiene la hidrometeorología, podremos utilizarla en el aprovechamiento óptimo de las aguas de la cuenca y en la operación de las hidroeléctricas de Jurún Marinalá y del sistema Michatoya.

CAPITULO I

REDES HIDROMETRICAS E HIDROMETEOROLOGICAS

La mayoría de los métodos para predeterminar crecidas en los ríos, requieren registros estadísticos de la lluvia y caudales escurridos, con base a los cuales se pueden sacar las correlaciones necesarias para su aplicación.

Los requerimientos de las redes hidrométricas e hidrometeorológicas están enunciados, en una forma bastante completa, en la "Guía de Prácticas Hidrometeorológicas", editada en 1967 por la Organización Meteorológica Mundial -OMM-. Es de sumo interés observarlos, para obtener resultados confiables.

En el presente capítulo, analizaremos la situación de las redes existentes dentro de las cuencas que nos interesan, a fin de establecer la calidad y cantidad de los datos por ella proporcionados y definir si con dichos datos se puede o no realizar los pronósticos.

Estudiaremos la cuenca del río Michatoya hasta la estación de Jurún, en virtud de lo expuesto en la introducción, y por ser en esta estación en donde se controlan las aguas del río antes de desviarse hacia el embalse regulador de la hidroeléctrica de Jurún Marinalá.

SITUACION DE LA RED HIDROMETRICA:

El lago de Amatitlán cuenta con una cuenca de 392.30 kilómetros cuadrados, en los cuales se incluyen los de su principal afluente, el río Villalobos.

Los controles hidrométricos existentes a la fecha en tal cuenca son los siguientes:

- Estación La Chirimía, sobre el río Villalobos, antes de su desembocadura en el lago.
- Estación El Morlón, a orillas del lago de Amatitlán.

El río Michatoya tiene una cuenca propia de 166.60 kilómetros cuadrados hasta el embalse regulador de la planta hidroeléctrica de Jurún Marinalá, punto hasta donde definiremos el presente estudio, por los objetivos ya apuntados.

Los controles hidrométricos localizados en esta cuenca, son los siguientes:

- Estación Las Compuertas, localizada a la salida del lago de Amatitlán, en el nacimiento del río.
- Estación Jurún, ubicada inmediatamente aguas arriba del embalse regulador de la hidroeléctrica, sobre el río Michatoya.

En cuanto al tiempo de operación, instrumentales instalados y al registro de los datos, las estaciones anteriores presentan el siguiente estado:

Estación La Chirimía: ubicada sobre el río Villalobos, a 1.5 kilómetros de su desembocadura en el lago de Amatitlán, sobre la cota 1200. Presente un registro iniciado en el mes de abril del año anterior, en el cual el limnómetro instalado en la estación no ha señalado ninguna altura de agua, sino hasta en el mes de agosto, lo que nos hace suponer que permanece seco durante una buena época del año, y que debido a que las lecturas se efectúan a una misma hora diariamente, es posible que el caudal escurrido por algunas lluvias en los meses anteriores al apuntado y por haber pasado el escurrimiento en horas diferentes a la de las lecturas, no haya sido registrado por el lector de la estación.

Por ser una estación prácticamente nueva, los aforos que se han realizado en ella son insuficientes para determinar su curva de descarga, no pudiéndose establecer el grado de confiabilidad de los datos registrados.

Estación El Morlón: está situada a orillas del lago de Amatitlán, a una altura de 1188.11 metros sobre el nivel del mar. Están instalados en la estación, un limnógrafo y un limnómetro. El control del lago se inició en diciembre de 1953, habiéndose llevado un registro ininterrumpido de los niveles diarios del lago, por lo que los datos que proporciona sí se pueden tomar como confiables.

Estación Las Compuertas: situada como apuntamos anteriormente, a la salida del lago de Amatitlán, sobre el río Michatoya, controla la salida de las aguas del lago, según lo necesite la operación de las plantas del sistema Michatoya o de Jurún Marinalá, mediante un mecanismo de compuertas, que regula también el nivel del lago.

Antiguamente, la Empresa Eléctrica de Guatemala operaba otras compuertas que fueron sustituidas por las actuales, al ser dragado el río Michatoya en su nacimiento, para aprovechar un mayor volumen de las aguas almacenadas en el lago, mediante una mayor oscilación del nivel del mismo. Las nuevas compuertas se terminaron de construir el año pasado, pero el registro de los caudales de salida del lago no se ha interrumpido en ningún momento.

Estación Jurún: localizada sobre los $14^{\circ}23'17''$ de latitud y $90^{\circ}42'45''$ de longitud, a una cota de 1000 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente; sirve esta estación para controlar los niveles del río Michatoya y, por ende, sus caudales, antes de su desviación para el embalse regulador de la hidroeléctrica de Jurún Marinalá.

El control de niveles del río se realiza desde 1964, fecha en que se instaló un limnógrafo y un limnómetro en tal estación. Debido al temporal del año de 1969, todo el control se destruyó, interrumpiéndose el registro a partir de septiembre de dicho año. Actualmente se trabaja en la construcción de una nueva estación en el mismo punto donde se encontraba la anterior, a fin de reiniciar el control sobre las variaciones de nivel y caudal del río. Esta estación entrará en operación en este mes, requiriendo un control es-

tricto y un constante mantenimiento, debido a los problemas que se presentan por su cercanía con las compuertas del embalse regulador, las cuales, al estar cerradas, estancan el agua del río Michatoya, provocando la sedimentación del arrastre del río, lo que afecta la forma del perfil de la sección de aforos.

La sedimentación acumulada en el fondo del cauce hace subir el nivel de las aguas, pero no aumenta el caudal del río como sería lógico en una estación corriente, por lo que se requiere de aforos constantes y continuos, para poder construir la curva de calibración de la estación con una validez y confiabilidad aceptables, dentro de cada período en que se manifiesten mayores cambios en el lecho del río.

Lo anterior es necesario, debido a que el limnógrafo registra únicamente el nivel de la superficie de las aguas, pero no indica cómo y a que hora ha variado el cauce; factores que hay que tomar en cuenta a la hora de evaluar los caudales de escurrimiento pasados por la estación, para poder tener datos confiables sobre los cuales pueda basarse el estudio posterior para el pronóstico.

La importancia de esta estación y de los datos que nos proporciona, radica en que es la única forma de poder definir el escurrimiento propio de la cuenca, para obtener un aprovechamiento óptimo de sus aguas.

SITUACION DE LA RED HIDROMETEOROLOGICA

Antes de analizar la situación de la red hidrometeorológica existente, tanto en la cuenca del lago de Amatitlán, como en la del río Michatoya, debemos aclarar que, excluyendo a la estación del Observatorio Nacional, el resto está constituido únicamente por instrumentos medidores de la precipitación (pluviómetros), en los cuales no se puede confiar plenamente. Sin embargo, al hacer los análisis de las curvas de doble masa para los registros que nos ofrecen una serie de estaciones con más de 25 años de control, los resultados nos dan una consistencia en los datos bastante aceptable (ver gráficas del 2 al 9). Empero al realizar una inspección ocular a todas las estaciones analizadas en esta forma, pudimos observar que casi en su totalidad no reúnen los requisitos especificados en las normas de la OMM y por muchos otros autores expertos en la materia, acerca de las distancias mínimas a obstáculos, altura de la boca de recepción, posición de la misma boca receptora, etc.

Además, se puede comprobar la discrepancia entre unos y otros instrumentos, en cuanto al área de la boca receptora; generalmente los pluviómetros de los ferrocarriles son bastante antiguos y de boca pequeña, lo cual no permite establecer una relación directa de las precipitaciones registradas por éstos y por los pluviómetros de boca receptora estandar (200 cm^2), debido a que los primeros, por lo estrecho de la boca, no recogen la misma cantidad de precipitación que los segundos.

Indudablemente, como estas anomalías se observan durante toda la existencia del

registro, los datos proporcionados ofrecen un error constante, de donde su consistencia es satisfactoria, aún cuando no puede ser buena. En la suposición de que se contara con todos los datos necesarios, tendríamos de nacimiento un error. O sea que estaríamos trabajando sobre bases falsas. De ahí que sea urgente una red hidrometeorológica, en la cual se pueda confiar plenamente.

Como se puede ver en el gráfico N^o 1, se cuenta con muchas estaciones cuyo registro, por lo antiguo y constantes, son de mucho valor para el hidrometeorólogo, por lo que conviene rescatar dichos datos, corrigiendo los errores que actualmente tienen, estandarizando la red pluviométrica, etc., labor que tendría que realizarse de inmediato, instalando una red de pluviómetros que se observen todas las especificaciones de ubicación e instalación en los mismos lugares en que se encuentran actualmente, y haciendo las lecturas de ambos instrumentos durante un tiempo suficientemente largo para poder relacionarlas entre sí y deducir el factor de corrección de las nuevas lecturas sobre las viejas, haciendo en esa forma más valederos todos los datos que actualmente se tienen.

Hemos de recordar que la hidrometeorología mantiene una guerra constante contra el tiempo, puesto que por estar basada en las estadísticas de los registros, mientras más inmediato sea su desarrollo, más pronto se verán sus beneficios.

En el mapa N^o 1 se localizan las estaciones existentes en las dos cuencas analizadas, permitiendo visualizar la distribución que se tiene de las estaciones, tanto en la cuenca del lago de Amatitlán como en la del río Michatoya, hasta la estación de Jurún y otras estaciones más, incluidas en el presente trabajo y ubicadas en las cuencas aledañas a las estudiadas.

ANÁLISIS DE DOBLE MASA

El análisis de doble masa nos prueba la regularidad o consistencia del registro de una estación. Se hace comparando en un gráfico cartesiano, la precipitación anual acumulada de la estación que se analiza, con la suma de las precipitaciones anuales acumuladas del resto de estaciones que la circundan. Solamente debe tenerse el cuidado de que el período de registros que se analiza, sea el mismo para todas las estaciones, a efecto de que realmente la comparación resulte representativa de las condiciones pluviométricas de la zona en estudio.

Este análisis lo hemos realizado tal como lo muestran los gráficos Nos. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, para las estaciones que ofrecen un registro de precipitación mayor de 25 años, según el gráfico N^o 1, a fin de tener suficientes valores para realizarlo.

Al observar los gráficos, se nota que todos los puntos siguen la tendencia de una línea recta, lo cual indica que el registro es consistente, o sea que la diferencia entre los años húmedos y secos ha sido registrada por todas las estaciones, siendo así valederos y confiables los datos en cuanto a la forma en que se efectúan las lecturas de los instrumentos.

tos. Pero como se señaló anteriormente, los errores debidos a la ubicación en sí del aparato deben ser señalados como constantes, al no haber ningún cambio apreciable en la tendencia de la recta. Por otro lado, al no existir cambios en dicha tendencia, nos revela también que los instrumentos de medida no han sido modificados substancialmente en su ubicación; esto es que permanecen en el mismo punto donde se instalaron al inicio de su registro.



CAPITULO II

METODOS EXISTENTES PARA PREDETERMINAR CRECIDAS

Muchos son los métodos que se usan para predeterminar los escurrimientos que se producen como consecuencia de una borrasca, variando su uso según el fin que se persigue y la forma en que se quiere el pronóstico. Cada técnica depende del número de predicciones necesarias y de las características hidrológicas de la cuenca. Así tenemos que para el diseño de algunas obras de ingeniería, tales como puentes, alcantarillas, etc. (en el diseño de carreteras), se requiere solamente de una predicción y en algunos casos más específicos, ni siquiera importa el caudal en sí, sino más bien el nivel máximo que las aguas puedan alcanzar en un punto determinado, y/o la frecuencia con que dichos valores máximos ocurren.

En estudios que, como el presente, pretenden la optimización del uso del agua que se recoge en una cuenca, no sólo se requiere de predicciones más frecuentes, confiables y exactas, sino también de un control completo sobre las condiciones climáticas de la zona, a fin de estar alertas cuando las tormentas se avecinan, y cuando éstas llegan a los puntos de control, poder dar el pronóstico sobre el caudal de escurrimiento que va a ocurrir en determinado punto, así como la hora en que el caudal o avenida máxima se producirá.

Diversos autores se han dedicado a ilustrar las experiencias obtenidas sobre el tema en sus respectivos países, y muchos son los métodos que se han empleado para poder efectuar los pronósticos requeridos; sin embargo, conforme el estudio de la hidrometeorología avanza, nuevos instrumentos mecánicos y electrónicos se producen en los países más desarrollados, para obtener un control más exacto sobre las variaciones naturales de la climatología y los fenómenos que las provocan, lo cual llevará algún día a la optimización de los recursos naturales de cada región y a la prevención de los posibles desastres que, como consecuencia de las lluvias y vientos, se produzcan.

En este capítulo describiremos los diferentes métodos que son empleados para predeterminar crecidas y desarrollaremos ejemplos reales de aplicación con algunos. Sin embargo, conviene tener presente que la aplicación de cada uno de ellos para un pronóstico determinado, depende del uso que se haga del mismo.

En trabajos como el que nos ocupa, para la aplicación de cualesquiera de los métodos apropiados más abajo descritos, se requiere de información confiable y completa sobre hidrogramas en la estación de Jurún y de Las Compuertas, así como pluviogramas de algunas estaciones hidrometeorológicas de la cuenca.

Tales métodos pueden ser agrupados en dos tipos: los empíricos y los hidrometeorológicos. Dentro de cada grupo describiremos únicamente los más conocidos y de uso más frecuente.

MÉTODOS EMPIRICOS:

Son basados en estudios hechos en varias cuencas de condiciones hidrológicas y climáticas similares, interpolando los resultados para aplicarlos a la cuenca en estudio.

Estos métodos deben aplicarse con cierta reserva, debido a que no toman en cuenta los factores físicos de la cuenca, que pueden variar de una época a otra y de una a otra cuenca, alterando los valores de escurrimiento.

Entre este tipo de métodos, podemos mencionar los siguientes:

Método basado sobre crecidas históricas

Consiste en recolectar datos sobre grandes crecientes, en diversas fuentes de información, tales como periódicos antiguos, personas ancianas, inspecciones en busca de señales dejadas en el lugar por las avenidas, etc., a fin de estimar el caudal que ha pasado por el lugar, y mediante las estadísticas que se tengan de las lluvias, poder predecir aproximadamente el caudal máximo que ocurrirá dentro de un determinado número de años y el posible nivel que alcancen las aguas en el punto que interese.

Debe tenerse presente la frecuencia de ocurrimiento de estas crecidas, para efectuar también el análisis del costo de obra contra daños posibles.

Su aplicación es frecuente en el diseño de puentes, donde más que el caudal, interesa determinar el nivel máximo de las aguas durante un cierto período, tomado como período de diseño para el mismo.

Método de Curvas Envolventes

Es un método bastante empírico, sin ninguna base académica. Requiere una serie de datos de cuencas de una región climatológicamente homogénea, para cada río, sobre las crecidas máximas registradas, para luego plotearlas en un gráfico logarítmico, situando en el eje de las abscisas el área de la cuenca, en kilómetros cuadrados, y en el de las ordenadas, el valor de las máximas crecidas registradas para cada cuenca (ver gráfico N^o 10). Luego se traza una recta por encima de todos los puntos ploteados, con la misma pendiente de la que tendría una recta que interpolara todos los puntos ploteados, siendo ésta la envolvente de todas las crecidas para las cuencas del tipo escogido, que representa la magnitud de la máxima crecida sobre las máximas de cada cuenca, lo cual de por sí da un factor de seguridad en el cálculo posterior para una cuenca cualquiera.

A partir de esta gráfica se llega a obtener una fórmula, con base a la cual se puede calcular las crecidas máximas, en función del área de la cuenca. La frecuencia de ocurrimiento de tales crecidas, puede ser basada en las estadísticas de precipitación que se

tengan, o al igual que en el método anterior, por investigaciones históricas.

La deducción de la fórmula para calcular las crecidas, se detalla a continuación:

fórmula de la línea recta:

$$Y = aX + b$$

según nuestro gráfico:

$$\log(Q) = \alpha \log(A) + \log(C)$$

o sea:

$$\log(Q) = \log(CA^\alpha)$$

de donde:

$$\underline{Q_{\text{máx}} = CA^\alpha}$$

α = pendiente de la recta.

A = área de la cuenca.

C = valor del caudal de crecida para una cuenca unitaria, o sea, la crecida máxima en el eje de las ordenadas del gráfico.

$Q_{\text{máx.}}$ = caudal máximo calculado para la cuenca de área = A.

En la gráfica N^o 10 mostramos la envolvente de las crecidas en el istmo centroamericano, para los años 1968-69, basada en los datos que adelante tabulamos, tomados ellos del Anuario Hidrológico del Istmo Centroamericano, publicado por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. La fórmula para esta envolvente, la hemos calculado en la forma descrita anteriormente, y nos da el siguiente valor:

$$\underline{Q_{\text{máx.}} = 52.5 A^{2/3}}$$

CRECIDAS MAXIMAS REGISTRADAS EN EL ISTMO
CENTROAMERICANO DURANTE EL AÑO 1968-69

N ^o de Orden	Río	Caudal Máximo (m ³ /s)	Area de la cuenca (Km ²)	País
01	Nahualate en Santa Catarina	29.2	144.7	Guatemala
02	Paz en El Jobo	1130.0	1595.6	El Salvador
03	Chamelecón en Pte. Chamelecón	1000.0	3230.7	Honduras
04	Chamelecón en La Florida	323.0	216.7	Honduras
05	Ulúa en Chinda	2270.0	7590.0	Honduras
06	Jicatuyo en Quecoa	1390.0	4250.9	Honduras
07	Banderas en Desembocadura	326.0	432.7	El Salvador
08	Patuca en Cayetano	4780.0	4740.0	Honduras

Nº de Orden	Río	Caudal Máximo (m ³ /s)	Area de la cuenca (Km ²)	País
09	Jalán en El Delirio	795.0	775.0	Honduras
10	Lempa en Lempira	962.0	6419.3	El Salvador
11	Sucio en San Andrés	557.0	321.0	El Salvador
12	Ostúa en Las Lechuzas	991.0	873.8	El Salvador
13	G. de San Miguel en Moscoso	539.0	1074.0	El Salvador
14	Coco en Guanás	376.0	7267.3	Honduras
15	Nacaome en Las Mercedes	1790.0	1911.5	Honduras
16	G. de Matagalpa en Paiwas	3570.0	6499.6	Nicaragua
17	Tamarindo en Tamarindo	182.0	205.5	Nicaragua
18	Sarapiquí en Cariblanco	259.0	73.0	Costa Rica
19	San Carlos en Jabillos	728.0	590.3	Costa Rica
20	Pejibaye en El Humo	256.0	130.0	Costa Rica
21	Macho en Montecristo	174.0	64.6	Costa Rica
22	Reventazón en Cachí	1160.0	692.0	Costa Rica
23	Reventazón en Cordoncillal	369.0	254.0	Costa Rica
24	Macho en Belén	119.0	46.0	Costa Rica
25	Pejibaye en Oriente	400.0	226.0	Costa Rica
26	Reventazón en Pascua	2110.0	1685.0	Costa Rica
27	Pacuare en Pacuare	625.0	371.0	Costa Rica
28	Pacuare en Siquirres	804.0	655.0	Costa Rica
29	Cañas en Líbano	194.0	131.0	Costa Rica
30	Barranca en Nagatac	364.0	190.6	Costa Rica
31	Banano en Asunción	548.0	91.4	Costa Rica
32	G. de Térraba en El Palmar	2140.0	4863.3	Costa Rica
33	General en Cristo Rey	602.0	830.0	Costa Rica
34	Gualaca en Veladero	291.0	248.0	Panamá
35	Indio en Limón	181.0	374.0	Panamá
36	Tabasará en Camarón	1060.0	1060.0	Panamá
37	Cañazas en Cañazas	319.0	97.0	Panamá
38	Guararé en Camino al Hato	380.0	166.0	Panamá
39	Estibaná en Calabacito	154.0	93.0	Panamá
40	Santa María en La Soledad	2040.0	250.0	Panamá
41	San Juan en Sitio de Desvío	89.0	19.3	Panamá
42	Quebrada Las Lajas	16.2	4.0	Panamá
43	Antón en El Valle	220.0	23.0	Panamá

Métodos Estadísticos

En general, tratan de tomar los registros de crecidas máximas anuales y ajustarlas a leyes estadísticas previamente establecidas. Estos métodos permiten hacer una estimación de la frecuencia de ocurrimiento de tales crecidas, basados en la repetición de los hechos durante un período determinado de años, que aún cuando no siguen una ley exacta en cuanto a su ciclo de repetición, sí tienen una frecuencia de ocurrimiento más o menos constante, según se puede ver en los registros pluviométricos de muchos años, en donde las características entre los años secos y húmedos se presentan dentro de un período de terminado.

Estos métodos dependen mucho de la veracidad de los datos, y requieren un largo período de control (de 20 a 30 años) para su aplicación. El escoger una ley estadística no apropiada o la defectuosa aplicación del método, puede ser motivo de grandes errores en los resultados, por lo que debe tenerse especial cuidado en ambas cosas.

Estos métodos, recomiendan los autores aplicarlos a las cuencas grandes (mayores de 3000 Km²), con alimentación de crecidas predominantemente pluviales, y no para lugares en donde predomine el hielo y/o la nieve. Sin embargo, hay que tomar en cuenta también que las condiciones morfológicas y geológicas de la cuenca no deben haber sufrido, ni sufrir, grandes cambios, para que los registros puedan ser aplicados con mayor exactitud.

Dentro de las leyes estadísticas que pueden ser aplicadas para el pronóstico del ocurrimiento de las crecidas, puede mencionarse las siguientes:

- Extrapolación simple
- Ley de Fuller Contagne
- Ley de Goodrich
- Ley de Gumbel
- Ley de Gauss
- Ley de Pearson

MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS:

Son métodos basados en las condiciones y particularidades hidrológicas de cada cuenca. Tienen la ventaja, sobre los empíricos, de no requerir muchos años de registros, lo cual, para países como el nuestro, que no tienen suficiente estadística de caudales, constituye una valiosa ayuda para calcular las crecidas.

Algunos de los métodos hidrometeorológicos más frecuentemente empleados, son los que a continuación describimos:

Método del Coeficiente

Es un método bastante simple, pues se basa en la estimación de la escorrentía como un porcentaje calculado o también estimado de la lluvia. El coeficiente aplicable varía desde casi cero en borrascas pequeñas, hasta un valor relativamente alto, dependiente de las condiciones iniciales de humedad y grado de saturación del suelo.

Este método es empleado aún en el diseño de estructuras de drenajes de borrascas (alcantarillas) y pequeños controles de agua, en los cuales se requiere, más que todo, de una estimación del caudal sobre el cual debe basarse el diseño.

Las variaciones del coeficiente de escorrentía en función de la magnitud de la borrasca, pueden calcularse por medio de una correlación gráfica de lluvia-escorrentía, tal como la ilustrada en el cálculo del coeficiente de escorrentía para la cuenca del río Michatoya -incluyendo la del lago de Amatitlán-, desarrollada más adelante. No se consideran, sin embargo, las condiciones iniciales de humedad, por lo que el resultado no es del todo confiable.

Tales relaciones son curvas típicas basadas en los datos de los registros, que indican el incremento de caudal de escorrentía al aumentar la lluvia. Estos datos pueden ser de períodos de tiempo cualesquiera, o sea que pueden ser considerados en forma diaria, mensual o anual. Un gráfico de escorrentía anual en función de la precipitación anual, tiene frecuentemente un alto grado de correlación, especialmente en áreas en donde la precipitación ocurre, en su mayor parte, durante una época del año, como es el caso de nuestro país.

Calculo del Coeficiente de Escorrentía, para las cuencas del Río Michatoya y Lago de Amatitlán

De acuerdo con lo apuntado en el párrafo anterior y la situación que se presenta con los datos disponibles de los registros de ambas cuencas, por un lado y por el otro la regulación del caudal del río Michatoya por las compuertas situadas a orillas del lago de Amatitlán, en el inicio del río, obligan a determinar el valor del coeficiente de escorrentía en forma anual y para ambas cuencas en conjunto.

Al analizar los datos sobre los caudales de escurrimiento en las dos estaciones ubicadas sobre el Michatoya -Las Compuertas y Jurún-, encontramos la siguiente situación:

Estación Las Compuertas: se cuenta con el registro de los caudales que han sido soltados del lago, desde el año 1926, de los cuales, aun cuando el registro ha sido continuo desde entonces, no se tienen los datos del tiempo en que han sido soltados, lo que dificulta o imposibilita la separación del caudal soltado del lago, con el recogido por la cuenca propia del río, en la estación de Jurún.

Estación de Jurún: se tienen registros del limnógrafo desde el mes de marzo de 1964 hasta el mes de agosto de 1969. Esto limita la información a cinco años hidrológicos, comprendidos del 1º de mayo de 1964 al 30 de abril de 1969. Prácticamente, esta limitación obliga a calcular el coeficiente de escorrentía durante ese período, pero debido a la dificultad expuesta en el párrafo anterior, no puede ser calculado solamente para la cuenca propia del Michatoya, sino que debe ser contemplado también el volumen de agua que se almacena o desalmacena en el lago anualmente.

Al comprender la situación de los datos disponibles en cuanto a caudales en la cuenca del río Michatoya hasta la estación de Jurún, y haber definido que el cálculo lo haremos en forma anual y según el período del año hidrológico (del 1º de mayo de un año al 30 de abril del siguiente), procederemos a calcular el escurrimiento total de ambas cuencas hasta Jurún, tomando en cuenta el almacenamiento del lago, según el registro de niveles que se tiene en la estación de El Morlón. El cálculo se muestra en el cuadro N° 1 más adelante.

Los datos requeridos para el cálculo del volumen escurrido hasta Jurún, son los siguientes:

Area de la superficie del lago:	15.2 Km ²
Número de segundos en año común:	31,536,000
Número de segundos en año bisiesto:	31,622,400

Hemos tomado en cuenta al tabular el cálculo del Cuadro N° 1 que el mes de febrero de 1968 fue de 29 días, razón por la cual en el año hidrológico 1967-68, se ha operado con el número de segundos que corresponden al año bisiesto.

Ver Cuadro N° 1 en página siguiente.

CUADRO N° 1

CALCULO DEL VOLUMEN ESCURRIDO HASTA JURUN

	<u>64-65</u>	<u>65-66</u>	<u>66-67</u>	<u>67-68</u>	<u>68-69</u>
Niveles del lago (iniciales)	1.380	1.540	1.620	1.620	1.500
Niveles del lago (finales)	1.540	1.620	1.620	1.500	1.530
Diferencias de nivel	0.160	0.080	0.000	-0.120	0.030
Volumen almacenado en el lago	2.432	1.216	----	----	0.456
Volumen sacado del lago	----	----	----	1.824	----
Volumen en Jurún	175.141	140.537	154.501	110.286	134.022
Volumen total escurrido hasta Jurún	177.573	141.753	154.501	108.462	134.478
Escorrentamiento (m ³ /s)	5.631	4.495	4.899	3.430	4.260

Los resultados están expresados en las siguientes unidades:

Niveles, en metros.

Volúmenes, en millones de metros cúbicos.

Nota: los datos apuntados sobre el volumen escurrido en Jurún, fueron calculados con base a los datos de la estación, proporcionados por el Instituto Nacional de Electrificación.

Una vez obtenidos estos valores, necesitamos analizar los datos de precipitación para obtener el valor acumulado anual, promedio, en toda la cuenca.

La precipitación media en toda la cuenca la podemos calcular por varios métodos, y es aconsejable verificar los resultados de ellos para tener una certeza sobre el resultado; sin embargo, como lo que nos preocupa es ejemplificar el método de cálculo del coeficiente de escorrentía, estimaremos la precipitación media anual únicamente por el método de Thiessen, el cual presenta para el cálculo la facilidad de tener las áreas de in-

fluencia de cada pluviómetro constantes, por no variar ni el número, ni la localización de los instrumentos.

Han sido consideradas en este cálculo todas las estaciones que cuentan con un registro continuo durante los períodos anuales que nos interesan y que se ubican dentro de la cuenca o cerca de ella. El cálculo lo resumimos en el cuadro N^o 2. de la página siguiente.

Con los resultados de la precipitación media sobre la cuenca y de los escurrimientos anuales hasta Jurún, procedemos a calcular el coeficiente de escorrentía para todos esos años hidrológicos, de la siguiente manera:

$$C_e = \frac{\text{Volumen escurrido}}{\text{Volumen precipitado}}$$

	<u>64-65</u>	<u>65-66</u>	<u>66-67</u>	<u>67-68</u>	<u>68-69</u>
Coeficiente de Escorrentía	0.22	0.20	0.19	0.22	0.19

Promedio para 5 años: 0.204

Para representar la correlación gráfica entre la precipitación media anual y el escurrimiento medio anual, dividimos los valores de los volúmenes precipitados y escurridos, entre el área total de las cuencas (558.90 Km².) y el número de segundos del año considerado, respectivamente, con lo que obtenemos los valores siguientes, que plotamos en un gráfico, tal como lo muestra el número 11.

	<u>64-65</u>	<u>65-66</u>	<u>66-67</u>	<u>67-68</u>	<u>68-69</u>
Escorrimento (m ³ /s)	5.631	4.495	4.899	3.430	4.260
Precipitación (mm.)	1426.55	1262.93	1419.27	895.67	1245.35

En este gráfico, en el que las ordenadas representan los valores del escurrimiento y las abscisas son los valores de la precipitación, hemos plotado los cinco puntos que se desprenden del cálculo anterior y que nos señalan la tendencia de la curva trazada, interpolando sus valores en una forma gráfica.

Al tomar un punto cualquiera sobre este gráfico, tal como el señalado, hemos de reducir sus valores a una misma dimensional para calcular el valor del coeficiente de escorrentía, lo que dá:

$$\text{Vol. esc.} = 4.75 \text{ m}^3/\text{s} \times 31,536,000 \text{ seg/año} = 149,796,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Vol. prec.} = 1350 \text{ mm./año} \times 558.9 \times 10^6 \text{ m}^2 = 754,515,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$C_e = \frac{149,796,000}{754,515,000} = \underline{0.198}$$

Como se puede ver en este resultado, el valor obtenido es bastante cercano al promedio calculado, con lo que se comprueba la representación gráfica hecha.

Método del Hidrograma Unitario

Este es un método para predecir caudales en cuencas no mayores de 5000 Km²., basado en el hidrograma unitario calculado para la estación de control que esté bajo estudio.

En 1932, Sherman introdujo el hidrograma unitario, como el primer elemento básico para estimar la forma del hidrograma debido a una borrasca.

El método para construir el hidrograma unitario se basa en tres postulados, que si bien pueden ser tomados como empíricos, la práctica los hace valederos por numerosas experiencias. Estos postulados son:

Postulado I: la forma del hidrograma dependerá de las características físicas de la cuenca, por lo que es independiente del volumen escurrido. Todos los diagramas de la misma cuenca tendrán igual tiempo de base, igual tiempo de subida e igual forma, para todos los aguaceros de intensidad uniforme y de una misma duración.

Postulado II: para una misma cuenca y para los aguaceros unitarios de la misma duración, las ordenadas homólogas de los dos hidrogramas producidos están en la misma relación que los respectivos volúmenes escurridos y/o de las alturas medias netas de precipitación.

Postulado III: el hidrograma resultante de un aguacero de duración mayor a la del aguacero unitario límite, resulta de la adición de los hidrogramas unitarios que resultarían si descomponemos la tormenta en aguaceros parciales de una duración menor o igual a la del aguacero unitario límite, teniendo siempre en cuenta el desfase que existirá entre los hidrogramas resultantes.

Con base a estos tres postulados, la escorrentía producida por cualquier aguacero, mayor o menor que el aguacero unitario, se puede representar por una serie de hidrogramas desfasados, de tal manera que la suma de las ordenadas de los mismos, para un tiempo cualquiera, sea igual a la ordenada del hidrograma realmente producido.

Del mismo modo, una vez determinado el hidrograma unitario tipo de la cuenca, al conocerse la forma de la lluvia (su duración e intensidad) se puede llegar a descomponer en aguaceros unitarios desfasados un cierto tiempo, igual al que deben desfasarse los hidrogramas unitarios y luego, al sumar las ordenadas de estos, se llega a la obtención del hidrograma de escorrentía, con la misma forma real con que se producirá.

Algunos autores estiman la crecida máxima que se producirá según el párrafo anterior, en un 10 ó 15% más.

CUADRO N.º 2

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA,
POR EL METODO DE THIESEN

ESTACION	AREA (Km ²)	PRECIPITACION ANUAL (mm)							VOLUMEN - Precipitación x Area - (m ³)				
		64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69		
Florencia	85.82	1277.5	1405.9	1824.5	1111.2	991.7	109,635,050	120,654,340	156,578,590	95,363,180	85,107,690		
San Agustín Las Minas	57.72	1254.2	993.6	1293.0	812.0	1140.9	72,392,420	57,350,590	74,631,960	46,868,640	65,852,750		
Villa Nueva	63.59	1342.0	1115.0	1306.0	738.0	1225.0	85,337,780	70,902,850	83,048,540	46,929,420	77,897,750		
Villa Canales.	44.10	1383.0	1433.0	1443.0	771.0	1377.0	60,990,300	63,195,300	63,636,300	34,001,100	60,725,700		
Amaritlán	74.93	1536.0	1039.0	989.0	689.0	973.0	115,092,480	77,852,270	74,105,770	51,626,770	72,906,890		
San Bernardo	68.49	1373.0	1050.0	1146.0	668.0	1228.5	94,036,770	71,914,500	78,489,540	45,751,320	84,139,970		
Palín INDE	44.67	2413.0	2215.0	2511.0	1492.0	2456.0	107,788,710	98,944,050	112,166,370	66,647,640	109,709,520		
Palín FEGUA	30.01	1473.5	1406.3	1503.2	1296.4	1362.6	44,219,740	42,203,060	45,111,030	38,904,960	40,891,630		
Observatorio Nacional	89.57	1203.6	1148.1	1177.4	831.7	1103.0	107,806,450	102,835,320	105,459,720	74,495,370	98,795,710		
TOTAL	558.90						797,299,700	705,852,280	793,227,820	500,588,400	696,027,610		
<u>PRECIPITACION MEDIA (mm)</u>							1426.55	1262.93	1419.27	895.67	1245.35		

Este método, además de laborioso, tiene la desventaja de que requiere una gran estadística de pluviosidad (de 20 a 30 años) para poder escoger los pluviogramas y determinar los aguaceros unitarios. En cuanto a los hidrogramas, se requiere información de por lo menos 5 años de registros continuos de caudales, para poder escoger los tipos del unitario.

Un substituto bastante práctico para los casos en que no se tiene la información requerida para aplicar el hidrograma unitario, es el método del hidrograma unitario sintético, que explicamos a continuación.

Método del Hidrograma Unitario Sintético

El hidrograma Unitario Sintético es un hidrograma deducido por medio de relaciones entre los principales parámetros y características físicas de la cuenca en estudio, y no requiere un largo período de información hidrológica ni hidrometeorológica de la región.

Un gran número de fórmulas para derivar el hidrograma unitario sintético, ha sido propuesto por varios autores, de las cuales las más aceptadas son las de Snyder (Franklin F.). Por medio de sus fórmulas pueden ser encontrados los principales parámetros del hidrograma unitario. El ingeniero Ricardo Erales en su tesis de graduación titulada "Derivación del Hidrograma Unitario para una Cuenca de Guatemala", presenta las fórmulas de Snyder ya reducidas al sistema métrico y con algunas modificaciones para su correcta aplicación a regiones como las nuestras, en las que se toma en cuenta también dentro de la fórmula, la pendiente de las corrientes. Dichas fórmulas son:

$$tr = \frac{tp}{5.5} \quad qp = \frac{0.276 C_p}{tp} \quad tp = 0.508 C_t \frac{L \times L_{cg}}{(S_{st})^{1/2}}$$

tr = duración del exceso de lluvia del aguacero unitario, en horas.

tp = tiempo en horas, desde la mitad del exceso de lluvia al pico del hidrograma unitario.

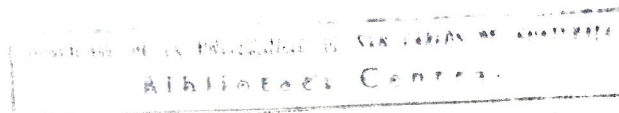
qp = caudal pico del hidrograma unitario, en $m^3/s/Km^2/mm$.

C_p y C_t = coeficientes que dependen de las características hidrológicas de la cuenca.

S_{st} = pendiente equivalente del cauce principal, en m/Km .

Sin embargo, la última fórmula, en la que se relacionan tp con C_t , en la publicación N° 32 del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, la presentan de la siguiente manera, sin tomar en consideración la pendiente del cauce:

$$tp = C_t (L \times L_c)^{0.3}$$



- tp - Distancia desde el centro de gravedad de la lluvia, hasta el pico, en horas.
- L - Longitud del curso principal, en kilómetros.
- Lc - Distancia desde la estación de aforos, hasta el centro de gravedad de la hoya.

Según Snyder, el valor del coeficiente C_p oscila entre 0.56 y 0.69.

Trataremos de desarrollar en un ejemplo, el proceso de cálculo para establecer los parámetros del hidrograma unitario sintético, para la cuenca del río Michatoya, excluyendo la del lago de Amatitlán.

Cálculo de los parámetros del hidrograma unitario sintético

Al igual que el cálculo desarrollado anteriormente para determinar el valor del coeficiente de escorrentía, nuestro objetivo es ilustrar la aplicación de los métodos para el cálculo de los valores o parámetros que interesen; sin embargo, los resultados no son del todo confiables, debido a que por la falta de la información suficiente, se tiene que hacer ajustes a los datos, a fin de amoldarlos a su aplicación en el método; por ello es que los resultados acá obtenidos deberán ser rectificadas o corregidos cuando la información, tanto hidrométrica como hidrometeorológica de la cuenca, sea más completa.

La información con la que contamos para desarrollar este ejemplo es la siguiente: entre los registros disponibles del limnógrafo de Jurún, encontramos la crecida del 9 de agosto de 1969, con la cual nos dedicamos a buscar la información pluviométrica de las estaciones de la cuenca comprendida del 1º al 9 del mismo mes y año, habiendo logrado únicamente el registro de las estaciones de Palín INDE y Palín FEGUA, que registraron el día 9 50.0 mm. cada una, por lo que su promedio es el mismo. Tomando esta estación como representativa de toda la cuenca entre Amatitlán y Jurún, o sea la cuenca propia del río, nos vemos en la necesidad de conocer la forma en que se distribuyó esta precipitación en el tiempo, para lo cual requerimos de la información de un pluviograma. El pluviógrafo más cercano, es el del Observatorio Nacional, en el cual se registró el mismo día 9 una precipitación de 29.4 mm, de acuerdo a la distribución horaria mostrada en el gráfico N° 12. Entonces, asumiremos que la lluvia caída en Palín tuvo la misma distribución en cuanto al porcentaje de la precipitación total caída por hora, con lo cual podemos trazar el pluviograma mostrado en la parte superior del gráfico N° 13. En el mismo gráfico se muestra el hidrograma obtenido de la crecida del 9, de acuerdo a la curva de calibración calculada para esa fecha, para la estación de Jurún.

Como se puede observar en el hidrograma de la gráfica N° 13, el caudal de escurrimiento antes y después de la crecida, es el mismo, por lo que al proceder a estimar el caudal debido a la lluvia estudiada, será la diferencia o exceso de ese caudal. Para separarlo, basta entonces con trazar una línea recta que una los puntos de igual caudal, con lo que tendremos definidos los tiempos en que se inició y finalizó la crecida. Cabe aclarar que en los pluviogramas de los días anteriores a la fecha de estudio (9 de agosto), fue

ron observadas precipitaciones que consideramos fueron suficientes para tener saturada la cuenca en el momento de iniciarse el aguacero que nos preocupa.

Entonces, para entrar de lleno al cálculo de los valores de los parámetros del hidrograma unitario sintético, haremos lo que sigue.

La precipitación efectiva sobre la cuenca, o sea la lluvia que cae y en su totalidad escurre (suponiendo la capa del suelo totalmente saturada) se encuentra así:

$$h_e = \frac{\text{Volumen escurrido}}{\text{Area de la cuenca}}$$

Volumen escurrido = 1,917,000 m³ (obtenidos al planimetrar el hidrograma).

Area de la cuenca = 166.6 Km².

Entonces:

$$\underline{h_e} = 1917000/166600000 = 0.0115 \text{ metros} = \underline{11.5 \text{ mm.}}$$

El coeficiente de escorrentía será:

$$C_e = \frac{\text{Precipitación efectiva}}{\text{Precipitación caída}}$$

$$\underline{C_e} = 11.5/39.1 = \underline{0.29}$$

Se ha tomado el valor de la precipitación caída igual a 39.1 milímetros, debido a que el segundo pico del pluviograma de la gráfica N^o 13 se ha despreciado, al suponer que tal lluvia es la que produce el segundo pico del hidrograma de la misma gráfica y que también hemos despreciado para poder dar un ejemplo más fácil de lo que nos interesa.

Este valor calculado para el coeficiente de escorrentía, es un poco mayor que el calculado anteriormente para toda la cuenca, pero es explicable, debido a que las pérdidas por evaporación que existen en el lago se suponen bastante grandes, o sea que al computar el valor de la lluvia efectiva para toda la cuenca estudiada, se ve seriamente afectada por tal evaporación, reduciendo su valor y reduciendo entonces el coeficiente de escorrentía que realmente se puede tener.

Del mismo hidrograma de la gráfica N^o 13, despreciando el segundo pico y ajustándolo según se puede ver en el dibujo, encontramos los siguientes valores que nos servirán para el cálculo:

$$Q_{\text{máx.}} = 62.84 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$t_p = 5.5$ horas (medido desde el centro de gravedad de la lluvia, hasta el pico máximo del hidrograma).

Del mapa de la república a escala 1:50,000 se han tomado los siguientes valores:

$$L_c = 8.2 \text{ kilómetros}$$

$$L = 20.4 \text{ kilómetros}$$

Con estos valores, calculamos C_p y C_t aplicando las fórmulas:

$$C_p = \frac{q_p \times t_p}{0.276}$$

pero:

$$q_p = \frac{Q_{\text{máx.}}}{h_e \cdot A} = \frac{62.84}{11.5 \times 166.6}$$

$$\underline{q_p = 0.033 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{mm}/\text{Km}^2.}$$

entonces:

$$C_p = \frac{0.033 \times 5.5}{0.276} = \frac{0.1815}{0.276}$$

$$\underline{C_p = 0.66}$$

Este resultado es bastante satisfactorio, al compararlo con los valores que da Snyder de este coeficiente y anotados anteriormente.

A continuación calculamos C_t , aplicando la fórmula anotada anteriormente, y tomada de la publicación N° 32 del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.

$$C_t = \frac{t_p}{(L \times L_c)^{0.3}} = \frac{5.5}{(20.4 \times 8.2)^{0.3}}$$

$$\underline{C_t = 1.58}$$

Como comentario a estos resultados, podemos dar los valores obtenidos por el ingeniero Ricardo Erales en su tesis de graduación "Derivación del hidrograma unitario para una cuenca de Guatemala", para el río Ostúa, en la estación Las Lechuzas, que fueron: $C_t = 1.92$ y $C_p = 0.72$. El ingeniero Hernando Neira C., en el estudio presentado sobre las crecidas de los ríos Guacalate y Achiguatate en septiembre de 1969, obtiene los siguientes resultados, para la estación Guacamayas sobre el río María Linda:

$$C_t = 2.37 \text{ y } C_p = 0.87$$

Método Coaxial de Correlación Gráfica (1)

Se llama así, por relacionar una serie de factores independientes de las características de la borrasca y las condiciones de la cuenca, las cuales han de ser convenientemente representadas en una relación de escorrentía. Estos factores independientes, así como la variable dependiente (que es en este caso la escorrentía o recarga), suelen ser frecuentemente representados por una correlación gráfica, la cual, por aprovechar los valores a escala sobre un mismo eje (como lo veremos más adelante), toma el nombre de coaxial.

Supongamos que se desea una relación para estimar la recarga de la cuenca, empleándose como parámetros la lluvia precedente, la fecha (o número de la semana) y la cantidad y duración de la lluvia. Se recogen los valores de cada uno de dichos parámetros, de 50 borrascas o más. Primeramente se obtiene una relación de tres variables (ver gráfica N^o 14) según los pasos que a continuación describimos.

Diagrama A:

- 1) Trazado de la precipitación previa en función de la recarga;
- 2) Marcando los puntos con el número de la semana, y
- 3) Componiendo una familia de curvas que sean representativas de las diferentes semanas.

Diagrama B:

- 1) Se coloca con su escala horizontal concordante con la del diagrama A, para facilitar el trazado;
- 2) Los puntos se trazan en este diagrama, tomando como ordenada la recarga observada y como abscisa la recarga calculada por el diagrama A, marcándose dichos puntos con la duración de la borrasca en horas, y
- 3) Se traza una familia de curvas para representar el efecto de la duración sobre la recarga.

El conjunto de los diagramas A y B constituye una relación para estimar la recarga, partiendo del índice previo, semana y duración.

(1) Hidrología para Ingenieros. Linsley, Kohler and Paulhus. 1967.

Diagrama C:

En este diagrama se introduce la precipitación de la borrasca de la manera siguiente:

- 1) Trazando la curva de la recarga observada en función de la calculada por los diagramas A y B;
- 2) Marcando los puntos con la cantidad de lluvia, y
- 3) Ajustándoles una familia de curvas.

Los diagramas A, B y C, constituyen la primera aproximación a la relación deseada.

Diagrama D:

Este diagrama indica la precisión total de los diagramas obtenidos, tendiendo a ser una línea a 45° .

Puesto que los parámetros están relacionados entre ellos y los primeros diagramas se desarrollan con independencia de los factores introducidos posteriormente, una revisión de los diagramas puede mejorar la relación total. En otras palabras, se procede por aproximaciones sucesivas. Para comprobar las curvas semanales, las demás familias de curvas se suponen correctas, determinándose la abscisa ajustada de un punto del diagrama A, entrando en los B y C en orden inverso con la recarga observada, cantidad de lluvia y duración. La ordenada del punto ajustado es el índice de precipitación previa observado. En otras palabras, las curvas semanales deben revisarse para ajustar dicho punto corregido si la relación tiene que dar una recarga calculada igual a la observada. Las aproximaciones segunda y siguientes de la duración y lluvia, se realizan de igual forma. En cada caso los puntos son dibujados entrando en la serie de diagramas por ambos extremos con los valores observados para determinar las coordenadas ajustadas.

No aplicamos este método a nuestras cuencas, debido a que no se cuenta con los datos suficientes ni de lluvia ni de caudal, teniendo que conformarnos únicamente con ilustrar la forma cómo debe procederse.

Método Racional

Este es un método cuya aplicación está limitada a cuencas muy pequeñas. Se utiliza para estimar los caudales de diseño de tuberías de drenajes, tanto para poblaciones, como para bóvedas pequeñas y otros tipos de drenajes en carreteras. No tiene uso en cuencas mayores (de ríos), debido a que resulta un tanto empírico, por estar basado en la fór-

mula siguiente:

$$\underline{Q = C \times i \times A}$$

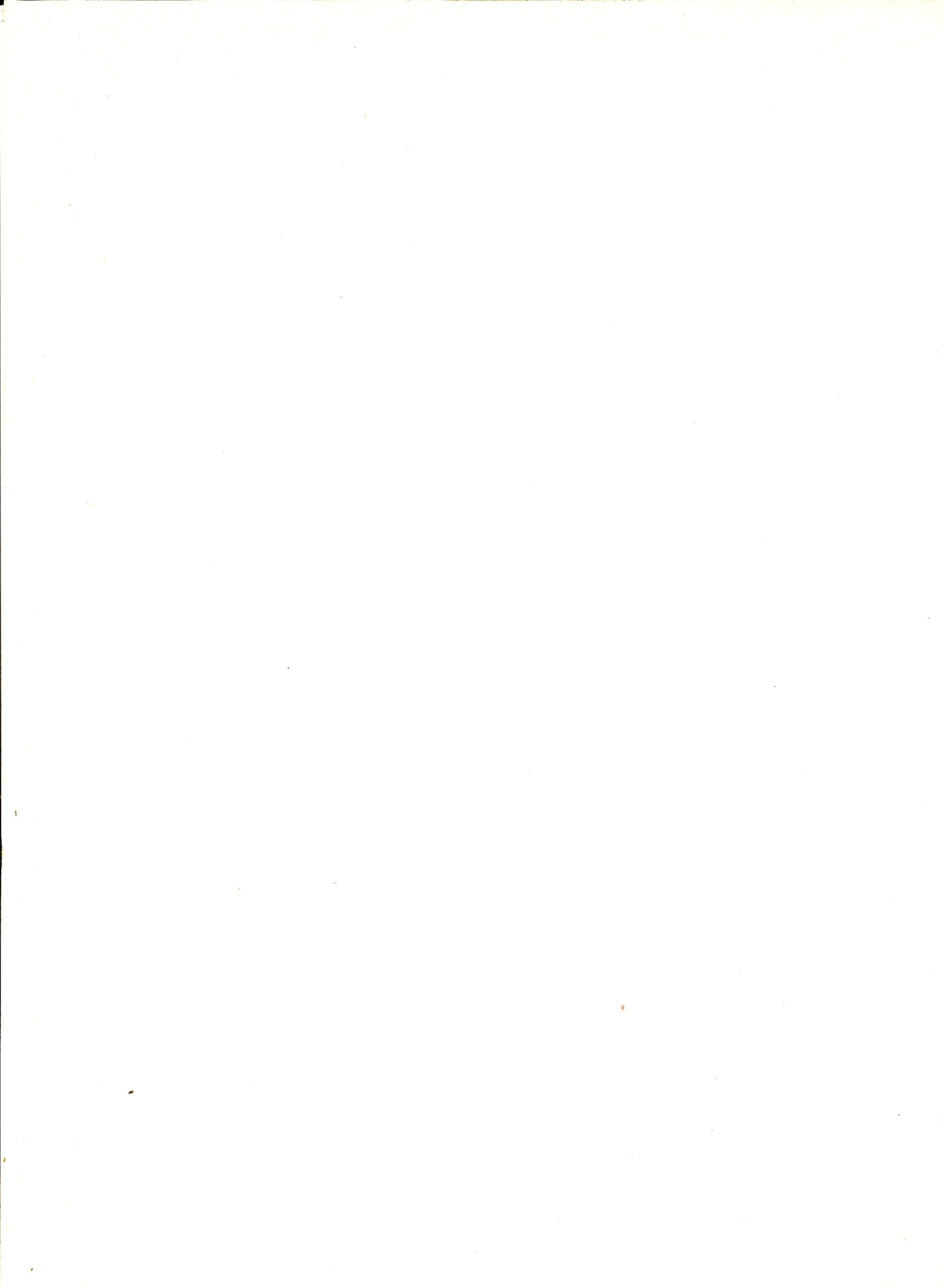
donde: Q = Caudal máximo.

C = Coeficiente de escorrentía.

i = Intensidad de la lluvia de la borrasca.

A = Area de la cuenca.

El valor de la intensidad, se debe obtener a partir de las curvas de intensidad - duración de la lluvia, que se deben elaborar previamente para el efecto.



CAPITULO III

ANALISIS SOBRE LA DISTRIBUCION DE LA LLUVIA EN LAS CUENCAS DEL RIO MICHATOYA Y LAGO DE AMATITLAN

La cuenca del lago de Amatitlán abarca una extensión de 392.30 kilómetros cuadrados, la mayor parte de ellos de tipo montañoso. La del río Michatoya tiene una área de 166.60 kilómetros cuadrados, con lo que ambas cuencas suman un total de 558.90 kilómetros cuadrados.

Toda la cuenca tiene una altura máxima de 5790 metros sobre el nivel del mar (pico del volcán de Agua) y una mínima de 1000 metros sobre el nivel del mar, en la estación de Jurún.

En la región donde se ubican las cuencas que nos interesan, se encuentran instalados un número suficiente de pluviómetros, algunos con muchos años de registro y otros con pocos, que nos servirán de base para realizar el análisis sobre la distribución de la precipitación en ambas cuencas. Sin embargo, el número de instrumentos instalados en las cuencas bajo estudio, no es suficiente para los fines de efectuar pronósticos, por lo que la necesidad de realizar este análisis se acentúa ante la pretendida idea de crear la red hidrometeorológica suficiente para efectuar los pronósticos de precipitación y/o escurrimiento en una forma rápida y confiable, puesto que para tener un control total de las cuencas, es necesario tener una base en la cual apoyarse a la hora de decidir los puntos en donde se ubicarán las estaciones de la red que propondremos en el siguiente capítulo.

Antes de entrar a exponer el análisis efectuado, queremos dejar aclarados algunos conceptos ya establecidos y plenamente comprobados, acerca de la formación de la precipitación.

Como es sabido, existen dos tipos generales de lluvia, que son conocidos como lluvias por convección y lluvias orográficas.

Lluvias por Convección: este tipo de lluvias ocurre en las grandes planicies, en donde la temperatura del suelo y de las capas inmediatas de aire es bastante alta, lo cual provoca corrientes de aire hacia arriba, hasta alcanzar una altura en la cual, por el cambio de temperatura que se opera en tales vientos, provoca la condensación de su humedad, formando nubes que luego se precipitan. Por lo regular, este tipo de lluvias se distingue por sus características de alta intensidad y por estar acompañadas de rayos y truenos. Generalmente, la formación de las nubes o la ascensión de los vientos se produce en las horas de más calor, precipitándose durante la tarde y disolviéndose las nubes durante la noche.

Lluvias Orográficas: generalmente son provocadas por la ascensión de los vientos, que provenientes de los océanos y mares cargados de humedad, encuentran obstáculos que los obligan a subir, provocando también la condensación de su humedad y la consiguiente precipitación. Lo más común es que tales obstáculos sean montañas o volcanes, de donde pro-

viene el nombre que se les ha dado, pero también pueden ser frentes de vientos más fríos, los cuales por su mayor densidad, tienden a quedarse en las posiciones bajas, en tanto los más ralos o menos densos suben a estratos de aires superiores. Este tipo de lluvias es el más frecuente en nuestro país, en donde las grandes cadenas montañosas y volcánicas sirven de obstáculos a los vientos que provienen de los océanos Atlántico y Pacífico, obligándolos a descargar su humedad.

Como la precipitación está íntimamente ligada y es provocada por los vientos, hemos de definir la situación de los mismos en la zona que nos interesa.

Dentro de la cuenca de nuestro estudio, únicamente se tiene instalado un anemógrafo en el Observatorio Nacional, lo cual no nos da más que la dirección del viento en ese punto y en su zona aledaña, por lo que tendremos que recurrir a los datos de precipitación de los pluviómetros de la cuenca, para deducir cómo se distribuyen los vientos y por ende, la precipitación de la zona.

En el estudio realizado por el ingeniero Manuel Urrutia, en su tesis de graduación profesional titulada "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Proyecto Teocinte III", establece que los vientos provenientes del océano Atlántico, llamados vientos norte, penetran el valle de Guatemala a través del valle del río Motagua, descargando en su largo recorrido la mayor parte de su humedad, por lo que llegan a nuestra capital y a la zona que nos interesa, bastante secos. Esto se comprueba fácilmente al observar los datos de precipitación en las cartas del pluviógrafo y del anemógrafo del Observatorio Nacional, en los cuales, cuando la intensidad es poca, se registra viento norte.

Cuando la precipitación proviene de los vientos sur, se registra una intensidad bastante fuerte, lo cual evidencia que tales vientos vienen bastante cargados de humedad, siendo lógico pensarlo así debido a la proximidad a que se encuentran la estación base de este análisis y nuestras cuencas, del océano Pacífico. Los vientos sur penetran al valle de Guatemala a través del cañón de Palín, siendo obligados a ascender por la cadena volcánica que se ubica a lo largo de la costa sur de la república y en lo que nos interesa, por los volcanes de Agua y Pacaya, mismos que forman en sus faldas el mencionado cañón.

El hecho de que los vientos norte, luego de entrar al valle de la capital, no tienen ningún obstáculo que los desvíe en otra dirección de la sur, hace suponer que al tratar de alcanzar la costa sur, lo hacen también a través del cañón de Palín, lo que haría que en tal cañón choquen los vientos sur y norte, siendo estos últimos obligados a desviarse por los alrededores del lago de Amatitlán y descargar allí su última humedad.

Teniendo presente que la precipitación, en términos generales, aumenta conforme aumenta la elevación de la superficie terrestre, plotearemos en un gráfico en el que las ordenadas sean las elevaciones de las estaciones pluviográficas y pluviométricas y las abscisas representen a la precipitación anual promedio del registro con que se cuente en cada una de las estaciones, obteniéndose una serie de puntos, que nos darán la dirección del viento que domina y provoca la mayor parte de la lluvia en la zona donde se ubique cada instrumento, con base a lo expuesto anteriormente.

Tal experiencia la hemos realizado en el gráfico N^o 15, lo cual justifica las suposiciones hechas anteriormente sobre las corrientes de viento en las cuencas de nuestro estudio, puesto que las estaciones que se encuentran más al norte del cañón de Palín, registran poca precipitación, teniendo una altura mayor que las que se localizan más al sur y que registran una mayor precipitación, indudablemente debida a los vientos sur.

En el caso de las estaciones de Palín, San José Bella Vista y Medio Monte, marcadas respectivamente con los números 23, 24 y 26, y ubicadas en el camino obligado de los vientos hacia el cañón, al analizarlas independientemente una de las otras, llegamos a la siguiente conclusión:

Al realizar una visita de reconocimiento a todas las estaciones de esta zona, encontramos que los pluviómetros de las dos últimas se ubicaban en un punto totalmente inadecuado: la de Medio Monte, en una posición bastante alta (aproximadamente a 2.50 metros del suelo), además de que, por ser de boca pequeña, no estandar, indudablemente no recoge la precipitación real que cae; y la de San José Bella Vista, ubicada en un punto en que no entraban las lluvias, debido a una hilera de árboles altos que se encontraban a su alrededor, lo que no permitía que la precipitación registrada fuese realmente representativa de la zona. En el año de 1968, el Observatorio Nacional instaló un nuevo pluviómetro en un punto más adecuado, con lo que el promedio de precipitación anual de estos últimos años está muy por arriba del promedio de todo el registro de la estación, tomado en este estudio.

Por otro lado, la estación de María Santísima se encuentra ubicada en un punto bastante cercano a estas dos estaciones, pero su pluviómetro está colocado en un buen punto, por lo que su registro es confiable y da una precipitación mayor que la de aquellas otras estaciones, y confirma el tipo de viento que provoca la precipitación en esa zona.

En cuanto a la estación de Palín, aún cuando el punto en que se ubica no es del todo adecuado, sus datos de precipitación aparecen en el gráfico en una zona que nos hace suponer la influencia que existe de los vientos norte y de los sur, lo que nos confirmaría la teoría del choque de los vientos en tal región. Para tener plena seguridad de ello, es necesario un control sobre las direcciones de los vientos en varios puntos de esa zona, lo que tomaremos en cuenta en el diseño de la red propuesta en el capítulo siguiente.

Hemos de recalcar sobre el hecho de que la información en que hemos basado este estudio no es del todo confiable, debido a las condiciones expuestas en el capítulo I, pero los errores allí señalados son aducibles a todas las estaciones, o sea que el error es cons tante en los datos de precipitación de todas ellas.

CAPITULO IV

RED HIDROMETEOROLOGICA PROPUESTA

De acuerdo a la tesis enunciada en el capítulo anterior, sobre la formación de las lluvias en las cuencas que nos interesan, proponemos la red hidrometeorológica mostrada en el mapa N^o 2, en la que se resume una serie de factores que es necesario tomar en cuenta, para tener controladas ambas cuencas. Entre estos factores podemos citar: la distribución de las diferentes subcuencas dentro de las cuencas principales; la orografía general de las cuencas; la triangulación aconsejada para poder correlacionar los datos de una y otra estación; la ubicación de las actuales estaciones hidrometeorológicas existentes, y la influencia de los vientos y precipitación de las cuencas vecinas hacia las que nos interesan.

Hemos considerado la red básica de pluviógrafos, necesarios para efectuar el pronóstico del volumen de escurrimiento en una forma diaria e inmediata, basados en las intensidades y duraciones que se registran en cada una de las estaciones durante una tormenta; sin embargo, advertimos que solamente se ha considerado en la localización mostrada en el mapa N^o 2 el área dentro de la cual se deberá instalar la estación, quedando sujeta a una inspección directa al lugar la definición del sitio más adecuado, de acuerdo con las reglamentaciones de la OMM para la disposición de los instrumentos y con las facilidades que se presenten, tanto para la obtención de los predios, como para que habiten los observadores encargados de las estaciones.

Como estación básica para el desarrollo de la red y para los pronósticos posteriores, hemos considerado la estación del Observatorio Nacional, por su amplio y confiable registro y por lo completo de su instrumental. También se ha tenido presente la estación hidrometeorológica de Jurún, ubicada en el precio en que se localiza el embalse regulador de la hidroeléctrica de Jurún Marinalá y que está marcada en el mapa N^o 2 con el número 20, la cual se encuentra en operación desde el mes de mayo del año pasado. Esta estación está situada en un punto muy importante para los objetivos del presente trabajo; desafortunadamente no cuenta aún con los datos necesarios para su aprovechamiento en un estudio de esta naturaleza, pero contribuirá mediante el equipamiento necesario, el desarrollo de la red propuesta.

El instrumental mínimo con que deben contar las estaciones hidrometeorológicas propuestas, se detalla en la lista descrita más adelante, conforme la siguiente simbología:

- Pg. - Pluviógrafo de registro diario, semanal o mensual.
- Pv. - Pluviómetro con boca receptora de 200 cm².
- Te. - Tanque de evaporación a la intemperie.
- Tm. - Termómetros de máxima y mínima.
- Ac. - Aspirosicrómetro (termómetros húmedo y seco).
- An. - Anemocinómetro (velocidad y dirección del viento).



<u>Estación Nº</u>	<u>Ubicación *</u>	<u>Instrumental a instalarse</u>
1	Al sur de la población de Mixco, sobre la cota 1800 aproximadamente.	Pv. y Pg.
2	Al sur de San Lucas Sacatepéquez, sobre la cota 2050 aproximadamente.	Pv., Pg., Tm., Ac. y An.
3	En el parcelamiento agrario de Santa Rosa, cota 1830 aproximadamente.	Pv. y Pg.
4	Sobre la carretera que une Mixco con el puente Villalobos, a la cota 1580 aproximadamente.	Pv. y Pg.
5	Es la del Observatorio Nacional.	Tiene todo el instrumental requerido.
6	En la finca San Agustín Las Minas, en la cota 1300 aproximadamente.	Pv. y Pg.
7	En la finca San Vicente o en la finca Muxbal; cota 1950.	Pv., Pg., Tm., Ac. y An.
8	Al nor-poniente de Villa Nueva, en la cota 1360 aproximadamente.	Pv. y Pg.
9	En la cumbre de San Nicolás, a la cota 1800 aproximadamente.	Pv., Pg., Tm., Ac. y An.
10	Al poniente de Villa Canales, sobre la cota 1250 aproximadamente.	Pv. y Pg.
11	En Estanzuela, a la cota 1600 aproximadamente.	Pv., Pg. y An.
12	En Mesillas Bajas, a la cota 1550 aproximadamente.	Pv. y Pg.
13	Al nor-poniente de la aldea de Los Humitos, sobre la cota 1400.	Pv. y Pg.

*) Ubicación localizada sobre el mapa a escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional.

<u>Estación Nº</u>	<u>Ubicación *</u>	<u>Instrumental a instalarse</u>
14	En las compuertas de Amatitlán, cota 1200.	Pv., Pg., Tm., Ac., An. y Te.
15	Ubicada a la par de la hidrométrica A, sobre el río Mico, a la cota 1700.	Pv. y Pg.
16	En Laguna Seca, a la cota 1350 aprox.	Pv. y Pg.
17	En San Vicente Pacaya, a la cota 1550 aproximadamente.	Pv., Pg., Tm., Ac. y An.
18	En la granja Los Sauces, sobre el cañón de Palín, a la cota 1170 aproximadamente.	Pv., Pg. y An.
19	Sobre las faldas del Volcán de Agua, en la granja San Antonio, a la cota 1700 aproximadamente.	Pv., Pg., Tm., Ac y An.
20	En el embalse de Jurún, a la cota 1000 aproximadamente.	Falta solamente An.

En cuanto a las estaciones hidrométricas propuestas, algunas de ellas se encuentran operando actualmente. Los fines que persigue la instalación de cada una de ellas, lo detallaremos a continuación (ver mapa N° 2).

ESTACION A: ubicada sobre el río Mico, a la altura de la cota 1700, ayudará en el control del mismo en la época de invierno, registrando el caudal de crecidas que escurran en ese punto, lo que permitirá posteriormente, el diseño de las obras necesarias para retardar las avenidas que han causado graves daños a la población de Amatitlán.

ESTACION B: ubicada sobre el zanjón El Cable, conocido también como Malena, e igual que el anterior, causante de inundaciones en la población de Amatitlán. Este control funcionará también únicamente durante el invierno, ya que los fines que persigue son los mismos de la estación anterior y ambos se secan durante el verano.

ESTACION C: es la estación de control del lago de Amatitlán, ubicada sobre el río Michatoya en su origen a la salida del lago. Mediante sus compuertas regula el caudal ini-

*) Ubicación localizada sobre el mapa a escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional.

cial del Michatoya y el nivel del lago de Amatitlán. Actualmente está en funcionamiento, pero es necesario instalar un limnógrafo aguas abajo de las compuertas, para tener controlado el caudal en las horas en que se suelte y con ello determinar en Jurún el volumen de escurrimiento propio de la cuenca, mediante el conocimiento de los caudales en este último punto y el tiempo de retardo del caudal soltado del lago, hasta el punto de control en Jurún.

ESTACION D: situada sobre el río Villalobos, funciona actualmente con el nombre de La Chirimía. Su objeto es controlar el caudal de entrada al lago que le aporta dicho río. La cuenca del Villalobos recoge el mayor caudal de entrada al lago, incluyendo la escorrentía debida a los drenajes de tormenta de algunas zonas de la capital.

ESTACION E: hemos considerado que el registro de la estación El Morlón, sobre los niveles del Lago de Amatitlán, es bastante confiable, por lo que tal estación debe continuar funcionando. El control sobre el nivel del lago permite evaluar el volumen de agua que se puede almacenar anualmente y establecer los valores de los caudales que del mismo se pueden aprovechar para la operación de las plantas hidroeléctricas del sistema Michatoya y/o de Jurún Marinalá.

ESTACION F: es la estación de Jurún, ubicada a la altura del embalse regulador de la hidroeléctrica del mismo nombre. Esta estación fue destruida el año de 1969, por lo que su registro se suspendió en el mes de septiembre. Actualmente se trabaja en su reconstrucción, esperando reiniciar su control en el mes de Enero de 1971. Esta estación es básica para establecer los caudales que escurren en la cuenca propia del río, por diferencias con los caudales soltados en las compuertas, siendo vital para el aprovechamiento óptimo de las aguas que escurren en el Michatoya de las que se almacenan en el lago.

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

Con la finalidad de determinar la justificación económica del centro de pronóstico de caudales, procederemos en el presente capítulo a realizar un análisis de la relación beneficio-costos, principalmente desde el punto de vista hidroeléctrico, puesto que como se expuso en la introducción, interesa lograr el aprovechamiento óptimo de las aguas de las cuencas del río Michatoya y lago de Amatitlán, en la generación del fluido eléctrico, por las plantas del sistema Michatoya y Jurún Marinalá.

En este capítulo plantaremos los costos que en forma directa afectan en la construcción y la operación del centro de pronósticos, exponiendo, además, un planteamiento de las condiciones hidrometeorológicas de la cuenca y la forma en que varía el comportamiento de las aguas en su optimización para la generación de Jurún Marinalá y el sistema Michatoya.

Dentro de los valores dados más adelante para el instrumental instalado, han sido estimados los costos de instalación, de mano de obra y de otros materiales y accesorios que se requieren. El costo de los aparatos está sujeto a los precios del mercado mundial, pero los hemos considerado libres de impuestos y situados en Guatemala, de acuerdo a sus precios actuales.

Se aclara también que no se ha considerado la compra del instrumental para las estaciones del Observatorio Nacional y de Jurún (ambas hidrometeorológicas), ni para las estaciones hidrométricas que ya tienen instalado el instrumental necesario y que han sido consideradas dentro de la red propuesta en el capítulo anterior.

COSTO DEL INSTRUMENTAL (instalado):

18 pluviómetros, a Q. 21.50 c/u	Q.	387.00
18 pluviógrafos, a Q. 242.00 c/u	Q.	4,356.00
1 tanque de evaporación, a Q. 100.00 c/u	Q.	100.00
6 aspirósicrómetros, con termómetros de máxima y mínima, a Q. 178.00 c/u	Q.	1,068.00
9 anemocinémógrafos, a Q. 2,200.00 c/u	Q.	19,800.00
6 abrigo hidrometeorológicos, a Q. 100.00 c/u	Q.	600.00
4 limnigrafos, a Q. 2,300.00 c/u	Q.	9,200.00
1 equipo de molinetes, a Q. 750.00 c/u	Q.	750.00
20 radios transmisores-receptores, a Q. 200.00 c/u	Q.	4,000.00
1 vehículo para reconocimientos y aforos	Q.	3,000.00
		<hr/>
Costo total del instrumental (instalado)	Q.	<u>43,261.00</u>

COSTO DE OPERACION:

1 Ingeniero hidrólogo	Q. 600.00/mes	Q. 7,200.00/año
1 Auxiliar de Ingeniero	Q. 200.00/mes	Q. 2,400.00/año
1 Aforador	Q. 150.00/mes	Q. 1,800.00/año
1 Ayudante de aforador	Q. 110.00/mes	Q. 1,320.00/año
7 Observadores clase IV	Q. 60.00/mes c/u	Q. 5,040.00/año
13 Observadores comunes	Q. 40.00/mes c/u	Q. 6,240.00/año
	Sub-total.....	Q. 24,000.00/año
Combustibles y Lubricantes		Q. 600.00/año
Depreciación y mantenimiento de equipo		Q. 1,100.00/año
Varios		Q. 300.00/año
Indirectos		Q. 2,000.00/año
	Total del Costo de Operación.....	Q. 28,000.00/año

Nota: dentro del renglón "Varios", han sido agrupados los gastos en que se incurra por concepto de pago de energía eléctrica o compra de baterías para la operación de los radios, valor de papelería y reparaciones menores del instrumental. En el renglón de "Indirectos", han sido estimados aquellos gastos por concepto de auditoría y contabilidad, administración y otros.

Al comparar estos costos con el valor de los beneficios que serían obtenidos al operar el centro de pronósticos, hemos de analizar estos últimos desde el punto de vista de producción de energía y los beneficios secundarios que se deriven de su funcionamiento.

Desde el punto de vista de la producción de energía hidroeléctrica, la operación del centro de pronósticos tiene una importancia primordial, puesto que al examinar el sistema de hidroeléctricas que operan haciendo uso de las aguas del río Michatoya, puede llegar a presentarse cualesquiera de las tres situaciones que planteamos más adelante y que pueden dar lugar a fuertes desembolsos o a pérdidas económicas de consideración. Estas situaciones son:

- a) Falta de agua en verano.
- b) Exceso de agua en invierno.
- c) Azolve del cauce.

Antes de entrar a considerar por aparte cada una de las situaciones anteriormente apuntadas, hemos de aclarar algunos puntos que pueden dar lugar a equivocación al exponer más adelante los problemas de cada situación.

La planta hidroeléctrica de Jurún Marinalá ha sido diseñada para trabajar como planta de "pico", o sea para cubrir la demanda en las horas de máximo consumo. Esto no quie

re decir que no pueda operar permanentemente, puesto que cuando se tiene suficiente agua, esta planta pasa a trabajar en la base del sistema.

La hidroeléctrica de Jurún Marinalá fue construida para aprovecharse en un solo salto o caída -lo que le da mayor eficiencia-, toda el agua que corre en el río Michatoya hasta la estación hidrométrica de Jurún y que se utilizaba en la generación de las plantas que constituyen el sistema Michatoya. Debido a que para aprovechar el agua en mención en la hidroeléctrica de Jurún Marinalá, es necesario desviarla del cauce del río, las plantas del sistema Michatoya (San Luis y El Salto) operan actualmente sólo con el escurrimiento propio de la cuenca, entre la desviación del embalse regulador de Jurún y los embalses de estas plantas, escurrimiento que es insuficiente; y operan también con los excesos de agua que se tienen a la altura de la desviación y que obligadamente continúan corriendo sobre el cauce del río Michatoya.

Estas plantas, al igual que la de Jurún Marinalá, operan también regularmente sólo en las horas de máximo consumo, o cuando se tiene la cantidad de agua suficiente para hacerlas generar.

El lago de Amatitlán trabaja dentro de este complejo, como un embalse regulador de tipo anual, mientras que el embalse de Jurún trabaja únicamente para absorber la demanda instantánea de la hidroeléctrica, hasta por un período de dos horas y media.

Por otro lado, precisa aclarar que el ciclo llamado hidrológico se toma a partir del primero de mayo de cada año y cierra el treinta de abril del año siguiente, o sea que se inicia al finalizar el estío, pasa el pequeño invierno de los meses de junio y julio, luego el gran invierno de septiembre y octubre, para volver nuevamente al verano que se inicia después de las últimas lluvias de noviembre.

Comprendido lo anterior, nos damos cuenta que el lago de Amatitlán, en su función de embalse regulador, anualmente cede su agua durante el estío y recoge durante el invierno, pero por las estadísticas pluviométricas que se tienen, advertimos que no todos los años se precipita la misma cantidad de agua, sino que a veces se clasifican como húmedos por llover más del promedio anual registrado; y años secos, en los que la precipitación es menor que el promedio. Esto hace que anualmente el lago varíe su nivel, unas veces aumentándolo y otras disminuyéndolo, con base en el supuesto de que la salida de las aguas del lago en el río Michatoya sea la misma todos los años. Al no ser así, nos encontramos ante las dos primeras situaciones planteadas anteriormente y que a continuación tratamos.

Falta de agua en verano:

Si no tuviéramos el control hidrometeorológico de la cuenca, por las necesidades de agua de Jurún Marinalá durante el año 1971, soltaríamos del lago de Amatitlán toda el agua requerida para su operación. Esta agua habría sido almacenada durante el invierno de 1970, que en términos generales fue húmedo y que permitió subir el nivel del lago a

su altura máxima; pero si viene el invierno de 1971 y no se tiene la precipitación suficiente para recuperar el volumen de agua utilizado en la normal generación anual de Jurún Marinalá, el problema se presentará entonces después del invierno de 1971, pues habrá que restringir la generación de la hidroeléctrica, pudiendo llegarse a un extremo de no tener la suficiente agua para generar y cubrir la demanda en las horas de máximo consumo.

Al tener controlada hidrometeorológicamente la cuenca, se podrá estimar el volumen que se podría recuperar en un determinado invierno, después de cada borrasca; y al clasificar el tipo de estación lluviosa que se está presentando, se podrá prever el uso del agua durante el invierno, a fin de que no llegue a ser escasa durante el verano siguiente; y mediante una programación adecuada, aprovechar en una forma óptima las aguas, tanto del lago de Amatitlán como las propias de la cuenca del río Michatoya, antes y después de las instalaciones hidrométricas de Jurún.

La situación de la escasez de agua en un verano, puede presentarse también debido a la falta de un pronóstico a corto plazo, que permita no tener desperdicios de agua en el invierno precedente. Este caso lo podemos plantear de la siguiente manera: suponemos que se suelta agua del lago de Amatitlán a las 6 de la mañana, en un caudal suficiente para que, sumado al escurrimiento propio del río Michatoya, lleguen al embalse regulador de Jurún los 12 metros cúbicos por segundo requeridos para la generación máxima que se necesita en el pico de la demanda de energía eléctrica, de las 11:00 a las 13:00 horas. Esta agua soltada tarda en llegar hasta el embalse 5.5 horas, o sea que la tendremos a las 11:30 de la mañana, a tiempo para no tener problemas en cuanto el abastecimiento en el embalse regulador. Pero si sucediera que alrededor de las ocho de la mañana principia a llover en la cuenca, y como no se conoce, por falta de información de la cuenca, el valor del tiempo de concentración hasta la estación de Jurún, del escurrimiento debido a esa borrasca, no se puede tomar ninguna medida previa, pudiendo entonces ocurrir que el caudal que se recoge en la cuenca del río Michatoya es suficiente para cubrir la demanda de Jurún, pero no se puede aprovechar, porque no da abasto el embalse regulador para almacenarlo, y entonces tiene que dejarlo pasar. Ciertamente es que parte o todo de ese caudal desperdiciado en Jurún, es o puede ser aprovechado en la operación de las plantas del sistema Michatoya, pero tendrá que hacerse en horas en que tal vez no se requiera, por lo que en sí, este caudal constituye un desperdicio de agua, que puede hacer falta posteriormente.

La necesidad de la red hidrometeorológica para la optimización del uso del agua en las cuencas del río Michatoya y lago de Amatitlán, la podemos ver expresada en números, de la siguiente manera:

La planta hidroeléctrica de Jurún Marinalá, tiene una altura o caída de agua de 660 metros y necesita, para generar su máxima capacidad (60,000 kilovatios), un caudal de 12 metros cúbicos por segundo. Esto quiere decir que con un metro cúbico por segundo, podría generar 5,000 kilovatios.

Al revisar la estadística de los datos de la estación El Morlón, encontramos que el 19 de octubre de 1966, el limnógrafo registraba un nivel de 2.28 metros en la superficie del lago, siendo este el valor máximo alcanzado en ese año, cuya precipitación fue más alta que el promedio del registro. El 9 de octubre de 1967, un año después, fue alcanzado nuevamente el nivel máximo de ese año, siendo esta vez de 2.02 metros, registrados por la misma estación. Quiere decir esto, que durante el año comprendido entre esas dos fechas, o durante el invierno de 1967, que se significó por una pluviosidad menor que el promedio, no se llegó a recuperar el nivel del lago alcanzado en 1966, o sea que debido a que el invierno no fue suficiente para llenar nuevamente el lago, o a que se generó más de lo que se debía, o a que se desperdició agua, se perdió durante ese año una altura de 26 centímetros, que equivalen a un volumen de:

$$0.26 \text{ mts.} \times 15.2 \text{ Km}^2 = 3,960,000 \text{ metros cúbicos.}$$

Si pretendiéramos generar con este volumen, tendríamos capacidad de generación durante un período continuo de:

$$3,960,000 \text{ m}^3 \div 12 \text{ m}^3/\text{seg} = 330,000 \text{ segundos}$$

que equivalen a 91 horas con 40 minutos de generación a su máxima capacidad, o sean:

$$91.667 \text{ horas} \times 60,000 \text{ Kv.} = 5,500,000 \text{ kilovatios-hora.}$$

Si se vende esta generación al consumidor, a un precio de 4 centavos por kilovatio-hora, representa un monto de:

$$Q. 0.04/\text{Kvh} \times 5,500,000 \text{ Kvh} = \underline{Q. 220,000.00}$$

Cierto es que esto sucedió en una época en la que Jurún Marinalá aún no operaba, pero desde el punto de vista hidrológico y tomando en cuenta que las condiciones de operación del sistema Michatoya en ese entonces eran iguales o mejores que las que actualmente se tienen, el problema subsiste y se puede presentar en cualquier momento.

Quiere decirse entonces, que al comparar el beneficio obtenido en ese caso, con la inversión que se hará en el centro de pronósticos, y que asciende en el primer año de operación a un total de Q. 71,261.00, se obtiene una relación de beneficio a costo, de:

$$\frac{Q. 220,000.00}{Q. 71,261.00} = \underline{3.1}$$

con lo cual se demuestra la rentabilidad de tal inversión.

Si solamente tomáramos el valor del costo de operación anual, la rentabilidad que se obtendría sería de:



$$\frac{Q. 220,000.00}{Q. 28,000.00} = \underline{7.8}$$

que es más que suficiente para demostrar la justificación del establecimiento del centro de pronóstico de caudales.

Exceso de agua en invierno:

Al contrario de la situación anterior, supongamos el caso en que el invierno próximo sea de una pluviosidad alta. Entonces, pueden suceder tres situaciones que originen serios problemas.

En primer lugar, analicemos el caso de que está lloviendo, tanto en la cuenca del río Michatoya como en la del lago de Amatitlán. Supongamos que está por finalizar el invierno y que el nivel del lago se encuentra en su máximo permisible, para no ocasionar daños a las propiedades de su ribera. Ante el temor de que no llueva más, lo lógico en la situación actual es que se conserve el nivel del lago al máximo, a fin de tener el mayor volumen para la generación del verano; pero si sucede que al estar lloviendo en la cuenca del lago, el volumen de agua que le llega es mayor que el caudal que se le pueda extraer por el río Michatoya, provocará la inundación de sus márgenes con el consiguiente daño a la propiedad privada. Por otro lado, al estar lloviendo también en la cuenca del río Michatoya, puede suceder que el caudal que escurre en la cuenca sea suficiente para que operen tanto Jurún Marinalá como San Luis y El Salto, lo cual significaría que el agua soltada del lago tendría que desperdiciarse, cuando pudiera haberse aprovechado en generar a otras horas, y también podría provocar problemas en las márgenes del río, si el caudal soltado, unido al del escurrimiento de la cuenca, llegaran a producir una crecida que se saliera del cauce.

La situación anterior debe meditar, pensando en que se está expuesto a que suceda en cualquier momento, debido al interés de llegar al final del invierno con el nivel máximo de las aguas del lago, para tener una programación de su uso sin limitaciones extraordinarias; y en que debido a la disponibilidad de agua que se tiene durante el invierno, las plantas hidroeléctricas operan para cubrir la base de la demanda, pasando entonces algunas de las térmicas, a funcionar en las horas de los "picos".

El segundo caso que se puede presentar es el anteriormente expuesto en el caso de la falta de agua en verano, o sea cuando llueva en la cuenca del río después de haber soltado agua del lago, con lo que, como apuntamos antes, no sólo se podría provocar una inundación, sino que se desperdicia agua que más tarde puede hacer falta.

El tercer caso tiene la variante de que sólo pueda llover en la cuenca del lago. Entonces el problema puede ocurrir si, como lo planteamos en el primer caso, el volumen de agua que recibe el lago es mayor que el que se le puede extraer, estando su nivel en el límite máximo permisible. Con el agua soltada no habría mayor problema, pues al no estar lloviendo en la cuenca del río, no existiría el temor de una inundación, a menos que

su cauce estuviera azolvado o en una situación fuera de lo común, y se podría aprovechar, si no todo el caudal, al menos una buena parte de él, en la operación de las plantas del sistema Michatoya y Jurún Marinalá.

Mediante la operación del centro de pronósticos, se podría llegar a estimar las posibles lluvias y determinar los caudales que escurrirán y la hora en que llegarán al punto que nos interesa, según la región o regiones en donde esté ocurriendo la borrasca, lo cual permitirá tomar las decisiones pertinentes, a fin de evitar graves daños, tanto en las márgenes del río, como en los alrededores del lago de Amatitlán.

Los beneficios que se obtendrían de la operación del centro de pronósticos en un caso como el planteado, son difíciles de estimar en cifras, en virtud de que no se tienen los parámetros necesarios para calcularlos. Pero pueden comprenderse fácilmente, al valorar el costo de la energía hidráulica que se produciría haciendo operar las plantas como base de la demanda, en sustitución de las termoeléctricas, cuya generación es bastante más cara, dado el costo del combustible que consumen, lo que además provoca la fuga de divisas de nuestro país.

Por otro lado, y como un ejemplo real de lo que puede suceder al no tener controlada hidrometeorológicamente las cuencas aludidas, tenemos las lamentables consecuencias del temporal de 1969, durante el cual se afrontó la situación planteada.

Azolve del cauce:

Desde el punto de vista de producción de energía eléctrica, la estabilidad y limpieza del cauce que conduce el agua a utilizarse, tienen mucha importancia, puesto que el arrastre de tipo flotante obstruye las rejillas colocadas a la entrada del agua a la desviación de los embalses reguladores, no permitiendo su paso y obligando a un constante control de limpieza, que no es necesario en condiciones normales. El arrastre en suspensión es el más difícil de eliminar y el que más fácilmente llega a las turbinas, provocando su inmediato desgaste. El sedimento o arrastre de fondo, provoca en el cauce los cambios que acarrea el desbordamiento de las aguas y limita su capacidad de drenaje y conducción, por lo que también es de tomarse en cuenta, pues obliga en algunos casos a dragar el cauce del río, lo que es bastante oneroso.

Las estaciones hidrométricas cuya instalación queda propuesta sobre el zanjón Mariana y el río Mico, tienen como primordial medida establecer la magnitud de las crecidas provocadas en ellos durante los inviernos, en virtud de ser las causantes de serios daños a la población de Amatitlán y del azolve del cauce del río Michatoya, por todo el arrastre que conducen sus avenidas.

El control sobre estos ríos de invierno se hace entonces necesario, y para poder lograrlo se requiere de algún conocimiento de ellos, de donde la operación de estas estaciones dentro del centro de pronósticos es indispensable, sobre todo porque ambos desem-

bocan directamente sobre el río Michatoya. En el año de 1969, como consecuencia de la cantidad de materiales que transportaron al cauce del río Michatoya, lo obstruyeron, no permitiendo el paso de las aguas que se soltaban del lago de Amatitlán, lo que puso en peligro de inundación también las orillas del lago. Para solucionar este problema, hubo de dragarse el cauce del río, en una operación que le costó al Instituto Nacional de Electrificación más de Q. 40,000.00.

Conviene pensar que en caso volviera a suceder la situación anterior, fuera mejor correr el riesgo de inundar las márgenes del río Michatoya, pero no permitir que se azolve el cauce, soltando agua del lago, en tal cantidad, que diluya la concentración de sólidos que lleven el zanjón Malena y el río Mico, aunque tenga que desperdiciarse toda esa agua. Pero esto sería objeto de un análisis económico minucioso, para determinar lo más conveniente.

La cifra apuntada en el párrafo anterior, es de por sí elocuente, y debe convencer de la necesidad de controlar tal situación y por ende, del funcionamiento del centro de pronóstico de caudales en las cuencas del lago de Amatitlán y río Michatoya.

Beneficios secundarios:

Dentro de los múltiples beneficios que se obtienen de la operación de una red hidrometeorológica, como la propuesta para el centro de pronósticos, podemos citar los siguientes:

Agricultura: mediante el conocimiento de las condiciones climáticas de la región, los agricultores pueden llegar a obtener mejores cosechas, escoger los productos más apropiados para cultivar, programar sus siembras en las distintas épocas del año, etc., además de los beneficios que obtendrán los agricultores de las márgenes del río, al saberse seguros de que no habrán inundaciones en sus tierras.

Aviación: el desconocimiento de las corrientes de aire en la zona del cañón de Palín, ha sido motivo de lamentables accidentes aeronáuticos. Mediante la operación del centro de pronósticos se podrá tener un conocimiento más real de los vientos que soplan en la zona, lo cual es una ayuda valiosa para la aviación, pues según las variaciones que se susciten y que registren los instrumentos instalados en la región, podrá estarse alerta para evitar futuras tragedias.

Población civil: tal como lo expusimos al tratar el caso del azolve del cauce desde el punto de vista hidroeléctrico, la población de Amatitlán ha sufrido las consecuencias del acarreo de sólidos de las aguas del río Mico y el zanjón Malena.

Indudablemente hay muchos factores que intervienen o intervinieron en las situaciones presentadas en los años de 1969 y 1970 en dicha población. Sin embargo, nunca se ha tenido control alguno sobre la magnitud de las avenidas que provocaron tanto daño humano y económico a los vecinos de Amatitlán.

Mediante el conocimiento del comportamiento de los cauces de estos ríos durante los inviernos próximos, podrán ser tomadas decisiones sobre las obras civiles que se haga necesario establecer, a fin de salvaguardar los patrimonios de los moradores de la zona. Baste entonces apuntar que como consecuencia de la operación del centro de pronóstico de caudales, muchas personas saldrán beneficiadas en una u otra forma, y que las obras a construirse para evitar los posibles daños que se puedan suscitar en un futuro, serán inversiones que llevarán nuevos beneficios a la población civil.

En resumen, el costo del centro de pronósticos propuesto, resulta relativamente bajo, en atención de los múltiples beneficios que se obtendrán, muchos de los cuales no pueden ser estimados en cifras, pero tienen que convencer plenamente de la necesidad de su operación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la red hidrometeorológica

1. Es apremiante la necesidad de crear la red hidrometeorológica que se propone en el capítulo IV, en vista de los múltiples problemas que se han suscitado con la operación de la hidroeléctrica de Jurún Marinalá, tanto en el lago de Amatitlán, como en las márgenes del río Michatoya.
2. Es necesario que la red propuesta entre en funcionamiento lo antes posible, en virtud de que para poder realizar los pronósticos, se requiere de una estadística previa, que permita determinar los factores necesarios, previos a la operación de la red en forma sinóptica.
3. Es necesario que la red cuente en todos sus puntos o estaciones con pluviógrafos, para registrar las intensidades y duraciones, necesarias en la determinación de los pluviogramas requeridos por el análisis de crecidas.
4. Recomendamos que todo el instrumental a instalarse sea del tipo estandar, especialmente los pluviómetros, no sólo por las facilidades de los respuestos, sino para tener uniforme toda la red.
5. Recomendamos también, la instalación de pluviómetros estandar en los puntos alejados a donde actualmente funcionan viejas estaciones, pero respetando las normas de la OMM sobre su ubicación, a fin de poder contar con registros simultáneos sobre nuevos y viejos pluviómetros, con base a los cuales puedan ser sacadas correlaciones para rectificar los viejos registros y contar con una información más valedera.

De los métodos de pronósticos

6. Para el análisis de crecidas en las cuencas estudiadas, y para el pronóstico de los escurrimientos en las mismas, actualmente no se puede aplicar ningún método en forma directa, debido a que aún cuando se tienen algunos hidrogramas de la estación de Jurún durante un poco más de cinco años, no se cuenta con la información de pluviogramas, necesarios para cualquier análisis.
7. Una vez se tengan todos los datos indispensables, recomendamos el uso del método coaxial de correlación gráfica para cada una de las estaciones donde se instalen los pluviógrafos, en virtud de que tal método no sólo toma en cuenta todos los factores que intervienen en el valor del escurrimiento, sino que una vez establecida y comprobada la gráfica, se requiere un conocimiento mínimo por parte del observador, para aplicarla a una borrasca y remitir el dato al centro.

8. Al iniciar la operación del centro, conviene que los pronósticos que se hagan por cualquier método, sean comparados con los de los otros métodos, a fin de establecer el grado de confiabilidad y/o exactitud que pueda tener cada uno.

Del Centro de Pronósticos

9. En virtud de que los pronósticos necesitan concentrarse en un punto y desde este lugar deben tomarse las decisiones, recomendamos que se establezca en el Centro de Mando de Guatemala Sur, del Instituto Nacional de Electrificación, por ser ésta institución la que más aprovecharía tales pronósticos en la regulación de las aguas del lago de Amatitlán y del río Michatoya.
10. Para la operación del Centro debe tenerse personal especializado en hidrometeorología y con capacidad suficiente para tomar las decisiones que el caso requiera, en el preciso momento en que se necesite, por lo que recomendamos que por lo menos un ingeniero civil con conocimientos de hidrometeorología, esté al frente de toda la red.

**INFORMACION DISPONIBLE
de las estaciones Hidrometeorológicas**

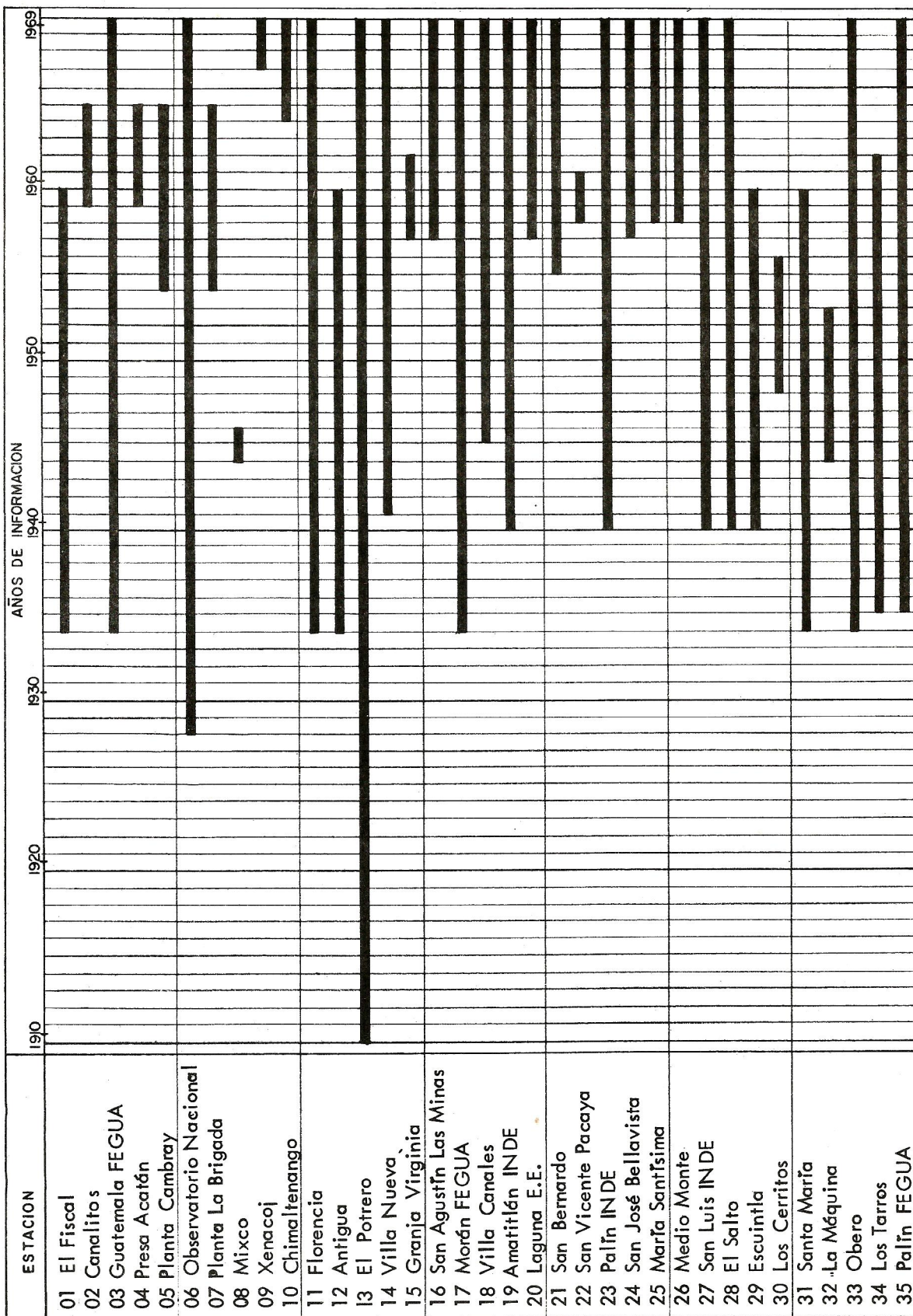


GRAFICO Nº 1

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
 Estación AMATITLÁN - INDE -

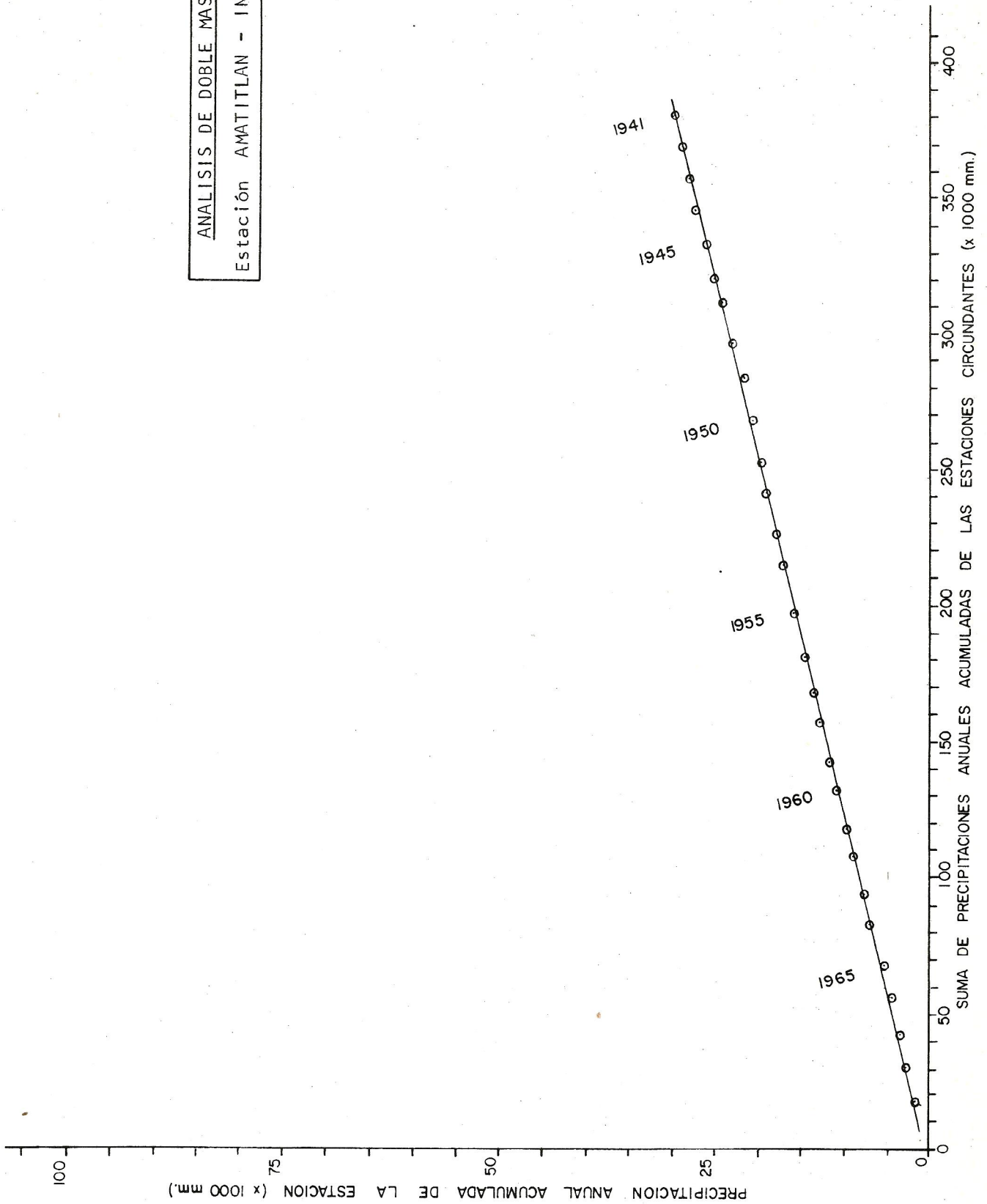


GRAFICO Nº 2

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Estación MORAN - FEGUA -

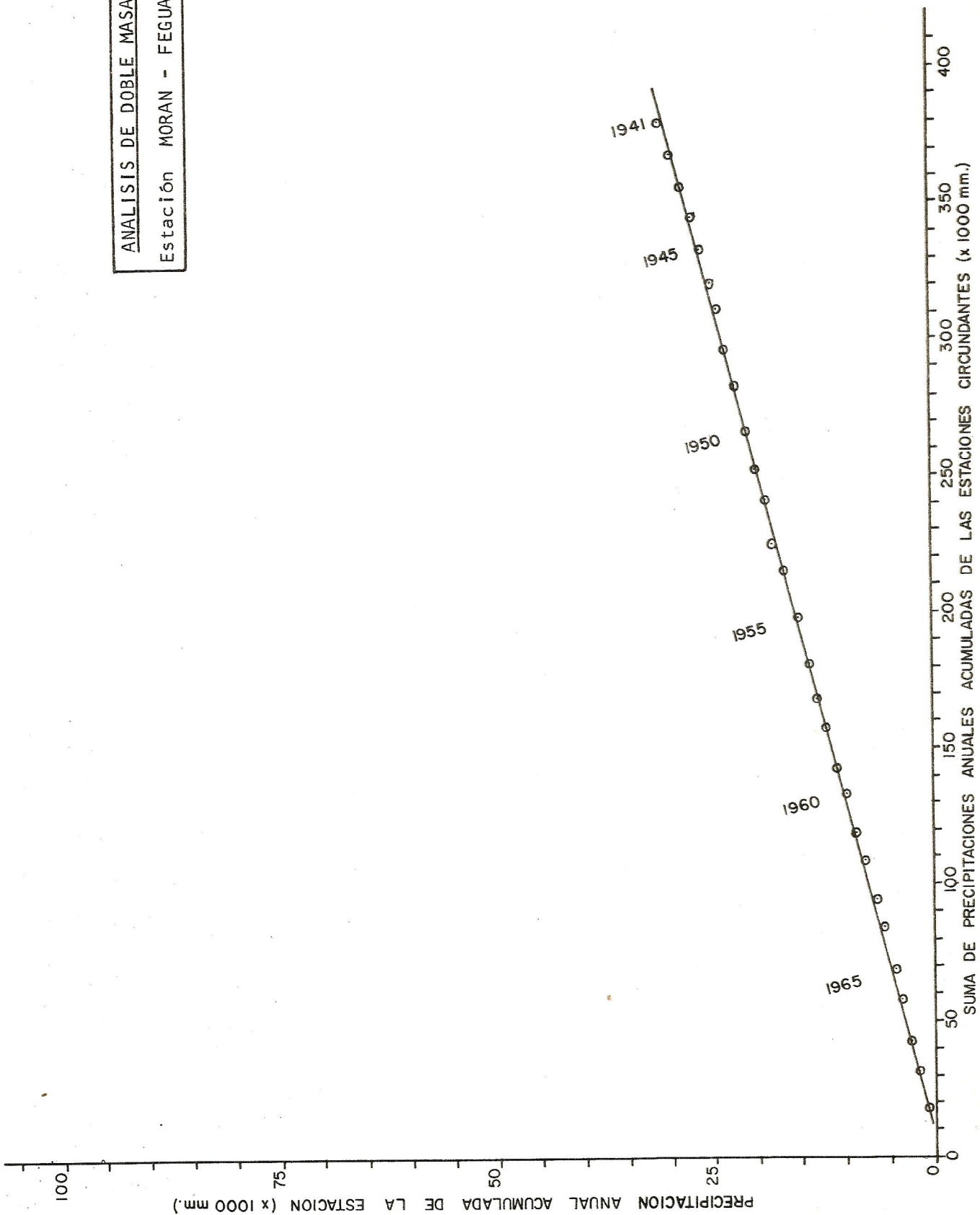


GRAFICO Nº 3

ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Estación GUATEMALA - FEGUA -

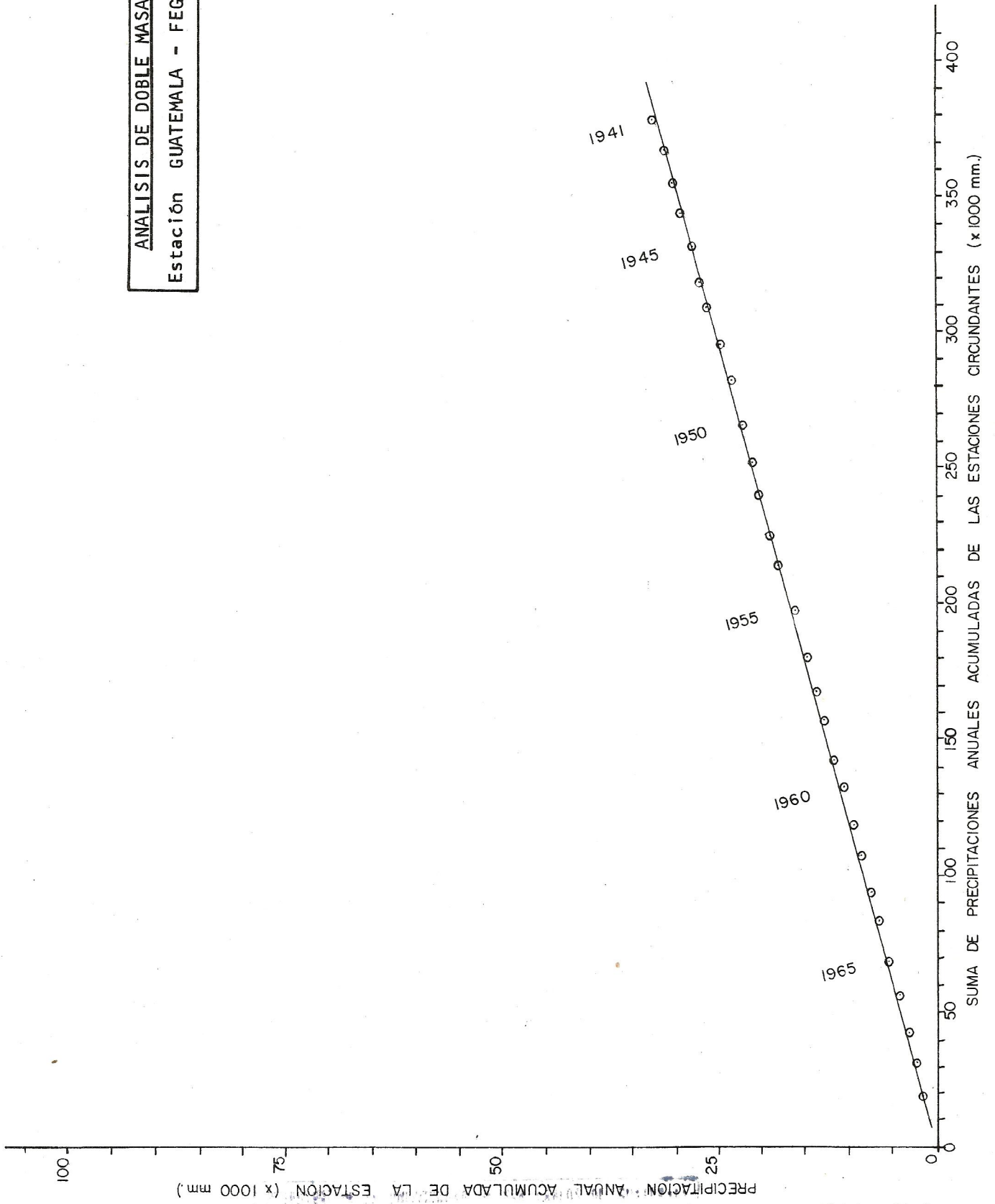


GRAFICO Nº 4

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
Estación FLORENCIA

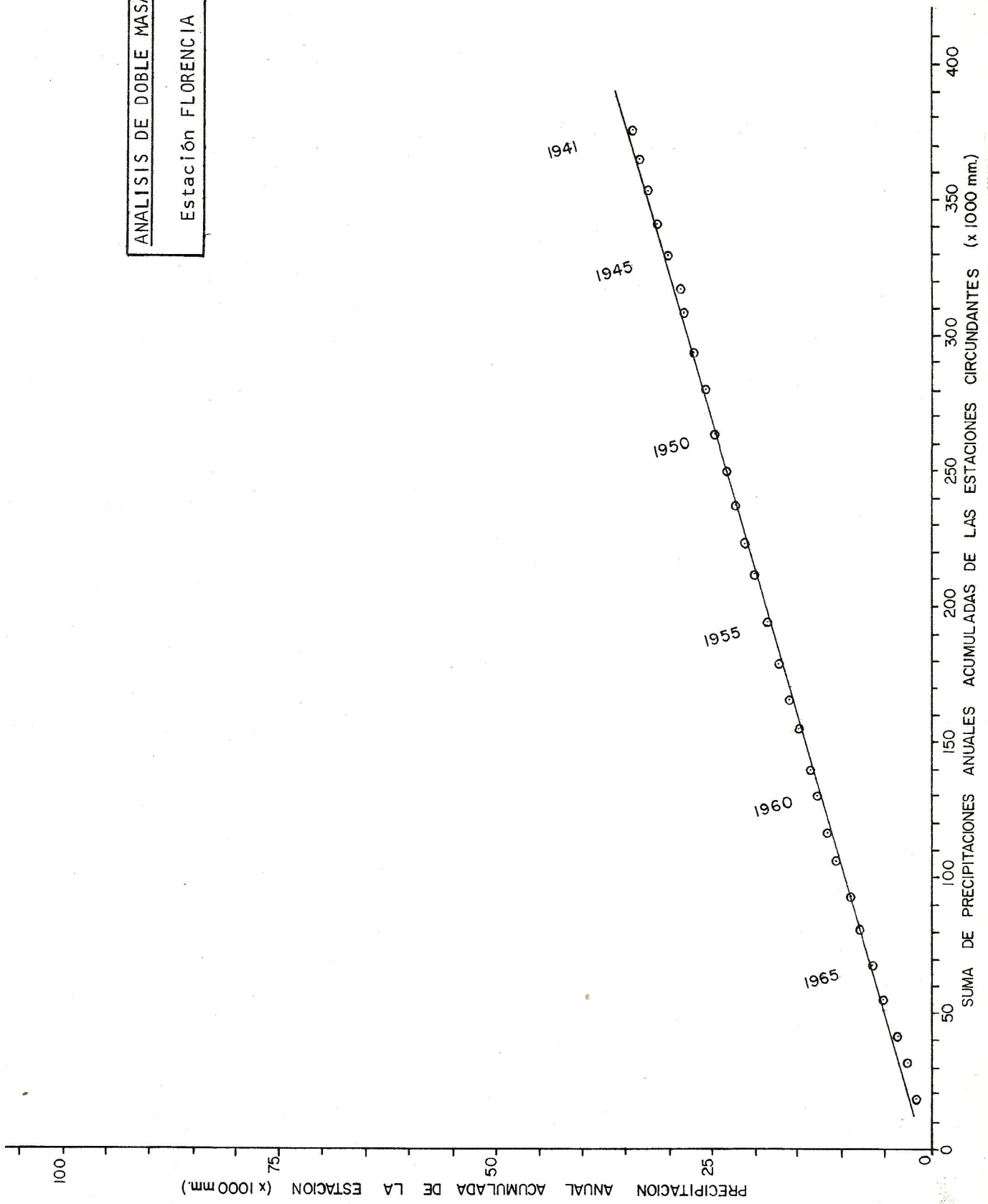


GRAFICO N° 5

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
Estación Observatorio Nacional

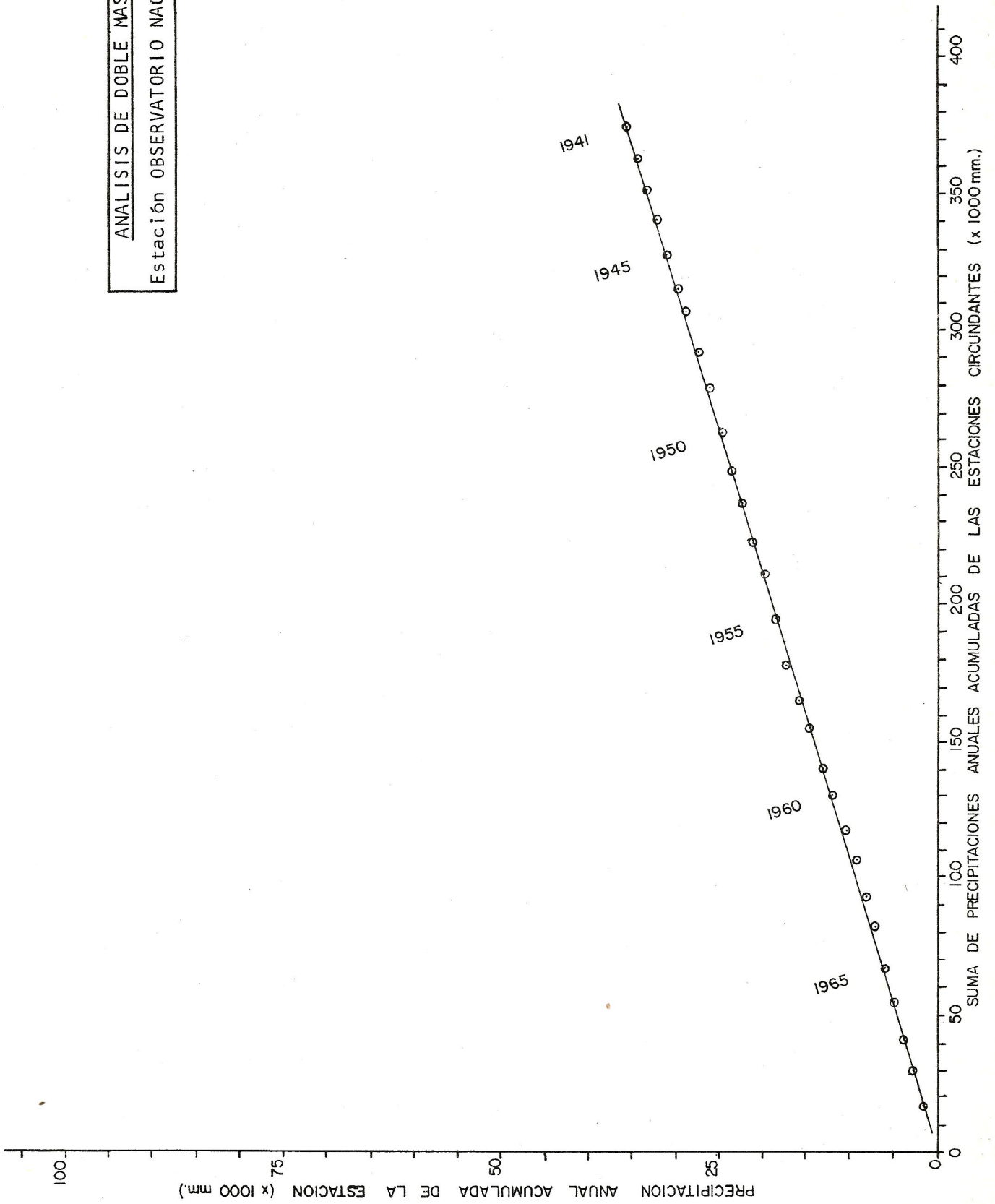


GRAFICO N° 6

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
Estación VILLA NUEVA

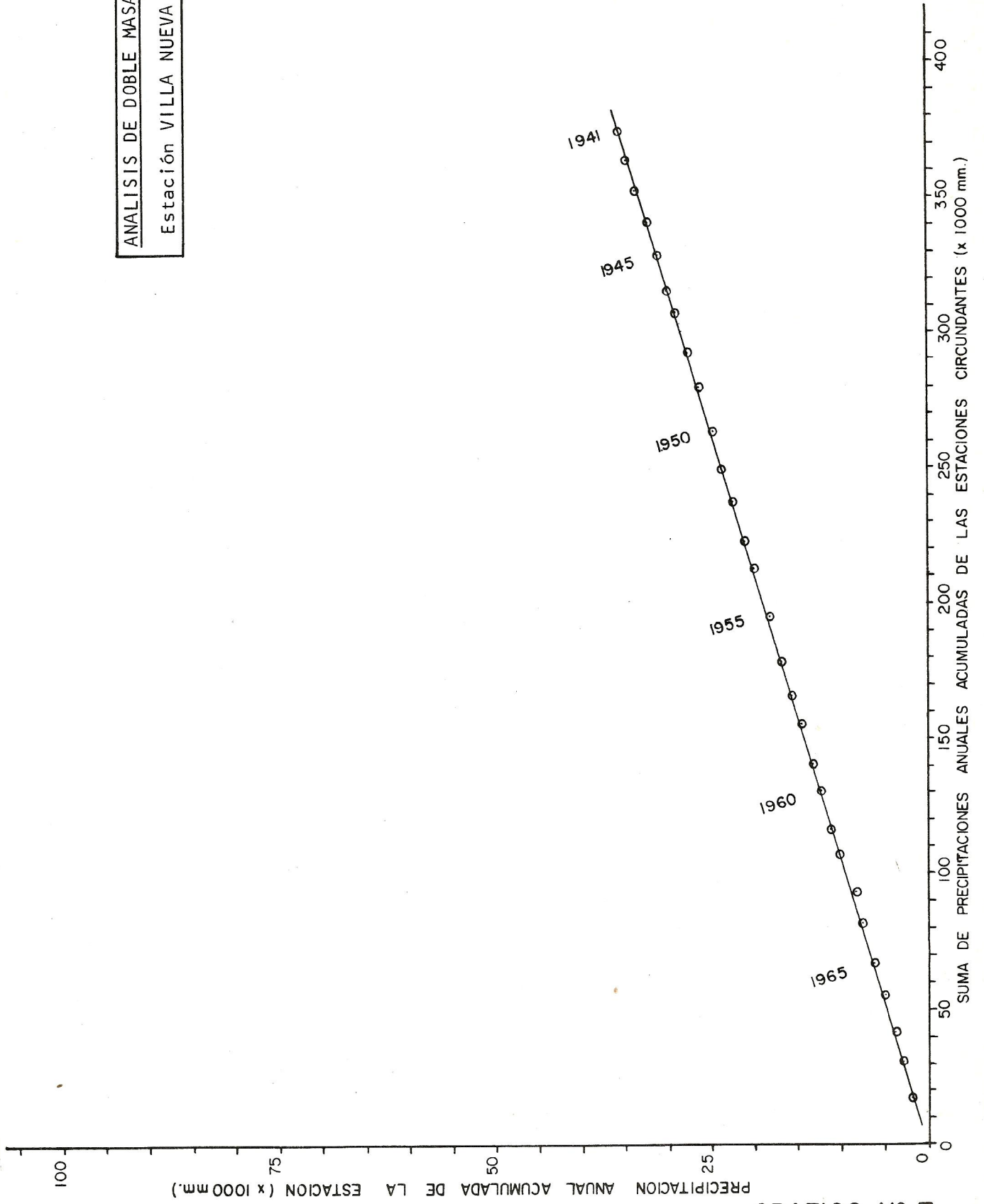


GRAFICO Nº 7

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
 Estación PALIN - INDE -

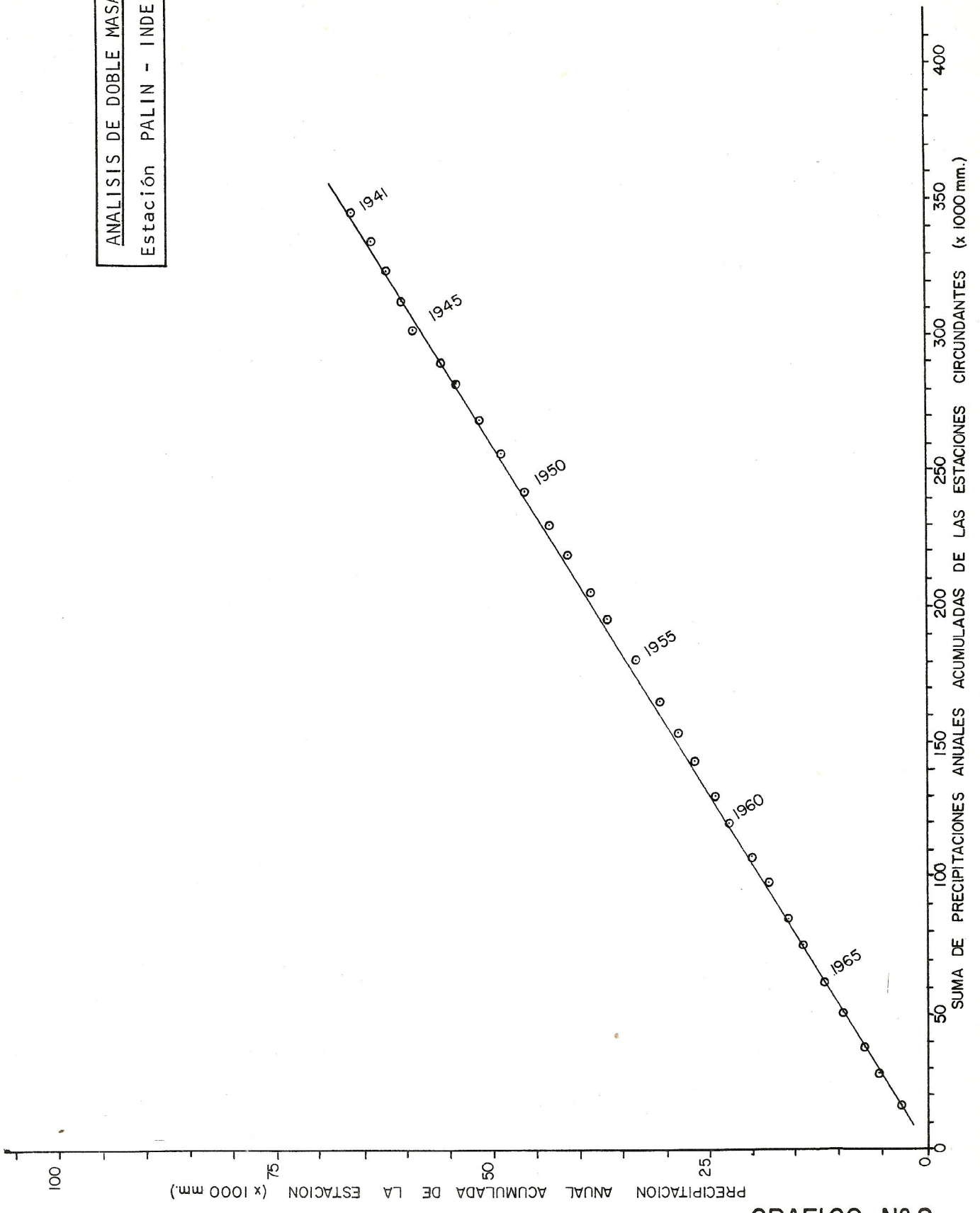


GRAFICO N° 8

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

ANÁLISIS DE DOBLE MASA
 Estación SAN LUIS - INDE -

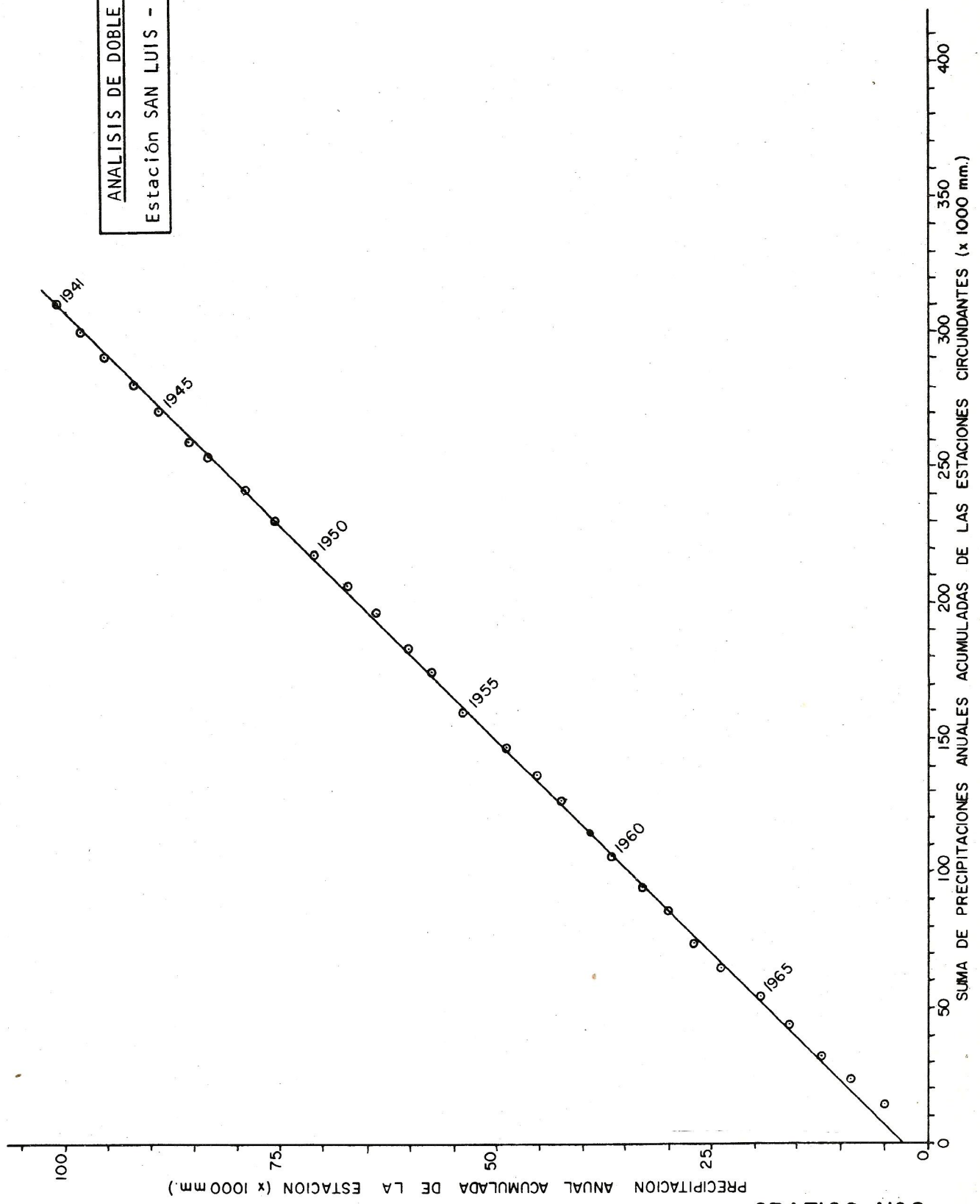
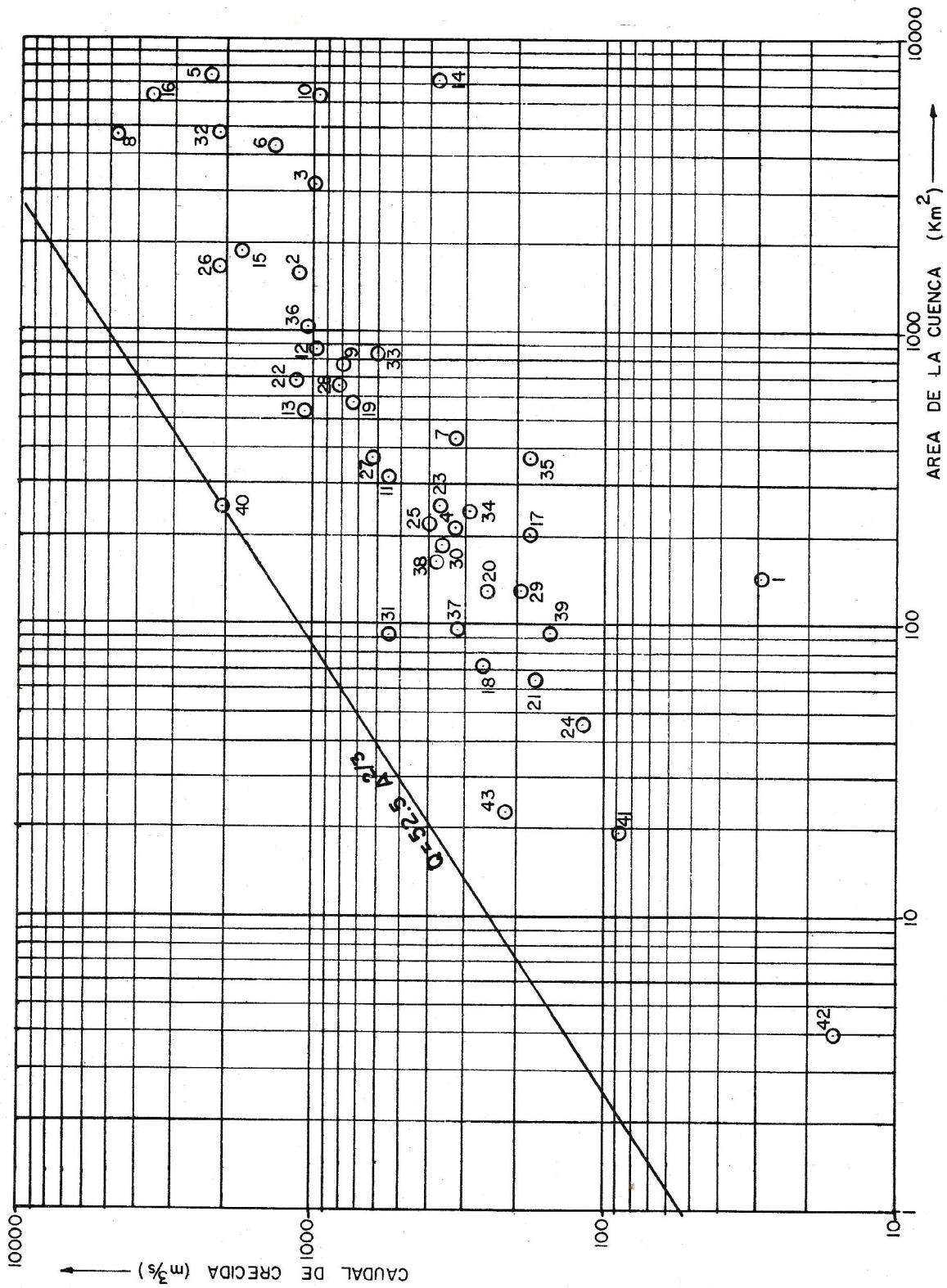
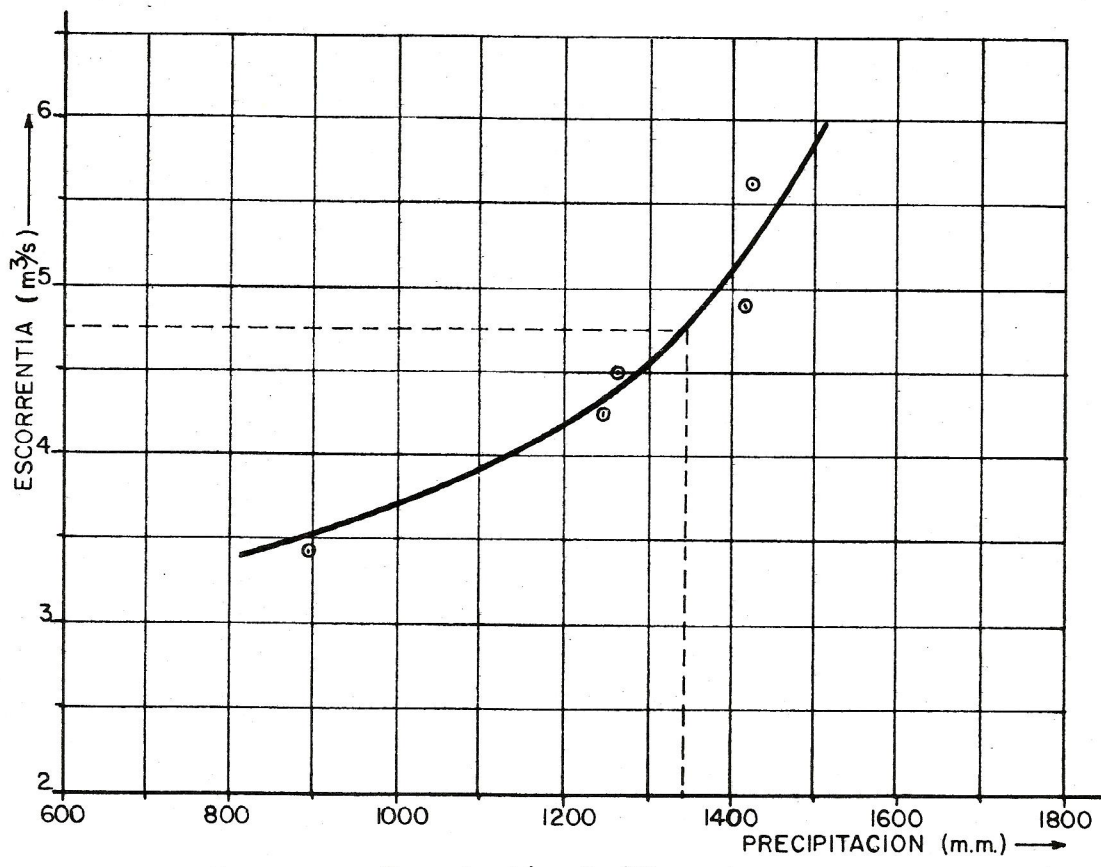


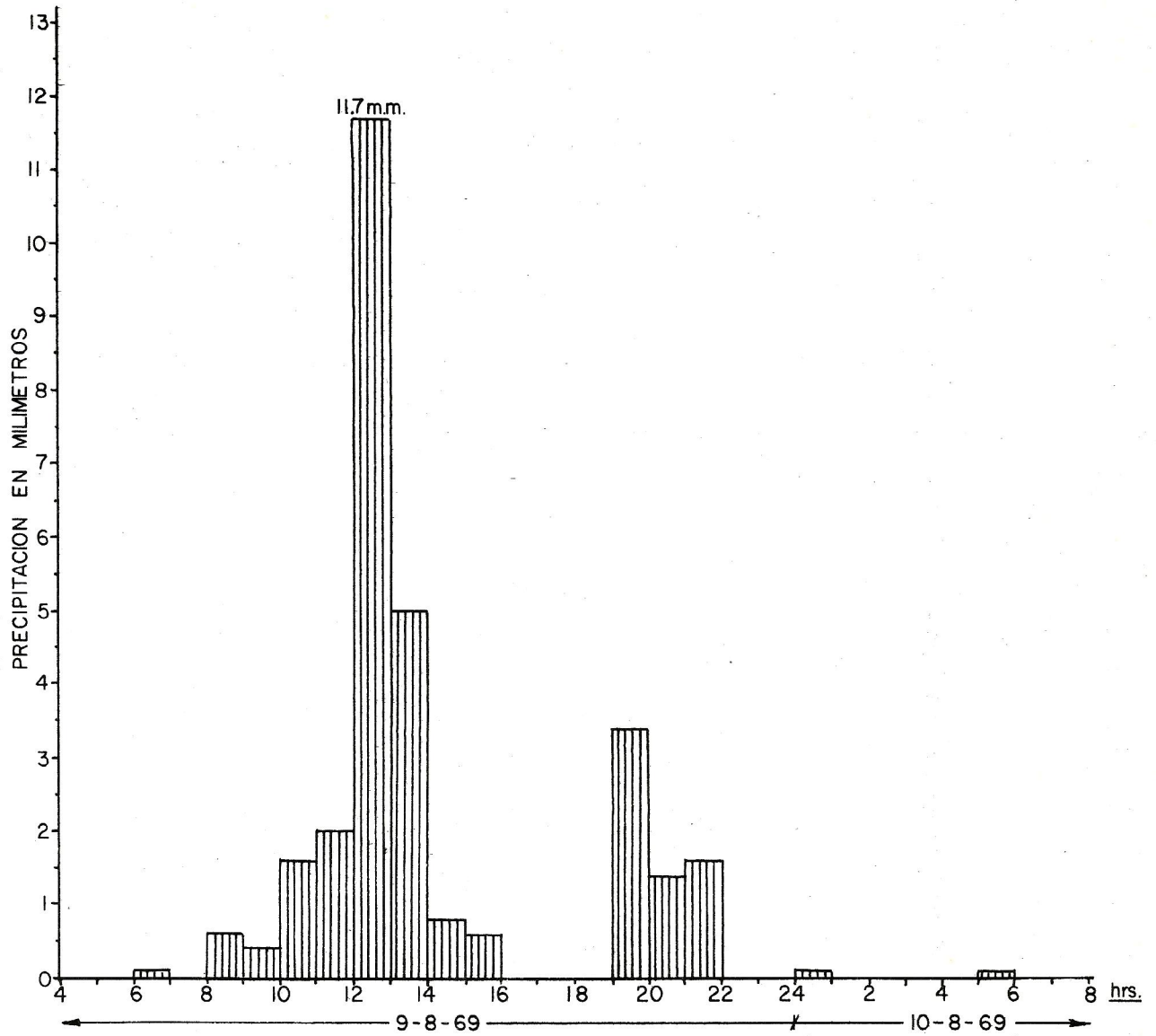
GRAFICO N° 6

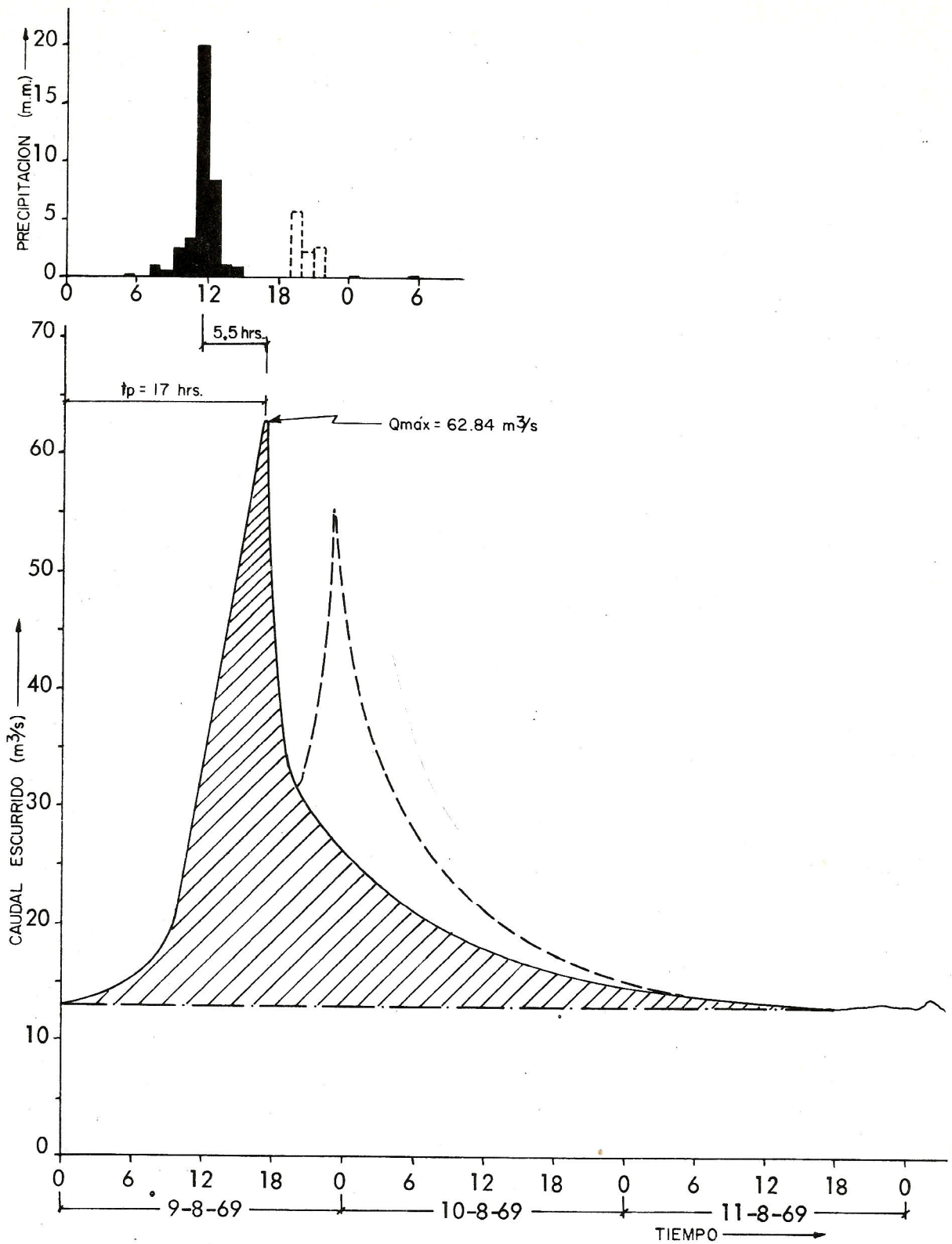


Envolvente de Crecidas de Centroamerica
en los Años 1968-69

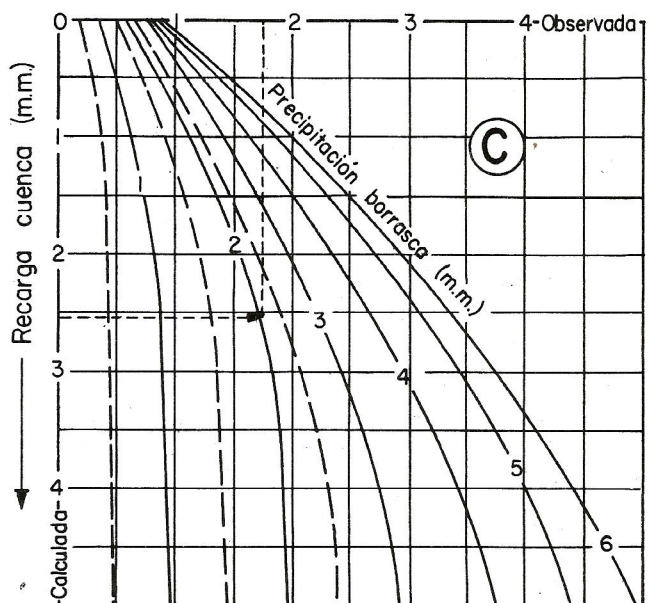
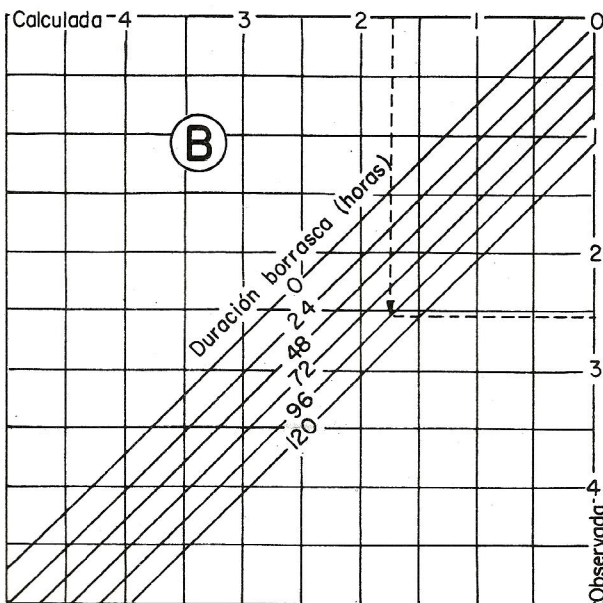
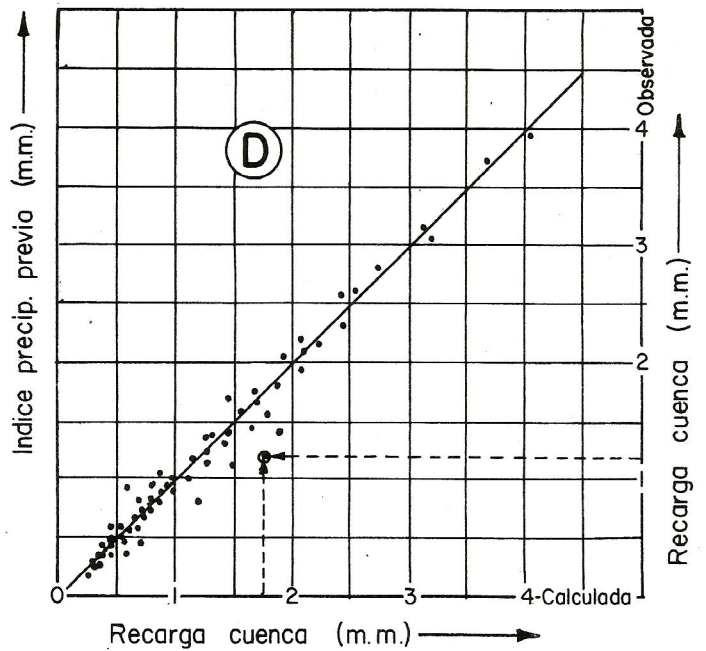
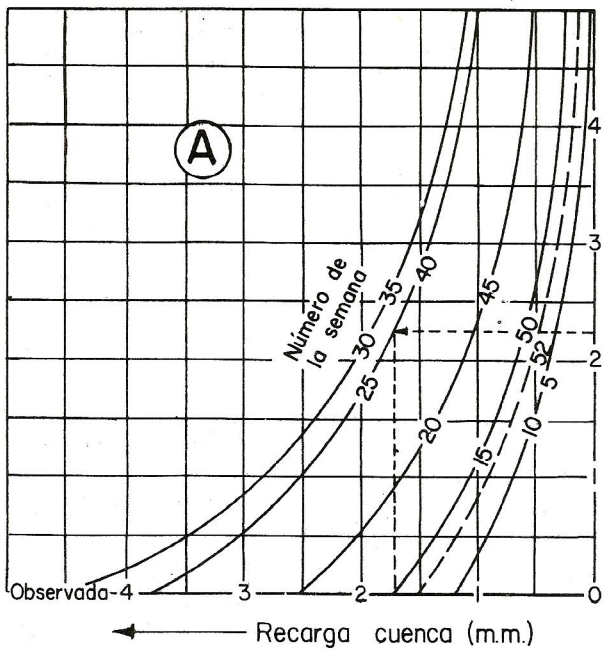


Correlación Gráfica de
Escorrentía-Precipitación





PLUVIOGRAMA E HIDROGRAMA
 de las estaciones de Palín
 y Jurún, respectivamente:



Método Co-axial de
Correlación Gráfica

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA
EN LAS CUENCAS DEL RÍO MICHATOYA Y LAGO DE AMATITLÁN
SEGÚN LA ALTITUD DE LAS ESTACIONES**

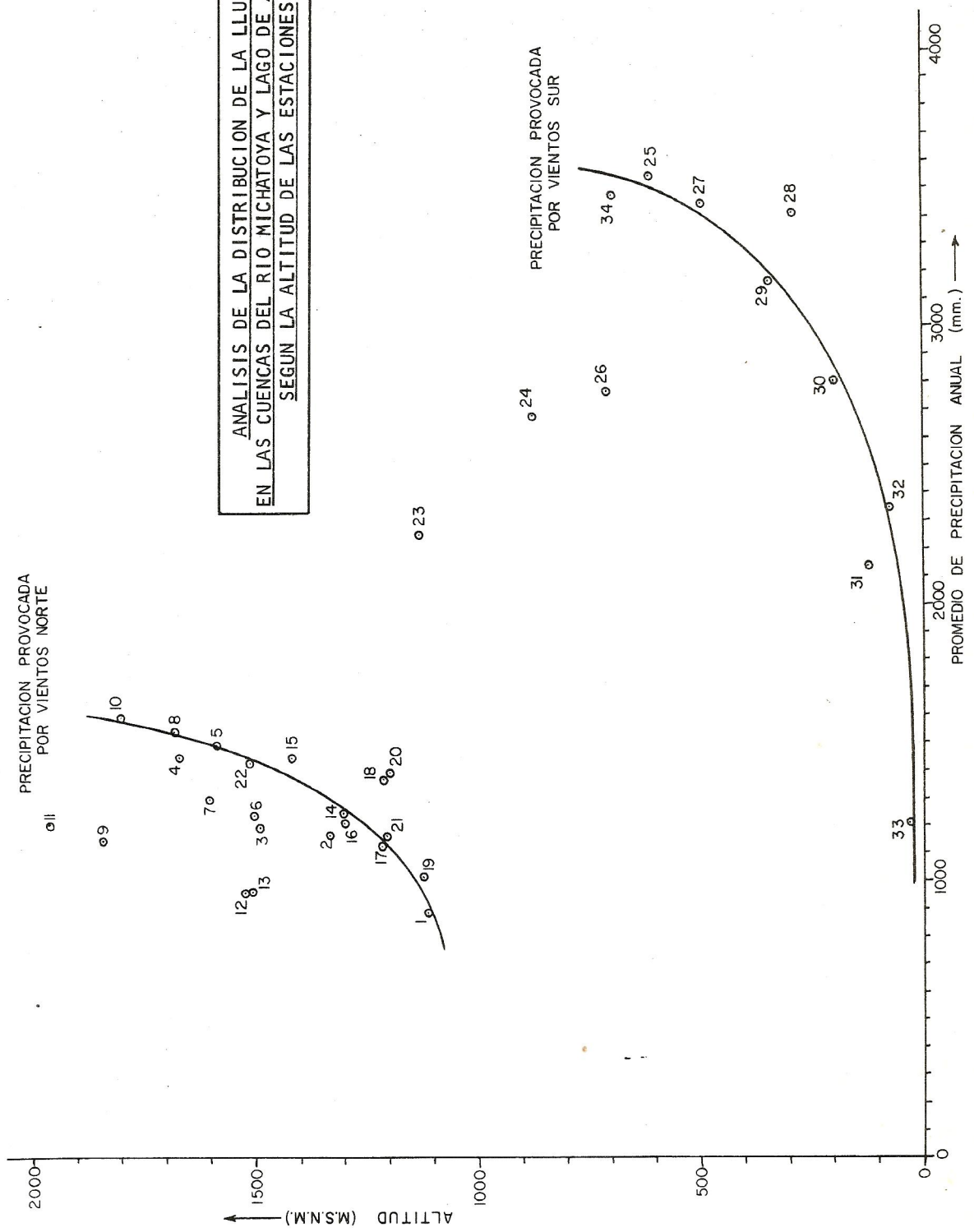
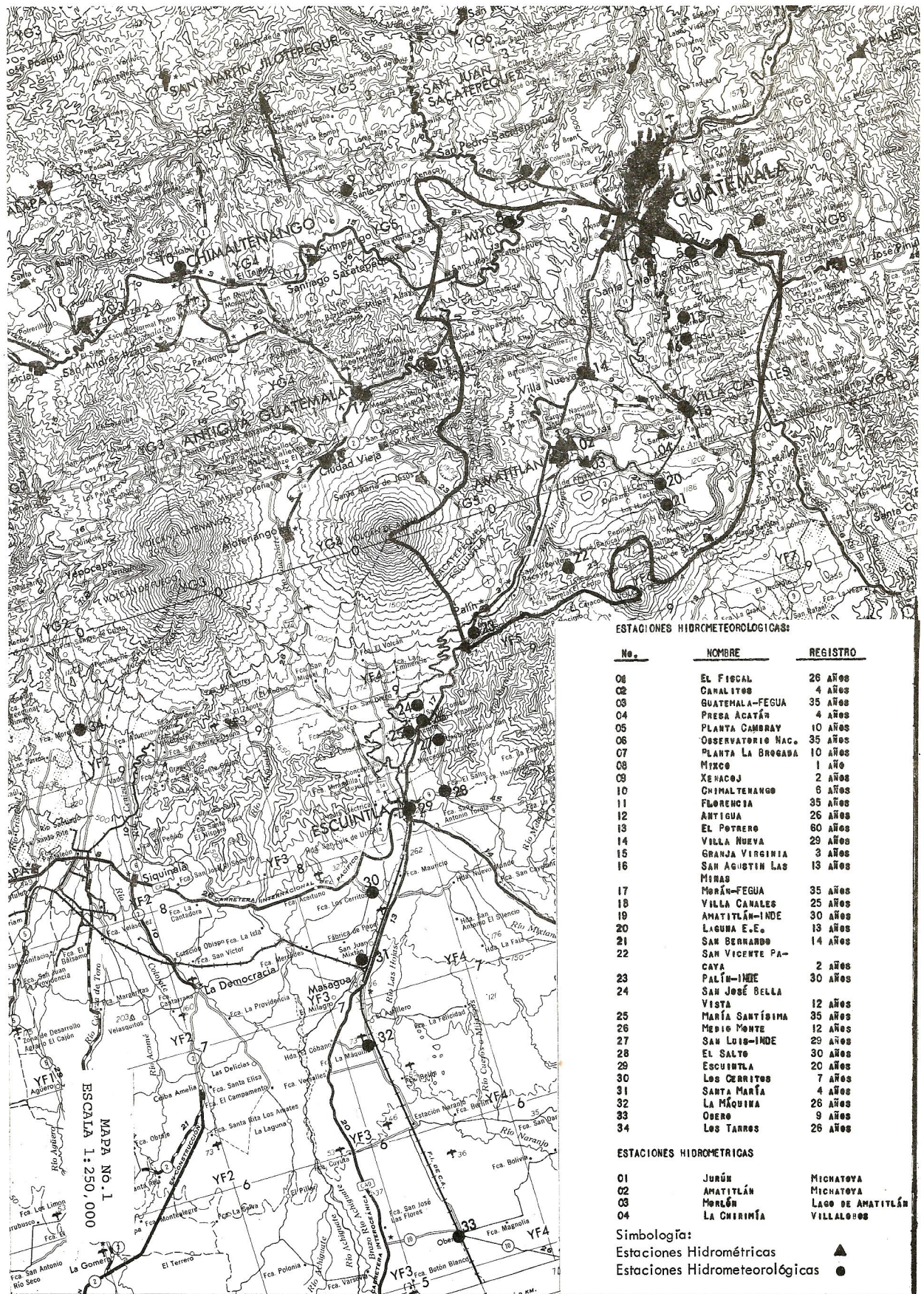


GRAFICO Nº 15



ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS:

No.	NOMBRE	REGISTRO
06	EL FISCAL	26 AÑOS
02	CANALITOS	4 AÑOS
08	GUATEMALA-FEGUA	35 AÑOS
04	PRESA ACATÁN	4 AÑOS
05	PLANTA CAMBRAY	10 AÑOS
06	OBSERVATORIO NAC.	35 AÑOS
07	PLANTA LA BREGADA	10 AÑOS
08	MIXCO	1 AÑO
09	XENACÓJ	2 AÑOS
10	CHIMALTENANGO	6 AÑOS
11	FLORENCIA	35 AÑOS
12	ANTIGUA	26 AÑOS
13	EL POTRERO	60 AÑOS
14	VILLA NUEVA	29 AÑOS
15	GRANJA VIRGINIA	3 AÑOS
16	SAN AGUSTÍN LAS MIRAS	13 AÑOS
17	MORÁN-FEGUA	35 AÑOS
18	VILLA CANALES	25 AÑOS
19	AMATITLÁN-INDE	30 AÑOS
20	LAGUNA E.E.	13 AÑOS
21	SAN BERNARDO	14 AÑOS
22	SAN VICENTE PASCAYA	2 AÑOS
23	PALÍN-INDE	30 AÑOS
24	SAN JOSÉ BELLA VISTA	12 AÑOS
25	MARÍA SANTÍSIMA	35 AÑOS
26	MEDIO MONTE	12 AÑOS
27	SAN LUIS-INDE	29 AÑOS
28	EL SALTO	30 AÑOS
29	ESCUINTLA	20 AÑOS
30	LOS CERRITOS	7 AÑOS
31	SANTA MARTA	4 AÑOS
32	LA MÁQUINA	26 AÑOS
33	OBERO	9 AÑOS
34	LOS TARROS	26 AÑOS

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

01	JURÓN	MICHATOYA
02	AMATITLÁN	MICHATOYA
03	MORLÓN	LAGO DE AMATITLÁN
04	LA CHIRIMÍA	VILLALOBOS

Simbología:

Estaciones Hidrométricas ▲


Estaciones Hidrometeorológicas ●

MAPA NO. 1
ESCALA 1:250,000

BIBLIOGRAFIA

- 1). HIDROLOGIA PARA INGENIEROS.
Linsley, Kohler y Paulhus.
McGraw Hill Book Company, 1967.
- 2). DERIVACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO PARA UNA CUENCA DE GUATEMALA.
Ricardo Erales C.
Tesis, Facultad de Ingeniería, 1968.
- 3). DATOS METEOROLOGICOS MENSUALES HASTA 1959 INCLUSIVE.
Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología.
IGN, ON, INDE, M. de Agricultura, 1968.
- 4). Observatorio Meteorológico Nacional. Archivos.
- 5). Instituto Nacional de Electrificación.
Archivos de la Sección de Hidrometeorología.
- 6). ESTUDIO HIDROLOGICO DEL PROYECTO TEOCINTE III.
Manuel Enrique Urrutia Molina.
Tesis, Facultad de Ingeniería, 1970.
- 7). GUIA DE PRACTICAS HIDROMETEOROLOGICAS.
Organización Meteorológica Mundial, 1967.
- 8). ESTUDIO HIDROLOGICO BASICO DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA.
Ing. Hernando Neira C.
Publicación N° 32 del P.H.C.A., 1968.
- 9). METODOS PARA DETERMINAR AVENIDAS DE DISEÑO.
Ing. Manuel Corrales.
Publicación N° 24 del P.H. C.A., 1968.
- 10). ESTUDIO HIDROLOGICO BASICO DE LA CUENCA DEL RIO PAZ.
Rubén Augusto Estrada Girón.
Tesis, Facultad de Ingeniería, 1970.
- 11). HYDROLOGICAL FORECASTING.
Technical note N° 92.
World Meteorological Organization, 1969.


- 12). Copias del curso de Hidrología, dictadas por el Ingeniero Francisco Ubieto. Octavo Ciclo, Facultad de Ingeniería, 1967.
- 13). INGENIERIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS.
Ray K. Linsley; Joseph B. Franzini.
CECSA, 1968.
- 14). ANUARIO HIDROLOGICO DEL ISTMO CENTROAMERICANO.
Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, 1970.


(f) Carlos Enrique ~~Castro~~ Flores

Vo. Bo.:


(f) Ing. Larry Andrade Lara
Asesor

Vo. Bo.:


(f) Ing. Jorge Erdmenger
Jefe del Departamento de Hidráulica

IMPRÍMASE:


(f) Ing. Mauricio Castillo Contoux
Decano

Se terminó de imprimir el día 11 de febrero de 1971,
en Impresos Industriales, Calzada Aguilar Batres
No. 29-11, Zona 12, Ciudad de Guatemala.

Una tirada de 100 ejemplares.