

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA



"ESTIMACION DE LOS PARAMETROS HIDROLOGICOS DE LA CUENCA
DEL RIO NAHUALATE HASTA LA ESTACION SAN MAURICIO"

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
POR

EDWIN OLIVA HURTARTE
AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

01
T(679)
c.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DOCTOR EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE AGRONOMIA

DECANO: Doctor Antonio Sandoval Sagastume

VOCAL 1o.: Ing. Agr. M. Sc. Oscar Leiva

VOCAL 2o.: Ing. Agr. Gustavo Méndez

VOCAL 3o.: Ing. Agr. Fernando Vargas

VOCAL 4o.: Prof. Leonel Enríquez

VOCAL 5o.: Prof. Francisco Navichoque

SECRETARIO: Ing. Agr. Carlos R. Fernández

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL
EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Doctor Antonio Sandoval Sagastume

EXAMINADOR: Ing. Agr. M. Sc. Felipe Jerónimo Manuel

EXAMINADOR: Ing. Agr. M. Sc. Jorge Sandoval I.

EXAMINADOR: Ing. Agr. Fernando Mazariegos Barrios.

SECRETARIO: Ing. Agr. Carlos R. Fernández.

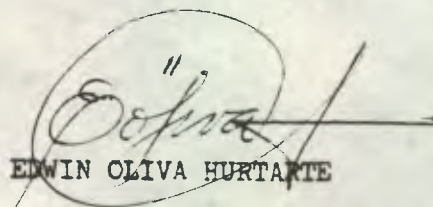
Guatemala, 15 de octubre de 1982.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De acuerdo a lo establecido por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado "ESTIMACION DE LOS PARAMETROS HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DEL RIO NAHUALATE HASTA LA ESTACION SAN MAURICIO".

Este trabajo lo presento, como requisito profesional, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Respetuosamente,


EDWIN OLIVA HURTARTE

Guatemala, 12 de octubre de 1982

Doctor:

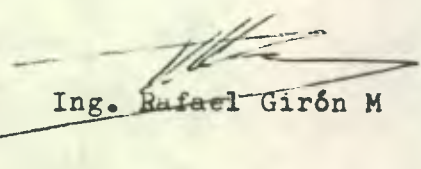
Antonio Sandoval
Decano de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos
Guatemala, Ciudad

Señor Decano:

Manifiesto ante usted, que he terminado el asesoramiento del -
trabajo de Tesis "ESTIMACION DE LOS PARAMETROS HIDROLOGICOS DE LA -
CUENCA DEL RIO NAHUALATE HASTA LA ESTACION SAN MAURICIO" presentado
por el estudiante EDWIN OLIVA HURTARTE; a la vez considero que el -
trabajo en mención si reúne las condiciones necesarias exigentes de-
parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para la obtención
del título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado
en Ciencias Agrícolas. Por lo que recomiendo su aprobación.

Agradeciendo su atención, me suscribo de usted, atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Rafael Girón M

AGRADECIMIENTO

A mis padres

ARTURO OLIVA SAGASTUME
EDELMIRA HURTARTE DUBON DE OLIVA

A mi abuelita

JOSEFINA DUBON OVALLE vda. DE HURTARTE

Por toda la colaboración que me brindaron para que
pudiera llegar a otro punto de partida, otro prin-
cipio.

RECONOCIMIENTO

A:

Ing. RAFAEL GIRON MENDEZ

Ing. Agr. DAVID HAROLDO ALVARADO ARRIAGA

Constancia de mi agradecimiento por la valiosa colaboración y asesoría que me brindaron para la realización de éste trabajo de Tesis.

Asimismo mi agradecimiento a todas aquellas personas que en una u otra forma me prestaron su colaboración.

CONTENIDO

<u>CAPITULO</u>	<u>PAGINA</u>
I- INTRODUCCION	1
II- JUSTIFICACIONES	3
III- OBJETIVOS	5
A- Generales	5
B- Específicos	5
IV- MATERIALES Y EQUIPO	6
V- DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO NAHUALATE	7
A- Localización	7
B- Hidrografía	7
B.1- Rios	7
B.2- Lagunas	8
C- Forma de la cuenca y accidentes geográficos	8
D- Principales vías de comunicación	8
D.1- Terrestres	8
D.2- Aereas	9
VI- ANALISIS DE PRECIPITACION	12
A- Procedimiento general para el análisis de precipitación	12
B- Cálculo de la precipitación media anual de la cuenca	17
B.1- Método del promedio aritmético	17
B.2- Método de los polígonos de Thiessen	18
B.3- Método de las isoyetas	23
VII- ANALISIS DE TEMPERATURA	26
A- Procedimiento general para el análisis de temperatura	26
VIII- ANALISIS DE AGUA SUPERFICIAL	48
A- Componentes de la escorrentía	48
B- Agua retenida superficialmente	48
C- Infiltración	49
D- Escorrentía	49
E- Procedimiento para el análisis de agua superficial	50
IX- EVAPOTRANSPIRACION	64
A- Evaporación	64
A.1- Factores que influyen en la evaporación	64
A.2- Medición de la evaporación	64
B- Transpiración	64
B.1- Factores que influyen en la transpiración	65
B.2- Medición de la transpiración	65

CAPITULO

PAGINA

C-	Evapotranspiración	65
C.1-	Medición de la evapotranspiración	67
C.2-	Metodología para el cálculo de la evapotranspiración	70
X-	CONCLUSIONES	89
XI-	RECOMENDACIONES	90
XII-	BIBLIOGRAFIA	91

I-

INTRODUCCION

Entre los Recursos Naturales Renovables que juegan un papel "vital" para la existencia de cualquier forma de vida sobre la faz de la tierra, está el agua, ya que sin su presencia no se concibe forma de vida alguna.

Es por ello que no debe extrañarnos que las civilizaciones más antiguas como la egipcia, la asiria, la babilónica y la romana, tuvieran su asentamiento en las márgenes de ríos, de los que se surtían del líquido vital (10).

Siendo una cuenca un área de drenaje que lleva implícito el recurso agua, es comprensible el porqué los estudios sobre ellas han adquirido suma importancia en el siglo XX.

Los estudios hidrológicos han sido necesarios desde épocas muy antiguas, ya que basta hacer mención de las actividades desarrolladas por los habitantes de la antigua Mesopotamia, quienes como consecuencia de los desbordamientos de los ríos Tigris y Eufrates remediaban la problemática utilizando métodos empíricos, lo que además despertó en ellos el interés sobre las condiciones meteorológicas y del recurso hídrico de la región (1)

También los egipcios, los babilonios, los israelitas y los romanos hicieron estudios a efecto de conducir las aguas a través de terrenos de distinto nivel, mediante acueductos; siendo los mejor construídos los romanos, cuyas ruinas atraviesan todavía la campiña romana (4).

La explosión demográfica a finales del siglo XX demanda mayores cantidades de alimento para satisfacer las necesidades de los seres vivos, lo que se ha logrado aumentando los rendimientos por unidad de área cultivada. Pero para ello, es necesario considerar como esencial la conservación y el uso racional de los recursos agua, suelo y planta: siendo vital como consecuencia, que cada país trace una adecuada política de uso, manejo y conservación de sus re-

cursos Naturales Renovables, previa cuantificación y calificación de las características de los mismos, para garantizar el desarrollo de la raza humana y demás seres vivos satisfaciendo sus necesidades.

En el presente estudio se analizó la precipitación, la temperatura, el agua superficial (escorrentía superficial) y la evapotranspiración en la cuenca del río Nahualate; y hubo de limitarse el estudio hasta la estación hidrológica San Mauricio, ya que ésta estación es la más cercana a la desembocadura de dicho río, y es a su vez la última que cuenta con registro de caudales, datos necesarios para el análisis de agua superficial.

Es de hacer notar que los análisis de precipitación, temperatura y evapotranspiración, se basaron en datos o registros de 10 años, abarcando la década de 1970 a 1979.

El análisis de agua superficial se basó en registros de caudales correspondientes a 8 años hidrológicos, abarcando de mayo de 1972 a abril de 1980.

II- JUSTIFICACIONES

- A- En Guatemala debe trazarse una adecuada política de desarrollo económico, para lo cual es necesario tener conocimiento del alcance de nuestros recursos naturales con el objeto de estructurar proyectos de aprovechamiento eficiente de los mismos; respecto a los recursos hídricos, es imprescindible tener el conocimiento de los volúmenes y distribución geográfica del recurso agua con que cuenta el país, lo que se logra a través de investigaciones tendientes a la cuantificación y calificación de los recursos naturales renovables del país.
- B- Siendo la cuenca hidrográfica un área colectora del recurso agua proveniente de la precipitación, el estudio y análisis de la misma debe ser meta básica de todo Plan de Desarrollo de Recursos Hidráulicos. Los resultados del estudio y su aplicación redundarán en un mejor aprovechamiento del mismo recurso, mediante un racional uso y manejo de la cuenca.
- C- Como consecuencia del escaso conocimiento hidrológico de una cuenca (principalmente lo que se refiere a caudales) no se pueden contrarrestar los posibles daños a una región específica por diversas causas (erosión hídrica, desbordamientos de ríos, arrastre de viviendas y puentes, etc.), lo que llega a causar pérdidas humanas y materiales, lo que ha hecho que los estudios al respecto sean considerados esenciales.
- D- Anteriormente sólo se había abarcado una fase (El Estudio Morfométrico) del Estudio Integral de la cuenca del río Nahualate; y con éste trabajo se abarca otra fase (El Estudio Hidrológico) del Estudio en mención.
- E- A través del conocimiento respecto al comportamiento del recurso agua en una región determinada, se concluye una mejor planificación de explotación

de la misma ya que se tendrán registros de cuantificación, distribución en el tiempo y riesgos esperados debido al comportamiento especial y/o estocástico del mencionado recurso.

- F- A principios del año 1984, se hará un estudio de previsión de caudales e inundaciones en el istmo centroamericano, incluyendo Panamá, escogiéndose para ello una cuenca por país. Este estudio será patrocinado por los Gobiernos de los seis países, por la Organización de las Naciones Unidas a través de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) y por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos.

En Guatemala se ha tomado para dicho estudio como cuenca piloto la del río Nahualate, por ser una cuenca pequeña y de respuesta muy rápida, además porque cuenta con una red grande de estaciones meteorológicas e hidrológicas; y éste trabajo de tesis será de gran utilidad como referencia cuando se haga el mencionado estudio.

III- OBJETIVOS

A- GENERALES

- A.1 Abarcar a través del presente trabajo una de las fases del estudio integral de la cuenca del río Nahualate. Para que a partir de ello y de acuerdo al interés que identifique a esa región, exista una orientación que permita la ejecución de proyectos y la inversión de recursos al mínimo riesgo.
- A.2 Aportar un trabajo que incremente el conocimiento acerca del recurso hídrico en el país.

B- ESPECIFICOS

- B.1 Analizar y cuantificar los parámetros precipitación y temperatura en dicha cuenca, así como la distribución de los mismos; factores que ayudan a establecer las características hidrológicas en la cuenca del río Nahualate.
- B.2 Analizar y cuantificar los valores característicos de la fase de Agua Superficial de la cuenca del río Nahualate hasta la estación hidrológica San Mauricio, a efecto de determinar el comportamiento de los caudales.
- B.3 Establecer los valores de evapotranspiración potencial media mensual y anual en la cuenca del río Nahualate, así como su distribución mediante las curvas de isoevapotranspiración.

IV- MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADOS

- a- Mapas de la región que abarca la cuenca del río Nahualate a escalas 1:50,000; 1:250,000 y 1:500,000 elaborados por el Instituto Geográfico Nacional.
- b- Las tarjetas de las estaciones meteorológicas que cuentan con registros de precipitación y temperatura de la cuenca del río Nahualate durante la década de 1970 a 1979; siendo obtenidas en los archivos del INSIVUMEH.
- c- Los formatos de las estaciones hidrológicas que cuentan con registros de caudales durante mayo de 1972 a abril de 1980, siendo obtenidos de los boletines hidrológicos de los años respectivos.
- d- Calculadora programable Texas Instrument.
- e- Leroy.
- f- Juego de rapidógrafos.
- g- Planímetro y longímetro.
- h- Plantillas.
- i- Curvas francesas y curvas adaptables.
- j- Juego de escuadras.
- k- Escalímetro.
- l- Regla T.
- m- Estereoscopio.
- n- Papel calco albanene.

V- DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO NAHUALATE (5)

A- Localización

La cuenca del río Nahualate se encuentra ubicada entre los paralelos 14° 00'32" y 14°54'26" latitud norte y los meridianos 91°09'20" y 91°38'05" longitud oeste.

Por la extensión de su superficie (2,012.1167 Km²) ocupa el quinto lugar (8.44%) dentro de las cuencas que vierten sus aguas al Océano Pacífico. Cubre parcialmente los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Sololá y Totonicapán, y de ellos, los municipios de Pueblo Nuevo Tiquisate (Escuintla), Santo Domingo Suchitepéquez, Samayac, San Pablo Jocopilas, Santo Tomás La Unión, Chicacao, San Miguel Panán, Santa Bárbara, San Juan Bautista y Río Bravo (Suchitepéquez), San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, Santa Clara La Laguna, Santa María Visitación, San Pablo La Laguna, Santa Lucía Utatlán, Santa Catarina Ixtahuacán, Nahualá, San José Chacayá y Sololá (Sololá) y Totonicapán (Totonicapán).

Tiene por límites geográficos, al norte la cuenca del río Motagua, al este la cuenca del río Madre Vieja, al oeste las cuencas del río Samalá y Sis-Icán, y al sur el Océano Pacífico al cual vierte sus aguas.

B- Hidrografía

B.1 Ríos

El río Nahualate tiene una longitud desde su nacimiento (según criterio de Horton) al punto de su desembocadura en el Océano Pacífico de 125.317 Kms. A lo largo de su cauce recibe 16,098 corrientes, lo que significa que la cuenca de este río posee 8 corrientes por cada kilómetro cuadrado de su superficie.

Entre los principales ríos que tributan al Nahualate se encuentran: Tzojoná, Ugualco, Masá, Yatzá, Nicá, Cutzán, Tarro, Bravo, San Francisco, Chegüez,

Ixtacapa, Sigüacán y río Del Mico. El nacimiento de la corriente principal del río Nahualate comienza en el Paraje Empuxel a una elevación de 3,300 msnm en jurisdicción del municipio de Totonicapán, Totonicapán.

B.2 Lagunas

Al sur de la cuenca se localizan la laguna Sipacate, la laguna La Zarca, y los esteros Tahuexco y Victoria, siendo esta región bastante pantanosa.

C- Forma de la Cuenca y Accidentes Geográficos

La forma de la cuenca se presenta bastante alargada, con partes angostas al norte. Su ancho promedio desde la región central hasta la desembocadura es de 25 kilómetros y en la parte superior va de unos 25 kilómetros hasta tener una convergencia de 4 kilómetros.

La línea de Agua o Divisoria superficial tiene una longitud de 276 kilómetros, encontrándose en ella el punto de mayor elevación que corresponde al cerro de Zunil con 3,542.0 msnm.

Entre los principales accidentes geográficos están el cerro Zunil (3542 msnm), montaña Siete Cruces (3300 msnm), sierra de Chuatroj (3220 msnm), montaña Chuanimajuyub (3092 msnm), cerro Batzibaljuyub (2730 msnm), cerro Chuiraxamoló (2732 msnm), sierra Parraxquin (2665 msnm), cerro Paquisís (2831 msnm), montaña El Poj (2360 msnm), cerro Paculám (1890 msnm) y cerro Cabeza de Burro (1903 msnm). Posee la cuenca dos volcanes, siendo ellos el Santo Tomás (3505 msnm) en el departamento de Totonicapán y el Atitlán (3535 msnm) en el departamento de Sololá.

La elevación y pendiente media son de 682.0 msnm y 17% respectivamente y la variación de elevación de 3542 metros.

D- Principales Vías de Comunicación

D.1 Terrestres

- Carreteras la red vial que se localiza en la superficie de la cuenca está integrada por carreteras denominadas Centroamericanas, Nacionales, Departamentales y Vecinales. Entre ellas se pueden citar las Centroamericanas CA-1 y CA-2, las Nacionales 1, 6W y 7 y las Departamentales 4,5, 6,8,11, 13, 14 y 15.

- Vías Férreas la vía férrea con un ancho de 0.90 metros que une la República de Guatemala con México atraviesa a la cuenca de este a oeste y se ubica en la región central de la misma. Un ramal de ella se va al Pacífico partiendo del municipio de Río Bravo, Suchitepéquez.

D.2 Aereas

Existen 4 pistas de aterrizaje en la cuenca, siendo todas ellas de grama y pertenecen a fincas privadas de la región.

91°30' LOCALIZACION DE LA CUENCA
DEL RIO NAHUALATE

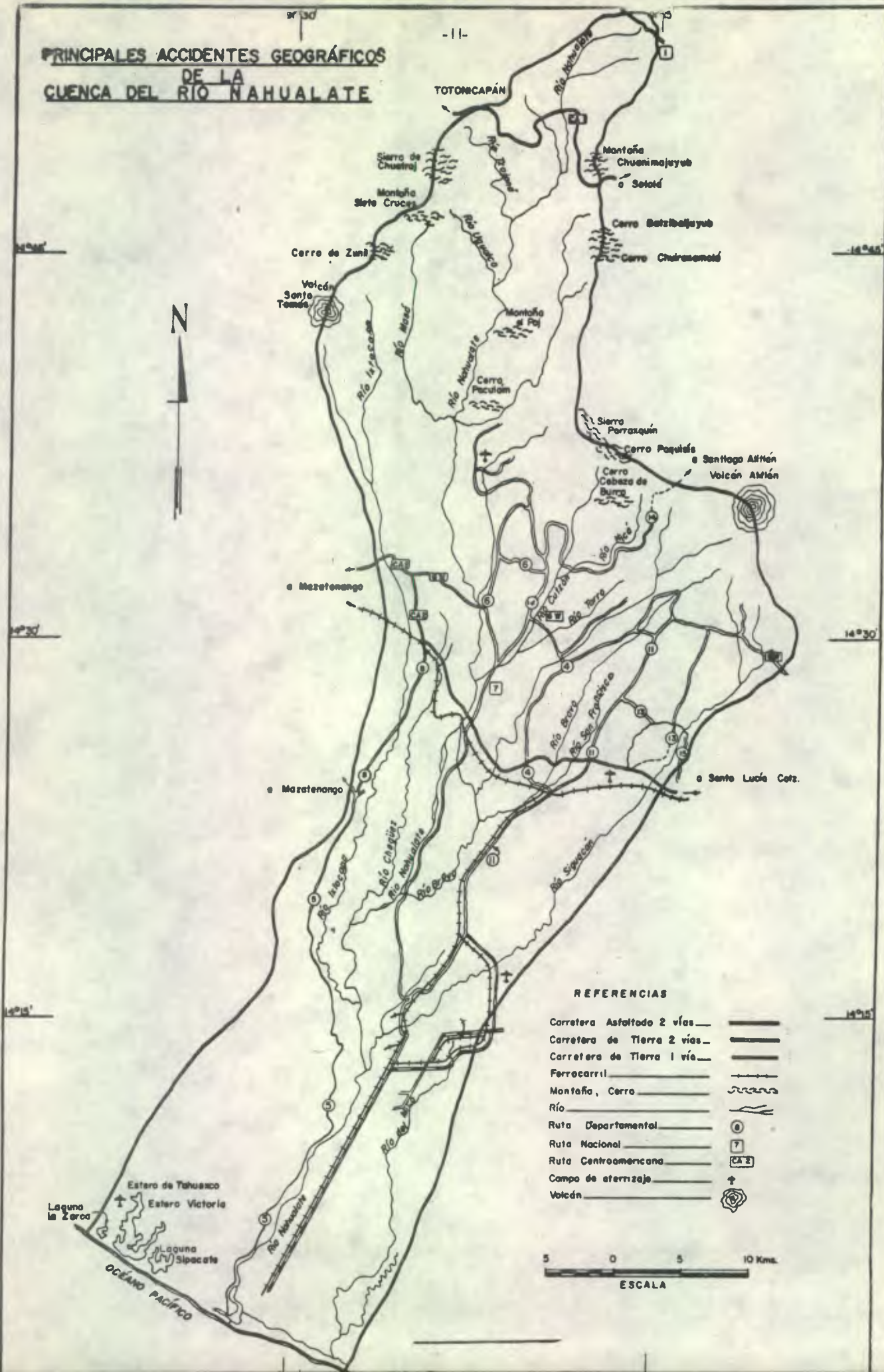
91°00'

15°00'

15°00'



- 11 -



VI- ANALISIS DE PRECIPITACION

Para el hidrólogo precipitación es el término general que abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes y caen a la tierra (7).

Para Remenieras (9) se comprende bajo el nombre de precipitación atmosférica, cualquier agua tanto en forma líquida (llovizna, lluvia o aguacero) como en forma sólida (nieve, aguanieve, granizo) que llegue a la superficie terrestre procedente de la atmósfera (nubes).

Se calcula que cada año, una precipitación aproximadamente a 4 billones de toneladas de agua cae sobre la superficie firme de la tierra; y aunque el coeficiente varíe de un lugar a otro, la precipitación anual promedio sobre la tierra se estima en unos 101.5 mm. (40 pulgadas), de la que se estima que cerca del 22 al 30% llega a ser agua de escurrimiento (8).

En todas las estaciones meteorológicas se mide y observa la cantidad de agua que procedente de la atmósfera llega a la tierra en una u otra forma, con el objeto de contribuir al conocimiento de ese factor, a la determinación del recurso hídrico y al estudio climatológico de un país.

Desde el momento de su formación en la atmósfera, hasta que llega a la tierra, la precipitación tiene más interés para el meteorólogo que para el hidrólogo; no obstante, en cuanto llega a tierra se convierte en un elemento básico de hidrología.

A- Procedimiento general para el análisis de precipitación

Inicialmente se procedió a delinear la cuenca respectiva (la del río Nahualate), mediante la elaboración de un mapa que incluyera la zona territorial que describe dicha cuenca, siendo elaborado a escala 1:500,000.

En el mismo mapa se llevó a cabo la localización de las estaciones meteorológicas con los datos necesarios para el análisis, siendo necesario conocer

la latitud y longitud de las estaciones (6), para plotearlas en el mapa.

Luego se procedió a obtener los datos de precipitación y días de lluvia en las tarjetas de las estaciones respectivas. En varias estaciones hubo que hacer relleno de datos, ya que hacían falta ciertos registros.

Con los datos se calculó las precipitaciones medias mensuales y el promedio de días de lluvia, así como las precipitaciones medias anuales de cada estación.

Con los resultados anteriores, se hizo el cálculo de la precipitación media anual de la cuenca del río Nahualate, utilizando para el efecto los métodos siguientes:

- promedio aritmético
- método de los polígonos de Thiessen
- método de las isoyetas

Es de hacer notar que el análisis de precipitación abarcó una década, de los años 1970 a 1979.

A continuación se describen las estaciones que fué necesario considerar para el análisis de precipitación, siendo necesario abarcar estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Nahualate como fuera de ella.

Las estaciones ubicadas fuera de la cuenca pertenecen a las adyacentes: al este la del río Madre Vieja, al noreste la del lago Atitlán, y al oeste las cuencas de los ríos Sis-Icán y Samalá.

ESTACION	CLAVE	LATITUD	LONGITUD	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	CUENCA
Tiquisate	5.12.8	14°17'10"	91°22'21"	Tiquisate	Escuintla	Nahualate
Sta. Catarina Ixtahuacán	19.13.1	14°47'50"	91°21'30"	Ixtahuacán	Sololá	Nahualate
Sta. Clara La Laguna	19.15.1	14°42'50"	91°18'10"	Sta. Clara La Laguna	Sololá	Nahualate
Bella Flor	20.3.1	14°34'58"	91°20'10"	Chicacao	Suchitepéquez	Nahualate
San Antonio Sigüacán	20.6.2	14°20'35"	91°18'12"	Río Bravo	Suchitepéquez	Nahualate
Palo Gordo Fegua	20.8.1	14°29'23"	91°24'36"	San Antonio Such.	Suchitepéquez	Nahualate
Chinán	20.15.1	14°32'23"	91°20'30"	San Miguel Panán	Suchitepéquez	Nahualate
Monte Rey	20.17.1	14°22'16"	91°27'34"	Santo Domingo Such.	Suchitepéquez	Nahualate
La Moca	20.19.5	14°32'00"	91°14'10"	Santa Bárbara	Suchitepéquez	Nahualate
Palmeras	20.19.6	14°26'03"	91°17'26"	Santa Bárbara	Suchitepéquez	Nahualate
Los Tarrales	20.4.4	14°31'20"	91°08'10"	Patulul	Suchitepéquez	Madre Vieja
Mazatenango-Fegua	20.1.1	14°31'42"	91°30'10"	Mazatenango	Suchitepéquez	Sis-Icán
Patulul-Fegua	20.4.5	14°23'14"	91°11'50"	Patulul	Suchitepéquez	Madre Vieja
París y Joven Francia	20.5.1	14°38'31"	91°31'23"	Pueblo Nuevo	Suchitepéquez	Sis-Icán
Luisiana	20.4.6	14°26'45"	91°07'36"	Patulul	Suchitepéquez	Madre Vieja

ESTACION	CLAVE	LATITUD	LONGITUD	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	CUENCA
Fangola	5.12.4	14°16'25"	91°13'17"	Tiquisate	Escuintla	Madre Vieja
Santiago Atitlán	19.19.4	14°37'56"	91°13'53"	Santiago Atitlán	Sololá	Atitlán
Hda. San Juan de Argueta	19.1.5	14°48'50"	91°13'32"	Sololá	Sololá	Atitlán
Santa Lucía Utatlán	19.17.1	14°45'55"	91°15'50"	Santa Lucía Utatlán	Sololá	Atitlán
Los Brillantes	15.9.1	14°33'25"	91°32'58"	Santa Cruz Muluá	Retalhuleu	Sis-Icán
Candelaria	13.10.1	14°43'40"	91°37'11"	Flores Costa Cuca	Quezaltenango	Samalá
Fachuté	13.17.1	14°58'50"	91°34'55"	San Carlos Sija	Quezaltenango	Samalá
Labor Ovalle	13.14.3	14°52'12"	91°31'09"	Olintepeque	Quezaltenango	Samalá

Cuadro con los datos de precipitación y días de lluvia de las estaciones dentro y fuera de la cuenca del río Nahualate:

ESTACION	PROMEDIO LLUVIA ANUAL	PROMEDIO DIAS DE LLUVIA/AÑO
Tiquisate	2045.9 mms.	140
Santa Catarina Ixtahuacán	1250.2 "	145
Santa Clara La Laguna	1491.1 "	88
Bella Flor	4377.0 "	186
San Antonio Siguacán	2483.9 "	131
Palo Gordo-Fegua	2040.4 "	139
Chinán	4796.2 "	143
Monte Rey	2641.2 "	105
La Moca	4578.0 "	183
Palmeras	3836.3 "	139
Los Tarrales	3024.6 "	148
Mazatenango-Fegua	2895.6 "	130
Patulul-Fegua	2534.8 "	109
París y Joven Francia	4303.8 "	174
Luisiana	3558.2 "	156
Pangola	2101.8 "	115
Santiago Atitlán	1007.1 "	123
Hda. San Juan de Argueta	1193.5 "	79
Santa Lucía Utatlán	2300.0 "	98
Los Brillantes	3506.2 "	160
Candelaria	4449.9 "	183
Pachuté	1002.8 "	144
Labor Ovalle	818.5 "	119

B- Cálculo de la Precipitación Media Anual de la Cuenca

Para el cálculo de la precipitación media anual de una cuenca, existen tres métodos que son los más comunmente empleados, siendo ellos los siguientes:

- Método del Promedio Aritmético
- Método de los Polígonos de Thiessen
- Método de las Isoyetas

A continuación se describe cada uno de ellos, así como se procede a hacer el cálculo de la precipitación media anual, empleando los métodos antes mencionados.

B.1 Método del Promedio Aritmético Este método es el más práctico de todos, aunque a su vez es el menos preciso. Consiste únicamente en analizar las precipitaciones de cada una de las estaciones ubicadas en el territorio de la cuenca y luego promediar estos valores.

La fórmula a utilizar en éste método es la siguiente:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{N}$$

Donde: $\bar{P}$ = precipitación media anual de la cuenca

$\bar{P}_n$ = precipitación de cada estación dentro de la cuenca

N = número de estaciones que se consideraron

En el caso específico de la cuenca del río Nahualate, para emplear el método del Promedio Aritmético para calcular la precipitación media anual en dicha cuenca, fué necesario emplear los valores de 10 estaciones meteorológicas, siendo ellas:

ESTACION	CLAVE	PROMEDIO LLUVIA ANUAL
Tiquisate	5.12.8	2045.9 mms.
Santa Catarina Ixtahuacán	19.13.1	1250.2 "
Santa Clara La Laguna	19.15.1	1491.1 "
Bella Flor	20.3.1	4377.0 "
San Antonio Sigüacán	20.6.2	2483.9 "
Palo Gordo Fegua	20.8.1	2040.4 "
Chinán	20.15.1	4796.2 "
Monte Rey	20.17.1	2641.2 "
La Moca	20.19.5	4578.0 "
Palmeras	20.19.6	3836.3 "

Aplicando la fórmula:

$$\bar{P} = \frac{2045.9 + 1250.2 + 1491.1 + 4377.0 + 2483.9 + 2040.4 + 4796.2 + 2641.2 + 4578.0 + 3836.3}{10}$$

$$\bar{P} = \frac{29,540.2}{10}$$

$$\bar{P} = 2,954.02 \text{ mms/anuales}$$

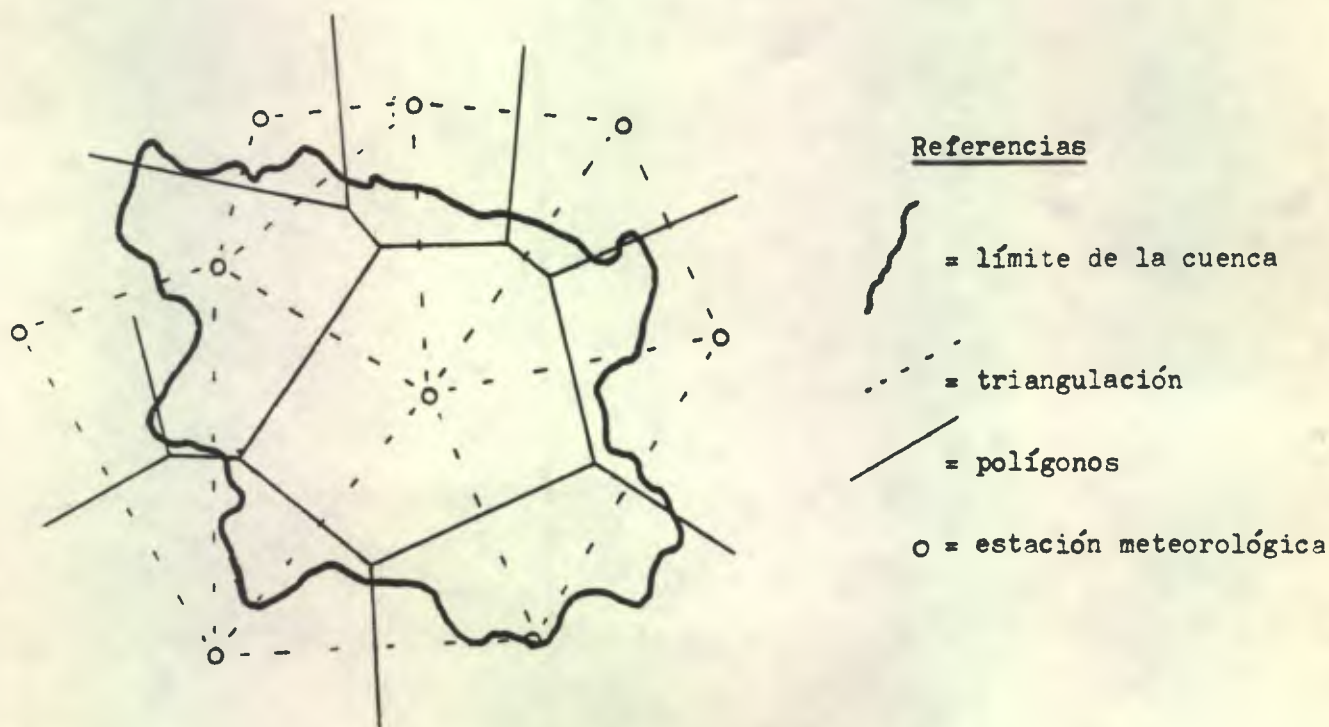
Se concluye que empleando el método del Promedio Aritmético, la precipitación media anual de la cuenca del río Nahualate es de 2,954.02 milímetros.

B.2 Método de los Polígonos de Thiessen El método del Promedio Aritmético es bastante rápido, pero no es muy preciso; el método de las Isoyetas tiene una aplicación bastante laboriosa, es por eso que los hidrólogos anglosajones emplean mejor, en conjugación o no con dicho método, otro método geométrico bastante arbitrario, pero más rápido, llamado de Thiessen. Este método trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros

mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Este método consiste en ponderar las observaciones de cada estación, admitiendo que cada una de ellas representa la precipitación media en una fracción de la cuenca delimitada, según la construcción siguiente: estando las estaciones ubicadas en un mapa, se unen las adyacentes mediante el trazo de una serie de rectas. Luego en medio de cada una de esas rectas, se traza una perpendicular; las intersecciones de esas mediatrices determinan un número de polígonos, siendo tomada para cada uno de los cuales la altura de precipitación media igual a la observada en la estación comprendida dentro del polígono que la rodea; si es preciso algunos lados del polígono son reemplazados por los límites de la cuenca.

El área de cada polígono se determina mediante un planímetro, y se expresa en porcentaje de la superficie total de la cuenca; ese porcentaje es el que sirve como coeficiente de ponderación propio para cada estación.

Ilustración del método de Thiessen (tomado de Remenieras (9))



Para determinar la precipitación media anual por este método, se multiplica el valor de la precipitación promedia de cada estación por el coeficiente de ponderación respectivo. Luego todos los productos se suman y ese resultado es la precipitación media anual.

La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$\bar{P} = P_1 c_1 + P_2 c_2 + P_3 c_3 + \dots + P_n c_n$$

En donde:

$\bar{P}$ = precipitación media anual de la cuenca

P_n = precipitación de cada estación considerada

c_n = coeficiente de cada estación considerada

Este método tiene su mayor inconveniencia en su poca flexibilidad, ya que requiere un nuevo diagrama cada vez que hay un cambio en la red de estaciones, así como tampoco tiene en cuenta influencias orográficas.

El procedimiento de Thiessen simplemente supone una variación lineal de la precipitación entre las estaciones y asigna un segmento de área a la estación más cercana.

A continuación se determina la precipitación media anual de la cuenca del río Nahualate empleando el método de los Polígonos de Thiessen.

ESTACION	PRECIPITACION	AREA (Km ²)	%	COEFICIENTE	COEFICIENTE x PRECIPIT.
5.12.8	2045.9 mm.	414.5771	20.60	0.2060	421.45 mm.
19.13.1	1250.2 "	130.7201	6.50	0.0650	81.26 "
19.15.1	1491.1 "	110.7339	5.50	0.0550	82.01 "
20.3.1	4377.0 "	184.7366	9.18	0.0918	401.81 "
20.6.2	2483.9 "	79.4043	3.95	0.0395	98.11 "
20.8.1	2040.4 "	132.3406	6.58	0.0658	134.26 "
20.15.1	4796.2 "	77.5138	3.85	0.0385	184.65 "
20.17.1	2641.2 "	341.3846	16.97	0.1697	448.21 "
20.19.5	4578.0 "	136.9320	6.79	0.0679	310.85 "
20.19.6	3836.3 "	150.4361	7.48	0.0748	286.95 "
19.1.5	1193.5 "	57.7977	2.87	0.0287	34.25 "
20.5.1	4303.8 "	109.1134	5.42	0.0542	233.27 "
19.17.1	2300.0 "	9.1828	0.46	0.0046	10.58 "
20.1.1	2895.6 "	28.8989	1.44	0.0144	41.70 "
19.19.4	1007.1 "	28.0886	1.40	0.0140	14.10 "
20.4.6	3558.2 "	11.0734	0.55	0.0055	19.57 "
20.4.4	3024.6 "	9.1828	0.46	0.0046	13.91 "
PRECIPITACION MEDIA ANUAL =					2816.94 "

De esta manera se determina que la precipitación media anual de la cuenca del río Nahualate, calculada a través del método de los polígonos de Thiessen es 2,816.94 mms.

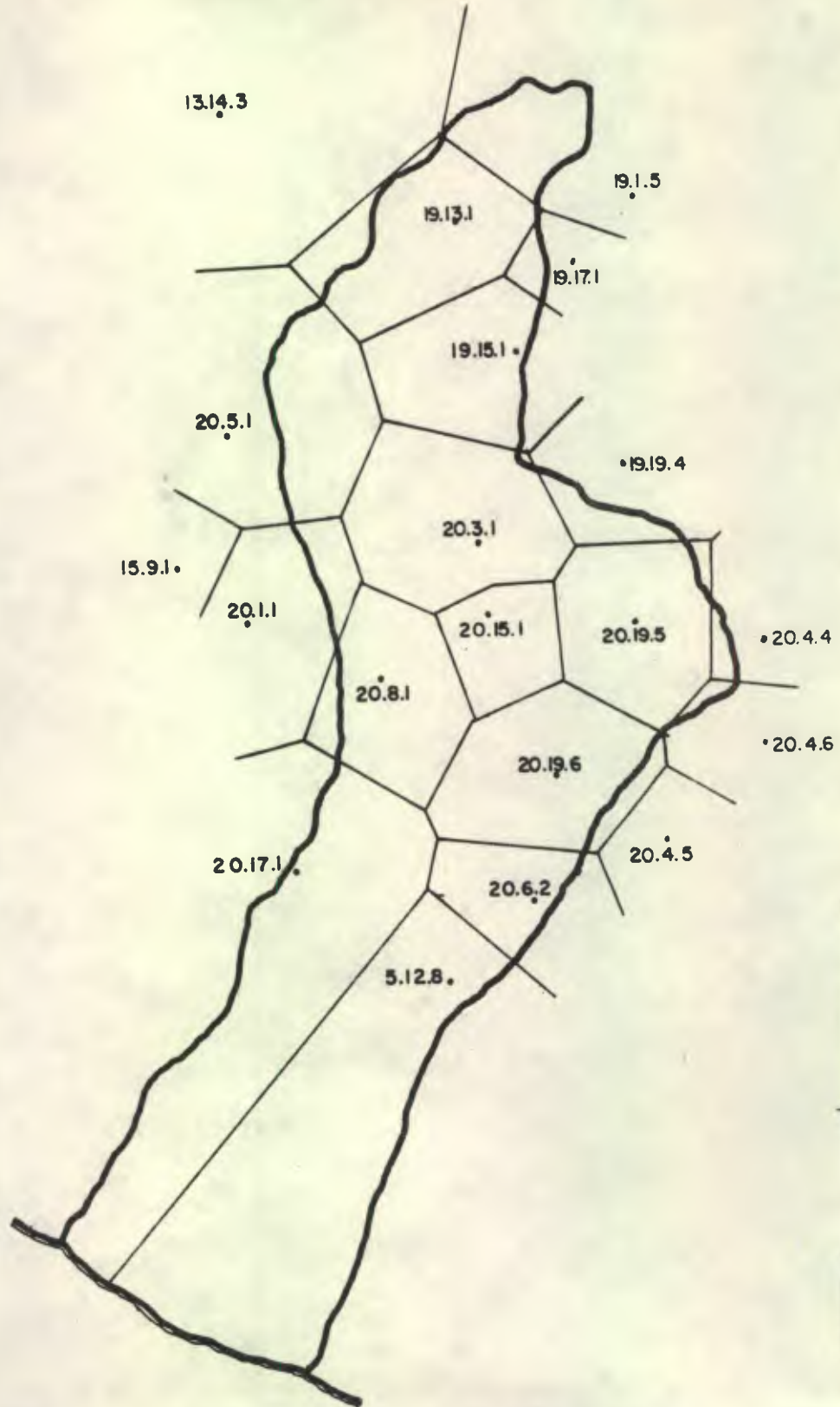
91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

POLIGONOS DE THIESSEN



14°30'



14°00'

91°30'

14°00'



91°00'

B.3 Método de las Isoyetas Este es el método más exacto para promediar la precipitación de un área; la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre éste se dibujan las curvas con igual valor de precipitación (Isoyetas). La precipitación promedio para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (por lo general tomando el promedio de dos valores de las isoyetas) por el área entre las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo por el área total. Este método permite el uso y la interpretación de toda la información disponible y se adapta muy bien para discusión.

Ilustración del método de Isoyetas



referencias:

-  = límite de la cuenca
-  = isoyeta
-  = valor medio entre isoyetas

La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$\bar{P} = \frac{\bar{P}_{1-2}a_1 + \bar{P}_{2-3}a_2 + \bar{P}_{3-4}a_3 + \dots + \bar{P}_{n-n+1}a_n}{A}$$

Donde: $\bar{P}$ = precipitación media anual de la cuenca

$\bar{P}_{n-n+1}$ = precipitación media entre dos isoyetas consecutivas

a_n = área comprendida entre dos isoyetas consecutivas

A = área total de la cuenca

A continuación se hace el cálculo respectivo.

ISOYETA MEDIA (mm)	AREA NETA(Km ²)	PRECIPITACION (Isoyeta x Area)
1250	114.9861	143,732.625
1750	76.4807	133,841.225
2250	995.4311	2,239,719.975
2750	144.1793	396,493.075
3250	193.5297	628,971.525
3750	196.1233	735,462.375
4000	291.3865	1,165,546.000
	2,012.1167	5,443,766.800

$$\bar{P} = \frac{5,443,766.800}{2,012.1167}$$

$$\bar{P} = 2,705.49 \text{ milímetros.}$$

Empleando el método de las Isoyetas, se determina que la precipitación media anual de la cuenca del río Nahualate es 2,705.49 milímetros.

Cuadro Comparativo de los Valores de Precipitación por los Diferentes Métodos

METODO	PROMEDIO ARITMETICO	POLIGONOS DE THIESSEN	ISOYETAS
PRECIPITACION	2,954.02 mms.	2,816.94 mms.	2,705.49 mms.

- 25 -
91°30'

91°00'
15°00'

15°00'

ISOYETAS MEDIAS ANUALES
DECADA 1970-1979 (mm)

14°30'

14°00'

91°30'



10 0 10 20 Km
ESCALA 91°00'

VII- ANALISIS DE TEMPERATURA

La temperatura es uno de los factores que ayudan a establecer las características hidrológicas y climáticas de una región en particular. La temperatura afecta la tasa de evapotranspiración, influye sobre la humedad relativa y a su vez es determinante en la realización de las precipitaciones; así mismo dependerá de ella en que en determinado lugar se presente frío o calor.

A efecto de que la medición de la temperatura sea tomada correctamente, los termómetros deben colocarse en sitios en los que la circulación del aire no se obstruya, y al mismo tiempo en donde estén protegidos de los rayos directos del sol y de la precipitación; debiéndose colocar para ello en cubiertas protectoras de madera pintadas de blanco, a las que se les da el nombre de "abrigos meteorológicos" (3).

A- Procedimiento general para el análisis de temperatura

El análisis de temperatura en la cuenca del río Nahualate, se basó en un registro de las estaciones meteorológicas correspondiente a 10 años (década de 1970 a 1979). Inicialmente se delimitó el área que incluye la cuenca, en un mapa a escala 1:500,000, en el cual se procedió a localizar las estaciones con registros de temperatura, indicando para cada una clave, nombre, municipio y departamento en que se encuentran, así como la latitud y longitud de las mismas. Luego se partió de los datos de temperaturas máxima y mínima diarias, obtenidas de las tarjetas de las estaciones respectivas, y se calculó las temperaturas medias diarias de cada estación sacando la media aritmética de las temperaturas extremas. Después se procedió a calcular las temperaturas medias mensuales y la media anual. Habiendo obtenido los datos anteriores, se pasó a trazar las isotermas medias mensuales y anuales, utilizando para el efecto la interpolación aritmética.

Para el análisis de Temperatura, se tomaron en consideración los datos registrados por 16 estaciones meteorológicas, siendo ellas:

Estación: Tiquisate

Clave: 5.12.8

Latitud: 14°17'10"

Longitud: 91°22'21"

Municipio: Tiquisate

Departamento: Escuintla

Estación: Bella Flor

Clave: 20.3.1

Latitud: 14°34'58"

Longitud: 91°20'10"

Municipio: Chicacao

Departamento: Suchitepéquez

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	26.3	34.0	18.6
Febrero	26.7	35.0	18.5
Marzo	27.8	35.5	20.1
Abril	28.7	35.3	22.2
Mayo	28.1	33.6	22.6
Junio	27.4	32.6	22.2
Julio	27.6	33.4	21.8
Agosto	27.0	32.8	21.2
Septiembre	26.8	31.6	22.1
Octubre	27.1	32.4	21.9
Noviembre	27.3	33.7	20.9
Diciembre	26.6	34.1	19.1
ANUAL	27.3	33.7	20.9

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	21.6	28.6	14.6
Febrero	21.2	27.7	14.8
Marzo	21.4	27.1	15.7
Abril	21.8	27.2	16.4
Mayo	21.1	25.4	16.8
Junio	20.3	24.2	16.4
Julio	20.6	25.2	16.1
Agosto	20.8	24.8	16.9
Septiembre	21.2	26.2	16.2
Octubre	21.2	25.8	16.6
Noviembre	23.4	27.1	19.7
Diciembre	22.1	28.8	15.4
ANUAL	21.4	26.5	16.3

Estación: San Antonio Siguacán

Clave: 20.6.2

Latitud: 14°20'35"

Longitud: 91°18'12"

Municipio: Río Bravo

Departamento: Suchitepéquez

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	25.9	32.8	19.0
Febrero	26.3	33.9	18.8
Marzo	27.2	34.5	19.9
Abril	27.0	33.1	21.0
Mayo	27.2	33.0	21.4
Junio	26.2	31.3	21.1
Julio	26.2	31.3	21.1
Agosto	25.9	31.2	20.6
Septiembre	25.5	30.7	20.4
Octubre	25.9	31.1	20.8
Noviembre	26.0	31.5	20.5
Diciembre	25.8	31.9	19.7
ANUAL	26.2	32.2	20.3

Estación: Monte Rey

Clave: 20.17.1

Latitud: 14°22'16"

Longitud: 91°27'34"

Municipio: Santo Domingo Such.

Departamento: Suchitepéquez

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	27.4	33.3	21.5
Febrero	27.8	34.1	21.5
Marzo	29.0	35.0	23.0
Abril	29.2	34.5	24.0
Mayo	28.9	33.7	24.1
Junio	28.4	33.1	23.7
Julio	28.5	33.8	23.2
Agosto	28.5	33.8	23.3
Septiembre	28.0	32.6	23.4
Octubre	27.8	32.8	22.9
Noviembre	28.0	33.3	22.7
Diciembre	27.0	32.7	21.4
ANUAL	28.2	33.6	22.9

Estación: La Moca

Clave: 20.19.5

Latitud: 14°32'00"

Longitud: 91°14'10"

Municipio: Santa Bárbara

Departamento: Suchitepéquez

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	22.4	29.6	14.4
Febrero	21.7	29.8	14.0
Marzo	22.3	28.9	15.7
Abril	22.3	28.9	15.9
Mayo	22.3	27.8	16.5
Junio	22.1	27.0	16.8
Julio	22.4	27.3	17.4
Agosto	22.3	27.6	17.1
Septiembre	21.8	27.4	16.5
Octubre	22.2	28.5	16.1
Noviembre	22.3	30.0	15.6
Diciembre	21.9	30.2	14.8
ANUAL	22.2	28.6	15.7

Estación: Chojóá

Clave: 20.1.3

Latitud: 14°32'43"

Longitud: 91°29'24"

Municipio: Mazatenango

Departamento: Suchitepéquez

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	23.3	31.5	15.2
Febrero	23.5	32.2	14.8
Marzo	24.7	32.5	16.9
Abril	25.4	32.5	18.4
Mayo	25.4	31.2	19.6
Junio	25.0	30.5	19.6
Julio	24.9	30.9	18.9
Agosto	24.7	30.8	18.7
Septiembre	24.5	30.1	19.0
Octubre	24.5	30.0	18.8
Noviembre	24.2	30.7	17.8
Diciembre	23.2	30.4	16.0
ANUAL	24.4	31.1	17.8

Estación: Los Tarrales

Clave: 20.4.4

Latitud: 14°31'20"

Longitud: 91°08'10"

Municipio: Patulul

Departamento: Suchitepéquez

MES.	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	21.0	27.1	15.0
Febrero	21.6	28.0	15.2
Marzo	22.7	29.2	16.2
Abril	23.3	29.8	16.9
Mayo	23.5	29.5	17.6
Junio	23.4	29.3	17.5
Julio	23.4	29.6	17.3
Agosto	22.9	28.7	17.2
Septiembre	22.4	27.4	17.5
Octubre	22.1	27.1	17.2
Noviembre	21.7	26.9	16.5
Diciembre	21.1	26.8	15.5
ANUAL	22.4	28.3	16.6

Estación: Cocales

Clave: 20.4.2

Latitud: 14°23'28"

Longitud: 91°11'43"

Municipio: Patulul

Departamento: Suchitepéquez

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	28.7	34.8	22.7
Febrero	28.8	35.7	21.9
Marzo	29.4	36.8	22.0
Abril	29.0	36.4	21.7
Mayo	27.8	33.9	21.7
Junio	27.0	32.8	21.2
Julio	27.3	33.2	21.4
Agosto	27.2	33.0	21.5
Septiembre	27.2	33.0	21.4
Octubre	27.0	32.8	21.2
Noviembre	27.7	34.2	21.2
Diciembre	29.0	35.8	22.3
ANUAL	28.0	34.4	21.7

Estación: Las Nubes

Clave: 20.10.3

Latitud: 14°39'08"

Longitud: 91°29'48"

Municipio: San Francisco Zapotitlán

Departamento: Suchitepéquez

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	17.7	24.3	11.1
Febrero	18.1	24.7	11.5
Marzo	18.8	25.3	12.4
Abril	19.4	25.5	13.4
Mayo	19.8	25.3	14.4
Junio	20.1	25.5	14.8
Julio	19.7	25.2	14.2
Agosto	19.4	24.7	14.1
Septiembre	19.4	24.5	14.3
Octubre	19.4	24.6	14.3
Noviembre	19.1	24.8	13.4
Diciembre	20.6	27.7	13.6
ANUAL	19.3	25.2	13.5

Estación: Luisiana

Clave: 20.4.6

Latitud: 14°26'45"

Longitud: 91°07'36"

Municipio: Patulul

Departamento: Suchitepéquez

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	23.5	28.5	18.6
Febrero	23.8	29.3	18.4
Marzo	24.7	29.8	19.7
Abril	25.0	30.0	20.1
Mayo	24.9	28.9	20.9
Junio	24.3	27.7	21.0
Julio	24.3	28.1	20.6
Agosto	24.4	28.2	20.6
Septiembre	24.1	27.5	20.8
Octubre	24.2	27.8	20.7
Noviembre	24.0	27.9	20.1
Diciembre	23.5	28.0	19.0
ANUAL	24.2	28.5	20.0

Estación: Pangola

Clave: 5.12.4

Latitud: 14°16'25"

Longitud: 91°13'17"

Municipio: Tiquisate

Departamento: Escuintla

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	24.7	31.7	17.8
Febrero	25.1	33.2	17.1
Marzo	27.2	34.6	19.9
Abril	28.7	34.6	22.8
Mayo	27.5	33.8	21.2
Junio	27.3	33.4	21.3
Julio	27.6	33.8	21.4
Agosto	27.2	33.4	21.0
Septiembre	26.3	31.7	21.0
Octubre	26.1	31.3	21.0
Noviembre	25.4	30.4	20.4
Diciembre	24.2	30.0	18.5
ANUAL	26.4	32.6	20.3

Estación: Santiago Atitlán

Clave: 19.19.4

Latitud: 14°37'56"

Longitud: 91°13'53"

Municipio: Santiago Atitlán

Departamento: Sololá

MES	TEMPERATURA EN °C		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	16.8	23.8	9.9
Febrero	16.9	23.7	10.1
Marzo	17.5	23.9	11.2
Abril	18.6	24.2	13.0
Mayo	19.6	24.1	15.1
Junio	19.4	23.8	15.1
Julio	19.5	24.6	14.5
Agosto	19.2	24.8	13.6
Septiembre	18.3	23.6	13.0
Octubre	18.6	24.3	12.9
Noviembre	18.2	24.6	11.8
Diciembre	17.4	24.2	10.7
ANUAL	18.3	24.1	12.6

Estación: Hacienda San Juan de Argueta Estación: Santo Tomás Perdido

Clave: 19.1.5

Clave: 19.10.2

Latitud: 14°48'40"

Latitud: 14°35'00"

Longitud: 91°13'32"

Longitud: 91°07'32"

Municipio: Sololá

Municipio: San Lucas Tolimán

Departamento: Sololá

Departamento: Sololá

	TEMPERATURA EN °C		
MES.	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	13.7	21.9	5.5
Febrero	13.6	21.5	5.8
Marzo	13.8	20.8	6.9
Abril	14.2	20.5	8.0
Mayo	14.2	19.8	8.7
Junio	14.6	19.3	9.9
Julio	14.4	19.9	9.0
Agosto	14.5	20.0	9.0
Septiembre	14.5	19.8	9.3
Octubre	14.6	20.6	8.6
Noviembre	14.8	21.8	7.9
Diciembre	14.1	22.2	6.0
ANUAL	14.2	20.7	7.8

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	19.9	26.1	13.7
Febrero	20.3	26.7	14.0
Marzo	20.5	26.7	14.4
Abril	21.2	27.3	15.1
Mayo	20.6	25.7	15.6
Junio	20.2	24.8	15.6
Julio	20.8	25.8	15.8
Agosto	20.6	25.5	15.7
Septiembre	19.9	24.4	15.4
Octubre	20.0	24.9	15.1
Noviembre	20.4	26.0	14.9
Diciembre	20.2	26.1	14.4
ANUAL	20.4	25.8	15.0

Estación: Los Brillantes

Clave: 15.9.1

Latitud: 14°33'25"

Longitud: 91°32'58"

Municipio: Santa Cruz Muluá

Departamento: Retalhuleu

Estación: Labor Ovalle

Clave: 13.14.3

Latitud: 14°52'12"

Longitud: 91°31'09"

Municipio: Olinstepeque

Departamento: Quezaltenango

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	27.8	32.6	23.0
Febrero	28.3	33.3	23.3
Marzo	28.8	33.6	24.0
Abril	28.7	32.8	24.6
Mayo	28.4	32.2	24.7
Junio	28.4	31.4	25.4
Julio	28.3	31.7	25.0
Agosto	28.3	31.9	24.8
Septiembre	27.9	31.7	24.2
Octubre	28.1	31.4	24.8
Noviembre	27.5	31.2	23.9
Diciembre	27.5	31.9	23.1
ANUAL	28.2	32.1	24.2

	TEMPERATURA EN °C		
MES	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
Enero	11.2	21.7	0.8
Febrero	11.6	22.2	1.1
Marzo	12.9	23.2	2.7
Abril	13.9	23.7	4.2
Mayo	15.3	22.6	8.1
Junio	14.7	20.5	9.0
Julio	14.0	20.8	7.3
Agosto	14.0	20.6	7.4
Septiembre	14.2	20.5	8.0
Octubre	13.8	21.0	6.6
Noviembre	13.2	21.2	5.2
Diciembre	11.3	21.3	1.4
ANUAL	13.3	21.6	5.1

De los cuadros anteriores se obtuvo los valores necesarios para el trazo de las Isotermas Medias Mensuales y Anuales, adjuntándose a continuación los mapas respectivos.

-35-
91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES

91°00'

15°00'

14°30'

14°00'

13°30'

13°00'

12°30'

12°00'

11°30'

11°00'

10°30'

10°00'

9°30'

9°00'

8°30'

8°00'

7°30'

7°00'

6°30'

6°00'

5°30'

5°00'

4°30'

4°00'

3°30'

3°00'

2°30'

2°00'

1°30'

1°00'

0°30'

0°00'

0°30'

1°00'

1°30'

2°00'

2°30'

3°00'

3°30'

4°00'

4°30'

5°00'

5°30'

6°00'

6°30'

7°00'

7°30'

8°00'

8°30'

9°00'

9°30'

10°00'

10°30'

11°00'

11°30'

12°00'

12°30'

13°00'

13°30'

14°00'

14°30'

15°00'

15°30'

16°00'

16°30'

17°00'

17°30'

18°00'

18°30'

19°00'

19°30'

20°00'

20°30'

21°00'

21°30'

22°00'

22°30'

23°00'

23°30'

24°00'

24°30'

25°00'

25°30'

26°00'

26°30'

27°00'

27°30'

28°00'

28°30'

29°00'

29°30'

30°00'

30°30'

31°00'

31°30'

32°00'

32°30'

33°00'

33°30'

34°00'

34°30'

35°00'

35°30'

36°00'

36°30'

37°00'

37°30'

38°00'

38°30'

39°00'

39°30'

40°00'

40°30'

41°00'

41°30'

42°00'

42°30'

43°00'

43°30'

44°00'

44°30'

45°00'

45°30'

46°00'

46°30'

47°00'

47°30'

48°00'

48°30'

49°00'

49°30'

50°00'

50°30'

51°00'

51°30'

52°00'

52°30'

53°00'

53°30'

54°00'

54°30'

55°00'

55°30'

56°00'

56°30'

57°00'

57°30'

58°00'

58°30'

59°00'

59°30'

60°00'

60°30'

61°00'

61°30'

62°00'

62°30'

63°00'

63°30'

64°00'

64°30'

65°00'

65°30'

66°00'

66°30'

67°00'

67°30'

68°00'

68°30'

69°00'

69°30'

70°00'

70°30'

71°00'

71°30'

72°00'

72°30'

73°00'

73°30'

74°00'

74°30'

75°00'

75°30'

76°00'

76°30'

77°00'

77°30'

78°00'

78°30'

79°00'

79°30'

80°00'

80°30'

81°00'

81°30'

82°00'

82°30'

83°00'

83°30'

84°00'

84°30'

85°00'

85°30'

86°00'

86°30'

87°00'

87°30'

88°00'

88°30'

89°00'

89°30'

90°00'

90°30'

91°00'

91°30'

92°00'

92°30'

93°00'

93°30'

94°00'

94°30'

95°00'

95°30'

96°00'

96°30'

97°00'

97°30'

98°00'

98°30'

99°00'

99°30'

100°00'

100°30'

101°00'

101°30'

102°00'

102°30'

103°00'

103°30'

104°00'

104°30'

105°00'

105°30'

106°00'

106°30'

107°00'

107°30'

108°00'

108°30'

109°00'

109°30'

110°00'

110°30'

111°00'

111°30'

112°00'

112°30'

113°00'

113°30'

114°00'

114°30'

115°00'

115°30'

116°00'

116°30'

117°00'

117°30'

118°00'

118°30'

119°00'

119°30'

120°00'

120°30'

121°00'

121°30'

122°00'

122°30'

123°00'

123°30'

124°00'

124°30'

125°00'

125°30'

126°00'

126°30'

127°00'

127°30'

128°00'

128°30'

129°00'

129°30'

130°00'

130°30'

131°00'

131°30'

132°00'

132°30'

133°00'

91° 30'

91° 00'

15° 00'

15° 00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES ENERO

14° 30'

14° 00'

91° 30'

14° 00'

91° 00'



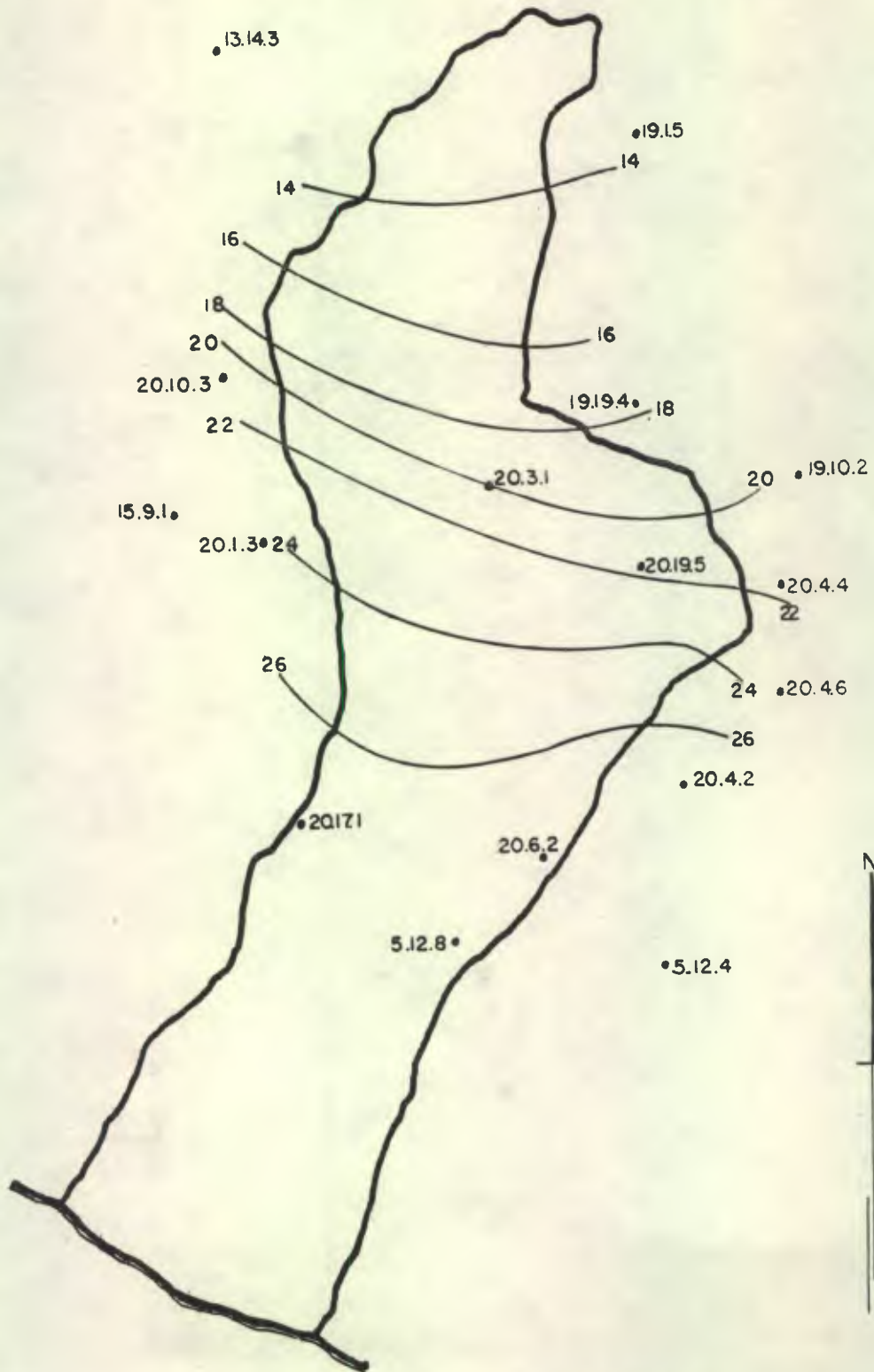
10 0 10 20 Km

- 37 -
91°30'

91°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS MES FEBRERO



14°30'

14°00'

91°30'

10 0 10 20 Km
Escala

91°00'

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

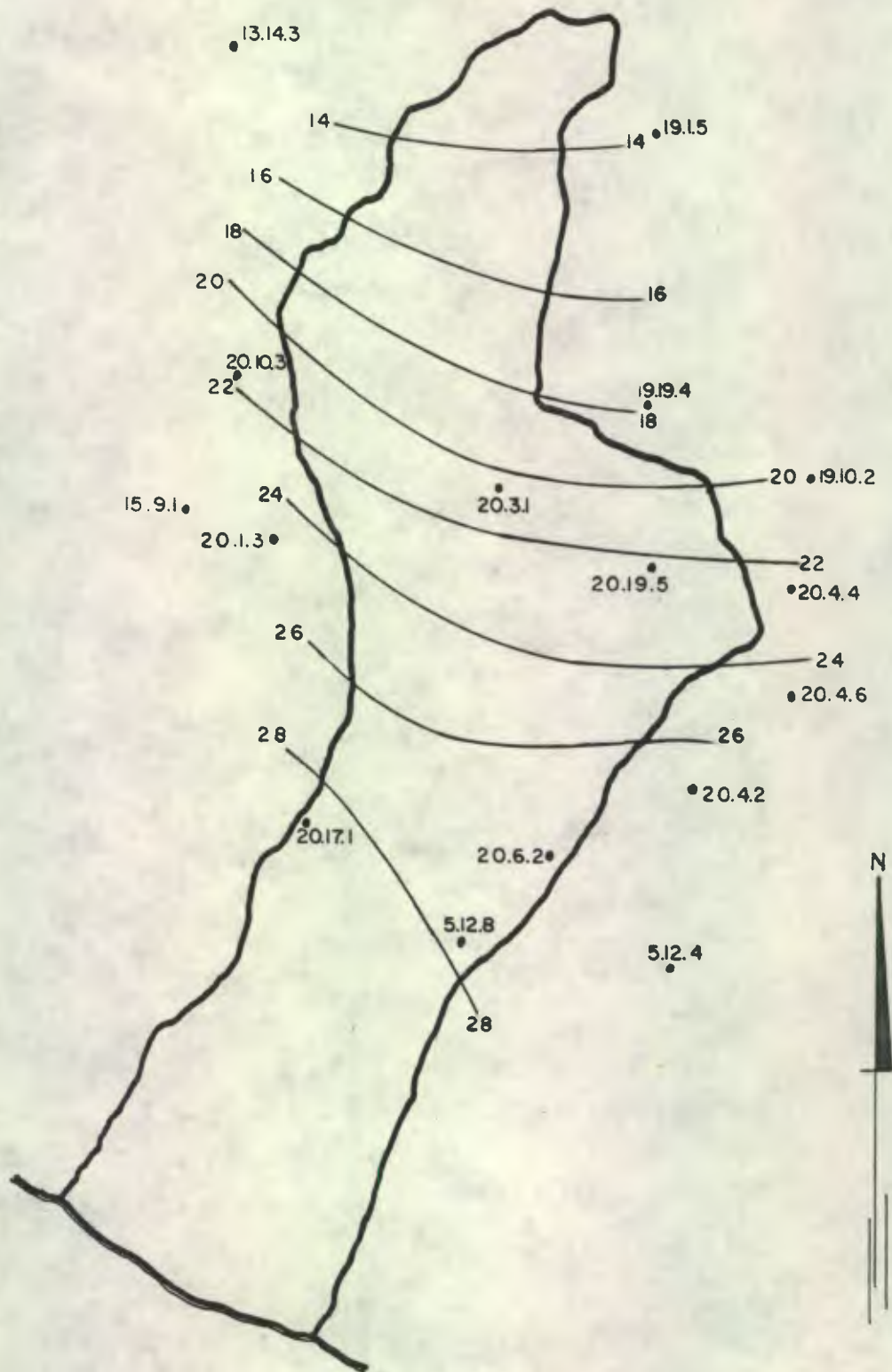
ISOTERMAS MEDIAS
MES MARZO

14°30'

14°00'

91°30'

91°00'



ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS

MES ABRIL



14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS

MES MAYO

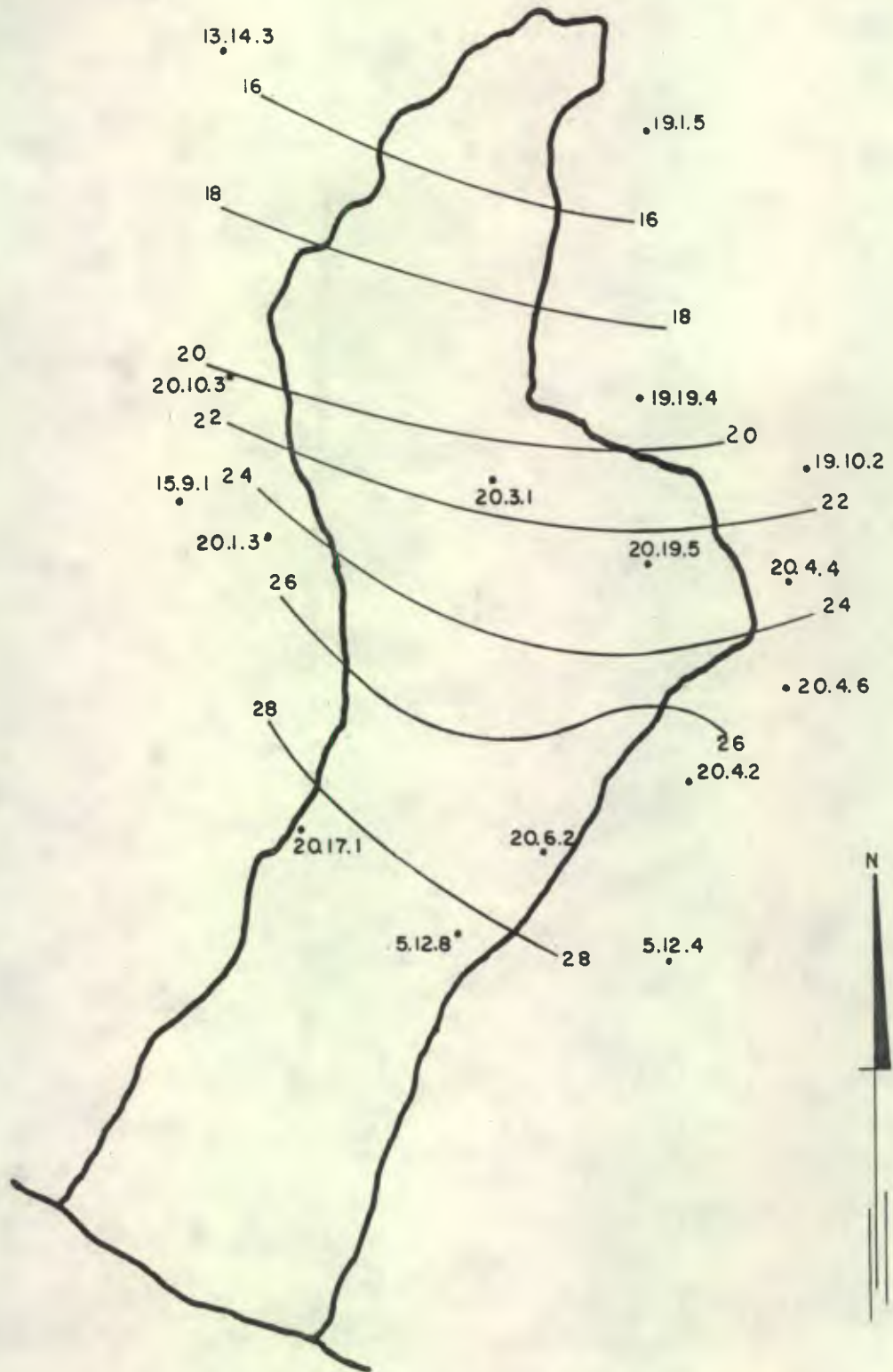
14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20Km
ESCALA

91°30'

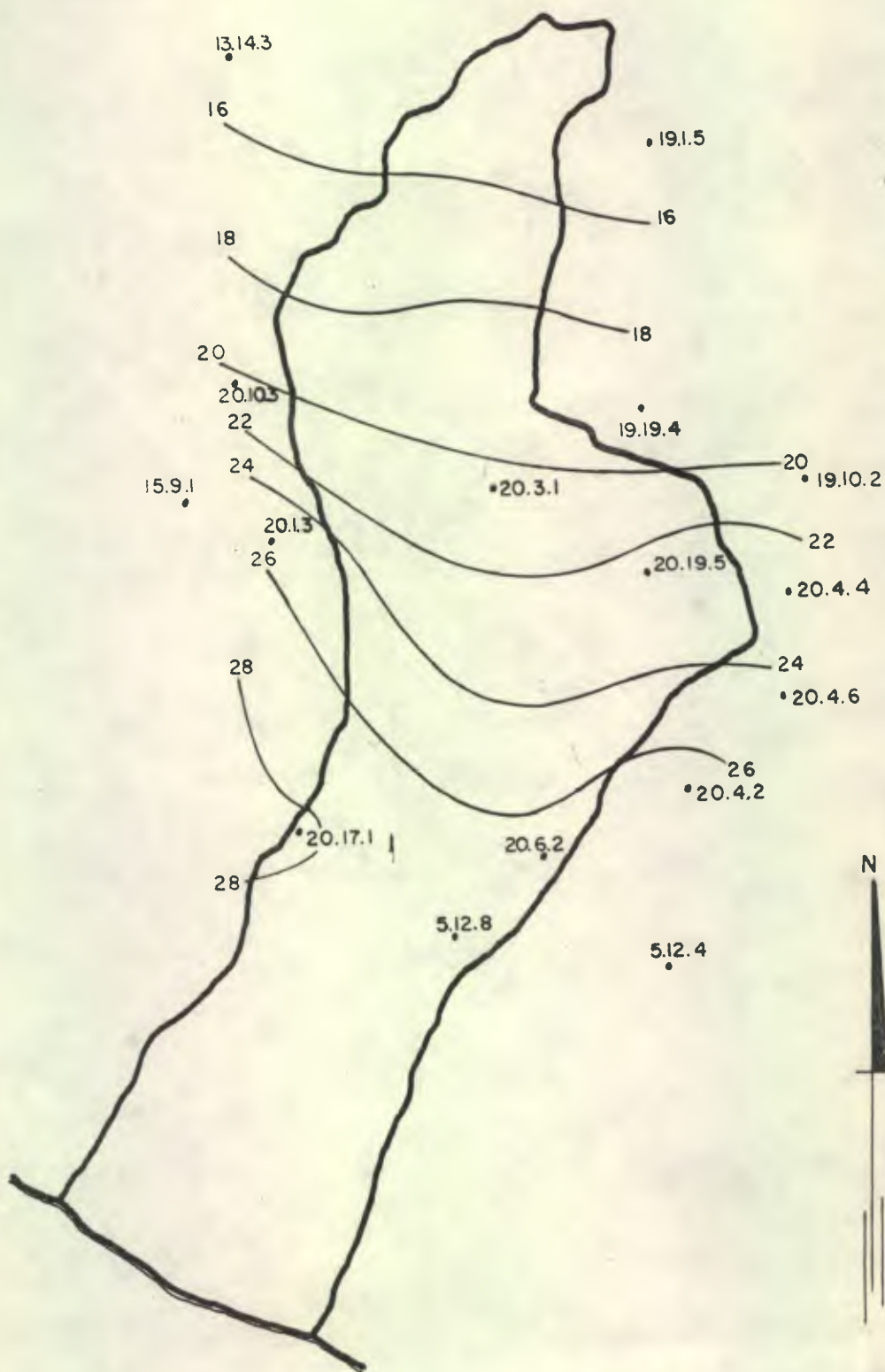
91°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS

MES JUNIO

15°00'



4°30'

4°00'

91°30'

10 0 10 20 Km

ESCALA

91°00'

91°30'

91°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES JULIO

15°00'

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'



10 0 10 20Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES AGOSTO

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



ESCALA 1 : 500,000

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES SEPTIEMBRE

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



ESCALA 10 0 10 20Km

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES OCTUBRE

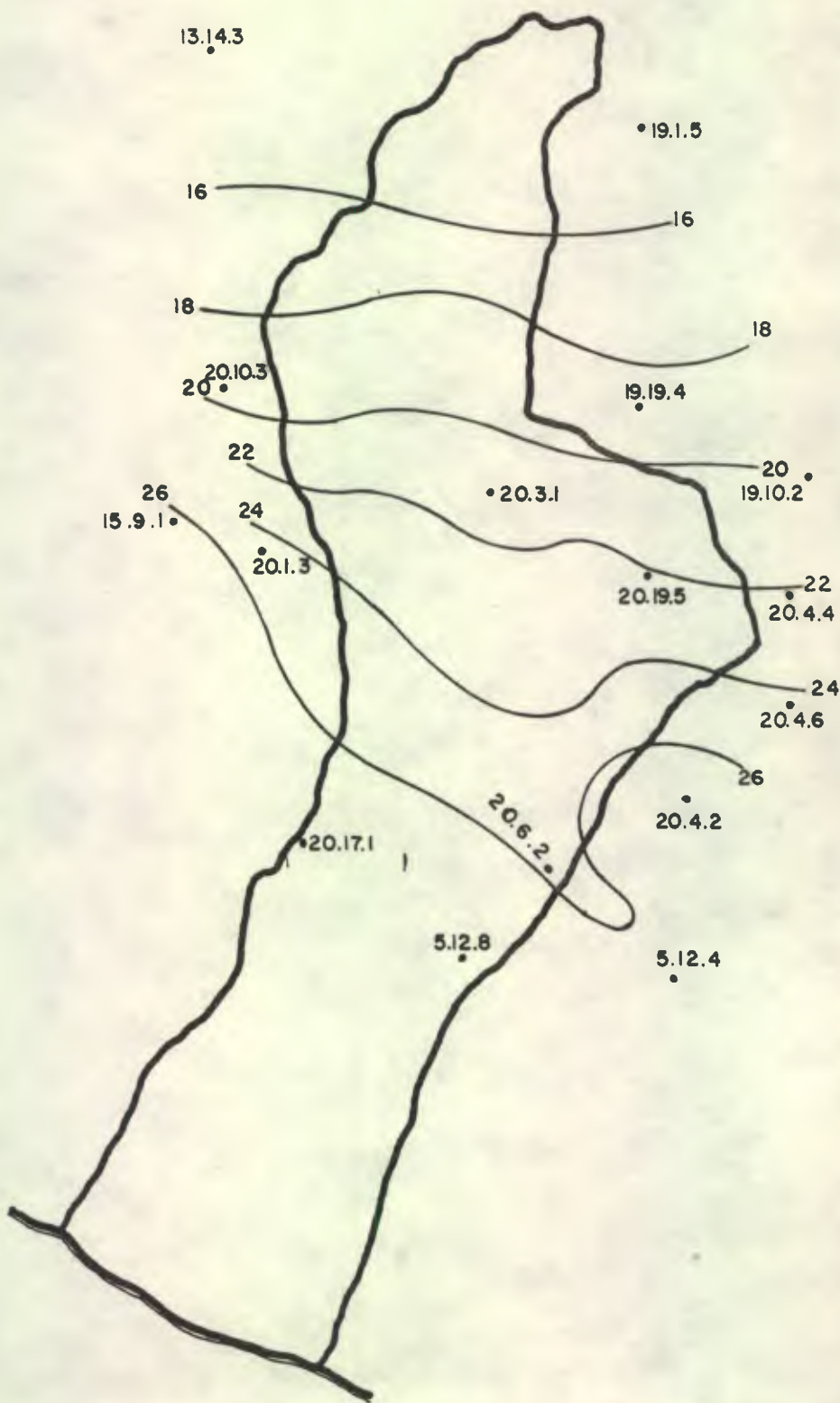
14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES NOVIEMBRE

13.14.3

•19.1.5

16

16

18

18

20.10.3

•19.19.4

20

22

24

26

15.9.1

20.3.1

20

•19.10.2

20.1.3

20.19.5

•20.4.4

22

14°30'

24.20.4.6

26

•20.4.2

•20.17.1

20.6.2

5.12.8

•5.12.4

N

14°00'

14°00'

91°30'

91°00'



91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

ISOTERMAS MEDIAS
MES DICIEMBRE

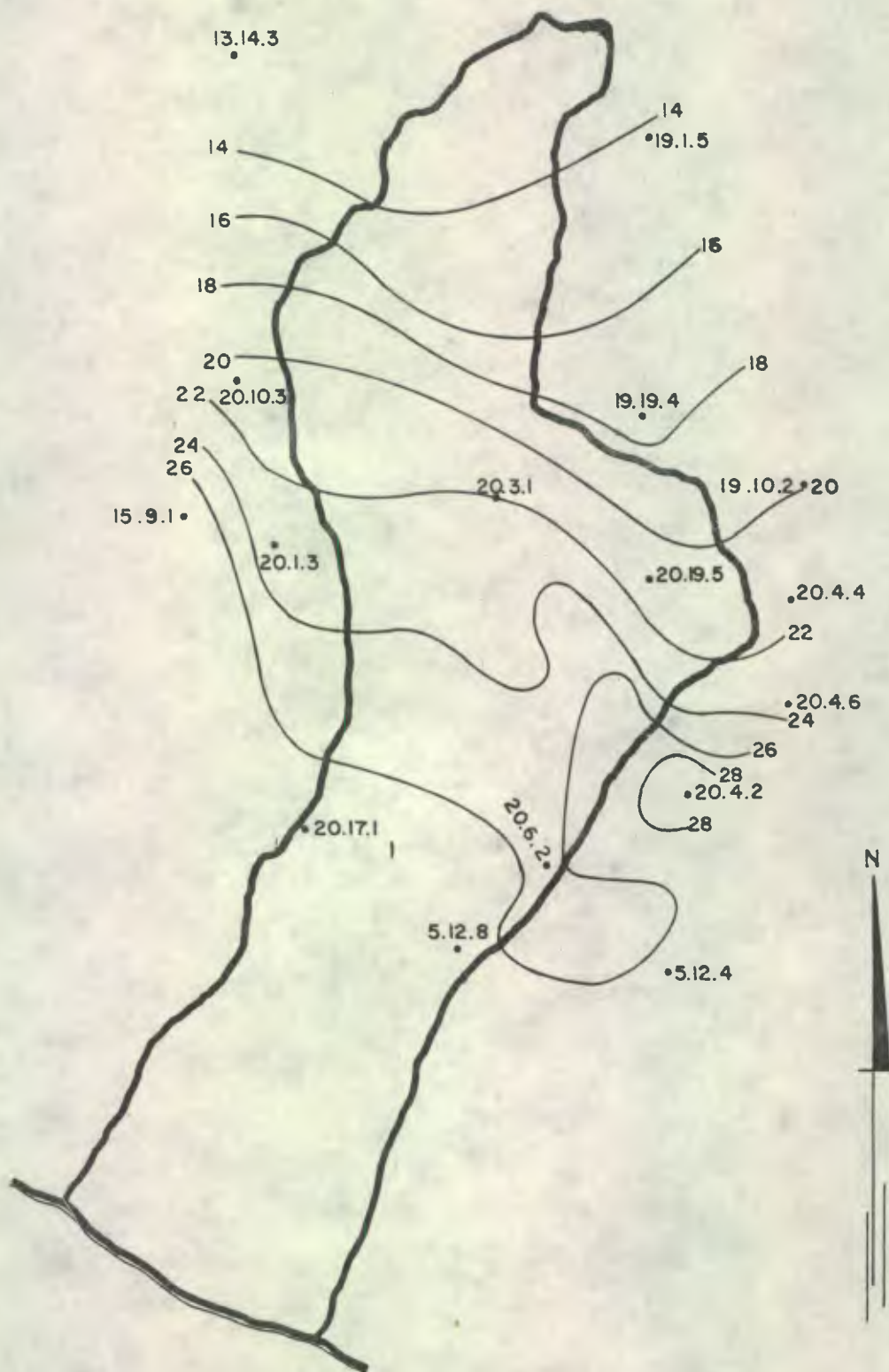
14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20 Km
ESCALA

VIII- ANÁLISIS DE AGUA SUPERFICIAL

Las variaciones en la precipitación y la esorrentía son las que controlan primordialmente el flujo de un río. Las relaciones entre ambas y los métodos para distribuir la esorrentía a través del tiempo, son la base para una predicción eficaz de la operación de proyectos hidráulicos, para la extensión de registros de caudal en ríos con estaciones hidrográficas y para la estimación de caudales en ríos sin estaciones de medida.

A- Componentes de la esorrentía

Aún es incierta la trayectoria seguida por el agua desde el momento en que alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente. Existen tres caminos principales, los que son: "esorrentía superficial", "esorrentía subsuperficial" y "flujo de agua subterránea".

El flujo de agua sobre la tierra o esorrentía superficial, corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta que alcanza un canal.

La esorrentía subsuperficial es la parte de la precipitación que se infiltra a través de la superficie de la tierra y puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente.

La parte o fracción de la precipitación que puede percolarse hasta llegar al nivel freático y descargarse eventualmente en las corrientes si el nivel freático intersecta los cauces de las corrientes, es llamada flujo de agua subterráneo, o flujo base o descarga de estiaje.

B- Agua retenida superficialmente

No toda la cantidad de agua precipitada fluye hacia los ríos en forma de escurrimiento y/o flujo de agua subterráneo; ya que una parte de ésta es retenida en la cuenca hasta ser eliminada por evapotranspiración.

Gran parte de la lluvia precipitada durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como "intercepción" y en las depresiones del terreno como "almacenamiento superficial".

La retención superficial es aquella porción de la precipitación que no aparece como infiltración o como escorrentía superficial durante la tormenta o inmediatamente después de la misma. En otras palabras, la retención superficial incluye la intercepción, el almacenamiento superficial y la evaporación que ocurre durante la tormenta, pero no incluye el agua almacenada temporalmente que se halla en camino hacia los ríos.

C- Infiltración

El paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra se conoce como "infiltración". Aún cuando existe una diferencia con la percolación, que es el movimiento del agua dentro del suelo, los dos fenómenos están relacionados íntimamente, puesto que la infiltración no puede continuar libremente sino cuando la percolación ha removido el agua de las capas superiores del suelo.

D- Escorrentía

Con todos los conceptos anteriores, se puede indicar que escorrentía son los volúmenes de agua que es retenida por varios procesos dentro de una cuenca y que fluye a través de la misma hasta ser eliminada ya sea por evapotranspiración o siendo depositada en los océanos o lagos a través de los cauces.

Para Suárez de Castro (11) la escorrentía es aquella porción de las lluvias que no penetra al perfil del suelo, y fluye hacia los ríos en forma de corriente superficial. En ruta hacia un cauce, el agua se llama escorrentía, y al entrar en dicho cauce se convierte en escurrimiento superficial o agua superficial.

Los volúmenes de escorrentía dependen de una serie de factores (11), entre los que se pueden mencionar:

- la intensidad de los aguaceros
- las características de la vertiente cuya escorrentía es vertida al canal (pendiente, cubierta vegetal, suelo)
- la extensión de la vertiente
- la deficiencia de humedad del suelo al iniciarse la lluvia.

La escorrentía es uno de los factores que influyen en la pérdida de los suelos (erosión hídrica), por lo tanto, se hace necesario el diseño de obras de defensa de los suelos en las áreas de explotación agrícola, las que deben implicar el encauzamiento de aguas de escorrentía (canales, terrazas, acequias de ladera, etc.); y debe tenerse en cuenta que su principal función la desempeñarán en aquellos cortos períodos en que ocurran aguaceros intensos, siendo necesario además, hacer los análisis de escorrentía a efecto de evitar la probabilidad de inundaciones a ciertas regiones con sus terribles consecuencias.

E- Procedimiento para el Análisis de Agua Superficial

El análisis se hizo basado en los registros de 4 estaciones hidrológicas. Se procedió a elaborar un cuadro resumen de caudales medios diarios para cada estación, promediando los caudales diarios de cada año de registro. A continuación se procedió a hacer una distribución de frecuencias tomando como variables los caudales medios diarios, con el propósito de elaborar las Curvas de Duración de Caudales y hacer las respectivas observaciones por estación.

Dichas observaciones son:

- Caudales típicos
- Caudales aguas arriba
- Caudales aguas abajo

- Caudales promedio.

Para la distribución de frecuencias se procedió así: se utilizó la fórmula de Sturges ($N = 1 + 3.3 \log n$) para determinar el número de clases, en dicha fórmula N = número de clases; n = número de datos. Luego se utilizó la fórmula $I = R/N$ para determinar el intervalo de clase, donde I = intervalo de clase, R = rango o amplitud y N = número de clases. Con los elementos anteriores se desarrolló la distribución de frecuencias para cada estación hidrológica. Posteriormente se procedió a la elaboración de las Curvas de Duración de Caudales.

Los datos necesarios para el Análisis de Agua Superficial corresponden a las siguientes estaciones hidrológicas:

- 1- Paquib
- 2- San Mauricio
- 3- San Miguel Mocá
- 4- Montecristo

A continuación se describen los resultados respectivos.

Estación: Paquib Clave: 19.8.1H Municipio: San Juan La Laguna

Departamento: Sololá Latitud: 14°40'56" Longitud: 91°19'42"

Caudales medios diarios en m³/seg de 8 años de registro

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	0.36	0.43	0.45	0.45	0.55	0.78	0.54	0.49	0.36	0.37	0.35	0.36
2	0.36	0.43	0.45	0.44	0.55	0.80	0.54	0.41	0.36	0.37	0.35	0.36
3	0.36	0.43	0.45	0.44	0.54	0.80	0.54	0.48	0.37	0.38	0.35	0.36
4	0.36	0.44	0.46	0.43	0.56	0.80	0.53	0.48	0.36	0.38	0.35	0.36
5	0.36	0.45	0.41	0.43	0.59	0.81	0.52	0.48	0.36	0.37	0.35	0.36
6	0.35	0.46	0.44	0.42	0.61	0.82	0.52	0.47	0.36	0.37	0.36	0.35
7	0.36	0.46	0.43	0.42	0.61	0.81	0.52	0.47	0.35	0.37	0.36	0.35
8	0.36	0.48	0.38	0.42	0.62	0.81	0.51	0.46	0.35	0.37	0.35	0.36
9	0.37	0.49	0.41	0.50	0.54	0.80	0.51	0.47	0.35	0.37	0.35	0.36
10	0.35	0.49	0.41	0.42	0.64	0.80	0.50	0.47	0.35	0.37	0.35	0.36
11	0.35	0.49	0.37	0.42	0.67	0.81	0.49	0.46	0.35	0.37	0.35	0.36
12	0.35	0.51	0.41	0.42	0.66	0.82	0.50	0.46	0.34	0.37	0.35	0.36
13	0.36	0.50	0.41	0.42	0.67	0.82	0.50	0.46	0.34	0.37	0.36	0.36
14	0.36	0.51	0.41	0.42	0.73	0.82	0.50	0.46	0.35	0.37	0.36	0.36
15	0.37	0.51	0.41	0.42	0.72	0.81	0.49	0.45	0.35	0.37	0.36	0.36
16	0.37	0.51	0.40	0.42	0.72	0.81	0.48	0.45	0.35	0.37	0.35	0.36
17	0.37	0.52	0.39	0.42	0.72	0.78	0.48	0.45	0.35	0.37	0.35	0.36
18	0.37	0.52	0.39	0.44	0.72	0.76	0.47	0.44	0.35	0.37	0.35	0.36
19	0.37	0.53	0.39	0.45	0.72	0.74	0.47	0.45	0.35	0.37	0.36	0.35
20	0.44	0.52	0.40	0.45	0.73	0.73	0.47	0.44	0.34	0.37	0.36	0.35
21	0.38	0.52	0.41	0.47	0.73	0.72	0.46	0.45	0.34	0.37	0.36	0.35
22	0.38	0.52	0.41	0.49	0.74	0.71	0.46	0.44	0.34	0.37	0.36	0.35
23	0.38	0.51	0.42	0.51	0.74	0.70	0.46	0.44	0.34	0.37	0.36	0.36
24	0.38	0.51	0.42	0.54	0.75	0.71	0.46	0.44	0.35	0.37	0.36	0.35
25	0.38	0.50	0.43	0.58	0.76	0.67	0.45	0.44	0.35	0.36	0.36	0.35
26	0.39	0.50	0.43	0.58	0.77	0.67	0.45	0.44	0.35	0.36	0.35	0.37
27	0.40	0.50	0.45	0.59	0.79	0.65	0.45	0.44	0.35	0.36	0.35	0.35
28	0.41	0.49	0.45	0.61	0.78	0.64	0.45	0.44	0.35	0.36	0.35	0.35
29	0.41	0.49	0.46	0.64	0.77	0.63	0.45	0.44	0.35		0.35	0.35
30	0.41	0.48	0.46	0.62	0.76	0.62	0.45	0.44	0.35		0.35	0.35
31	0.42		0.47	0.63		0.62		0.44	0.35		0.35	

Caudal Mínimo = $0.34 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Máximo = $0.82 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Rango o Amplitud = $0.82 \text{ m}^3/\text{seg.} - 0.34 \text{ m}^3/\text{seg.} = 0.48 \text{ m}^3/\text{seg.}$

No. de Clases = $1 + 3.3 \log(n) = 1 + 3.3 \log(365) = 9.4555 = 10$

Intervalo de Clase = $\frac{0.48}{10} = 0.05$

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

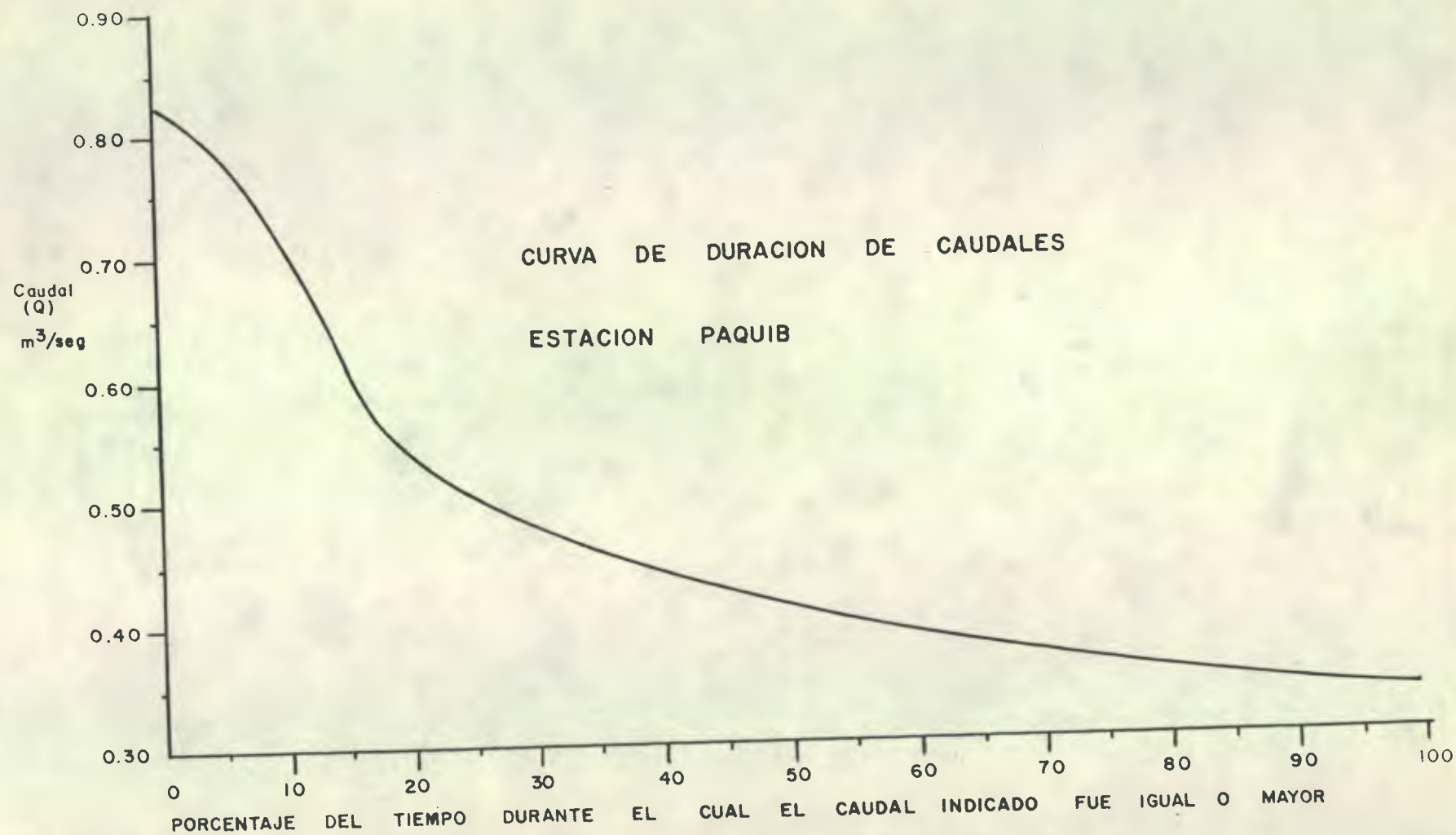
CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA(F)	FRECUENCIA RELATIVA %	FREC. RELATIVA ACUMULADA	$\bar{X}_i$	$F(\bar{X}_i)$
0.33-0.38	146	40.00	100.00	0.36	52.56
0.38-0.43	42	11.51	60.00	0.41	17.22
0.43-0.48	68	18.63	48.49	0.46	31.28
0.48-0.53	37	10.14	29.86	0.51	18.87
0.53-0.58	11	3.01	19.72	0.55	6.05
0.58-0.63	11	3.01	16.71	0.61	6.71
0.63-0.68	9	2.47	13.70	0.66	5.94
0.68-0.73	13	3.56	11.23	0.71	9.23
0.73-0.78	12	3.29	7.67	0.76	9.12
0.78-0.83	16	4.38	4.38	0.81	12.96
	365				169.94

$$\text{FROMEDIO ANUAL} = \frac{\sum F(\bar{X}_i)}{\sum F} = \frac{169.94}{365} = 0.4656$$

FROMEDIO ANUAL = $0.4656 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Promedio Máximo = $1.082 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Promedio Mínimo = $0.398 \text{ m}^3/\text{seg.}$



Estación: San Mauricio Clave: 20.17.1H Municipio: Santo Domingo

Departamento: Suchitepéquez Latitud: 14°14'19" Longitud: 91°26'56"

Caudales medios diarios en m³/seg. de 8 años de registro

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	22.29	75.83	96.56	75.49	135.19	143.96	92.93	40.98	28.08	24.13	20.05	23.31
2	28.73	108.98	104.38	77.30	112.20	155.60	89.81	40.09	27.65	23.94	20.96	17.84
3	24.85	93.97	77.94	73.30	106.55	152.59	89.30	39.70	27.07	23.70	20.11	17.03
4	25.03	85.92	89.36	87.29	133.37	138.34	111.23	39.07	26.69	24.62	19.36	16.90
5	28.03	82.33	77.30	94.01	158.91	133.70	84.80	38.15	25.98	23.16	18.99	16.66
6	30.56	91.05	91.98	83.15	134.51	140.25	82.09	37.59	25.92	23.77	18.93	16.28
7	32.82	105.59	70.34	75.56	123.86	130.91	82.95	37.25	25.56	23.06	20.55	16.40
8	28.34	88.81	73.72	74.18	127.87	144.30	81.34	37.42	28.87	21.55	19.38	16.87
9	30.48	100.87	69.29	72.51	126.78	140.92	83.55	37.13	25.54	21.67	19.40	16.36
10	30.31	90.38	67.00	70.67	139.02	140.18	83.14	36.45	25.13	21.00	21.42	17.15
11	32.41	107.07	78.95	75.84	123.94	129.37	75.58	35.24	25.30	22.39	19.13	17.27
12	31.78	91.87	67.05	77.87	119.36	132.81	80.93	34.22	24.94	20.94	18.89	19.03
13	32.60	97.89	65.44	77.93	125.86	110.53	79.31	33.98	24.44	19.59	20.86	17.29
14	35.82	99.20	83.62	80.09	107.87	112.61	76.16	34.65	23.86	19.92	18.73	16.66
15	34.36	97.32	67.13	72.90	101.55	109.17	73.29	33.54	24.47	20.00	18.09	16.99
16	32.16	95.18	60.41	74.09	107.33	115.16	69.25	33.38	23.46	19.87	18.40	19.38
17	34.44	97.65	73.60	73.73	111.14	112.73	76.92	32.02	23.10	19.96	17.84	20.34
18	39.31	93.29	66.95	71.79	114.36	102.69	66.47	31.53	22.87	19.59	17.47	17.09
19	36.56	103.76	63.28	91.15	111.84	110.47	64.32	31.37	24.58	19.08	17.18	17.53
20	36.24	113.11	77.11	94.62	138.44	119.70	63.40	31.28	24.93	20.75	17.23	20.20
21	50.15	108.71	78.72	84.91	157.55	142.33	57.84	30.95	22.56	21.36	17.21	27.14
22	58.88	118.33	83.02	85.00	142.34	143.48	55.71	30.70	22.07	20.97	17.81	21.99
23	66.99	110.38	99.41	81.20	146.07	125.79	55.90	31.73	23.38	20.58	17.26	19.69
24	50.75	106.17	89.99	90.07	128.28	128.59	56.12	30.52	23.60	20.60	16.93	21.06
25	65.62	110.30	95.65	105.86	125.93	128.14	57.13	31.12	22.23	20.26	16.82	21.74
26	70.74	115.01	92.08	106.32	130.10	107.68	56.11	30.87	21.99	20.05	16.15	22.08
27	81.70	104.62	85.46	96.79	127.37	113.41	51.40	32.57	24.05	20.29	15.94	20.03
28	64.12	99.94	73.16	108.46	135.24	106.15	50.39	29.85	23.93	20.32	15.92	22.45
29	77.64	93.70	76.63	97.03	138.23	95.60	47.02	29.05	24.02		16.01	24.08
30	75.08	101.82	77.10	98.84	140.12	95.82	46.55	28.65	23.42		18.33	23.84
31	79.14		70.53	125.27		100.43		29.31	23.25		17.09	

Caudal Mínimo = $15.92 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Máximo = $158.91 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Rango o Amplitud = $158.91 \text{ m}^3/\text{seg.} - 15.92 \text{ m}^3/\text{seg.} = 142.99 \text{ m}^3/\text{seg.}$

No. de Clases = $1 + 3.3 \log(n) = 1 + 3.3 \log(365) = 9.4555 = 10$

Intervalo de Clase = $\frac{142.99}{10} = 14.229 = 15$

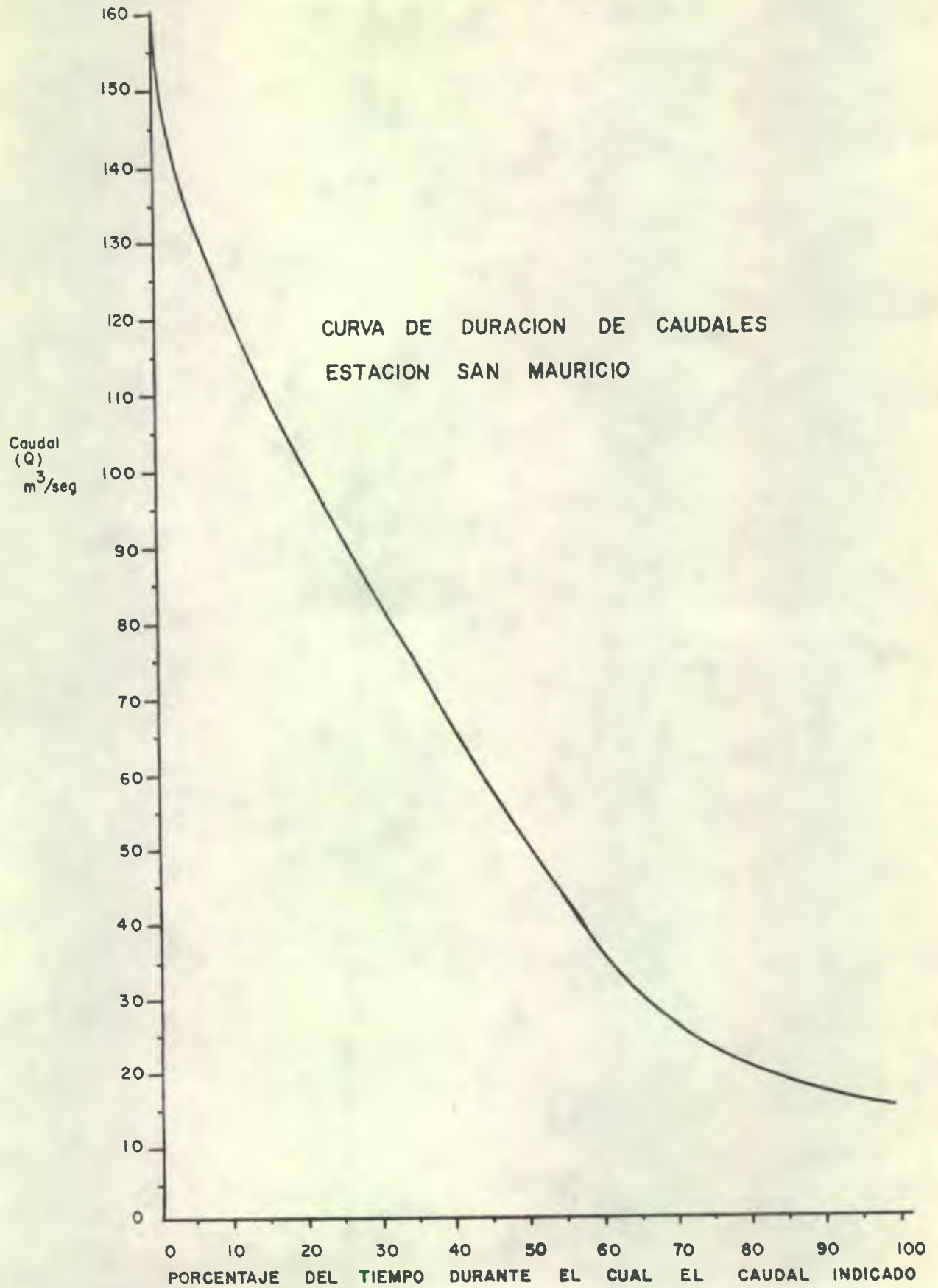
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA(F)	FRECUENCIA RELATIVA %	FREC. RELATIVA ACUMULADA	$\bar{X}_i$	F($\bar{X}_i$)
15-30	130	35.62	100.00	22.5	2925.0
30-45	41	11.23	64.38	37.5	1537.5
45-60	13	3.56	53.15	52.5	682.5
60-75	30	8.22	49.59	67.5	2025.0
75-90	45	12.33	41.37	82.5	3712.5
90-105	35	9.59	29.04	97.5	3412.5
105-120	32	8.77	19.45	112.5	3600.0
120-135	19	5.20	10.68	127.5	2422.5
135-150	16	4.38	5.48	142.5	2280.0
150-165	4	1.10	1.10	157.5	630.0
	365				23227.5

Promedio Anual = $\frac{\sum F(\bar{X}_i)}{\sum F} = \frac{23,227.5}{365} = 63.64 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal promedio máximo = $281.07 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal promedio mínimo = $10.33 \text{ m}^3/\text{seg.}$



Estación: San Miguel Moca Clave: 20.11.1H Municipio: San José El Idolo

Departamento: Suchitepéquez Latitud: 14°27'32" Longitud: 91°22'27"

Caudales medios diarios en m³/seg. de 8 años de registro

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MARZ	ABR
1	12.34	47.95	45.36	52.00	82.11	92.41	45.14	22.63	15.26	9.61	8.57	9.22
2	12.27	37.85	45.17	56.65	68.81	89.75	42.23	22.30	14.32	9.70	8.62	9.66
3	10.96	56.88	41.40	55.05	70.23	79.39	47.22	24.57	13.18	10.2	8.33	8.71
4	12.25	40.77	39.38	65.12	88.23	72.10	42.21	21.49	12.81	9.67	8.32	7.89
5	12.40	37.59	36.69	57.51	102.00	72.40	44.25	21.20	12.45	9.39	8.27	7.61
6	13.36	40.79	34.70	54.92	83.47	69.66	36.83	21.14	12.42	9.44	8.16	7.76
7	14.38	44.04	35.91	59.30	87.92	75.04	39.51	22.72	12.89	9.49	8.21	7.89
8	16.90	52.66	38.53	67.57	138.46	78.73	36.93	21.16	12.83	9.67	8.22	7.62
9	16.15	50.02	35.44	69.42	167.38	77.45	38.15	20.96	12.98	9.41	9.06	8.46
10	17.22	51.05	35.31	65.99	136.11	66.52	33.47	20.42	14.43	9.33	8.47	8.74
11	15.95	46.12	32.90	77.52	74.03	62.00	36.81	19.79	12.30	9.21	8.00	8.05
12	13.48	42.27	33.50	56.27	85.75	69.40	34.69	19.48	11.95	9.31	8.42	8.81
13	15.50	59.34	35.40	39.95	75.27	66.06	34.10	19.37	11.65	9.01	7.78	7.51
14	14.24	39.39	32.88	38.83	76.25	66.10	34.70	19.78	10.08	8.96	8.11	7.30
15	12.73	33.96	31.56	37.88	53.82	62.18	33.81	18.69	11.48	8.94	7.89	8.67
16	13.43	35.46	33.19	41.19	70.81	64.86	36.52	18.46	11.00	8.62	7.82	10.02
17	14.14	37.94	37.86	41.28	84.83	64.83	38.36	18.12	10.85	8.42	7.62	9.95
18	16.69	38.82	37.04	38.03	184.59	56.83	32.98	18.08	11.40	8.46	7.58	8.54
19	14.72	42.32	36.14	43.96	218.92	65.85	32.82	18.85	11.72	8.38	7.61	8.70
20	15.14	38.57	34.15	43.41	158.39	59.83	31.19	18.09	10.73	8.42	7.41	8.53
21	21.73	67.30	52.30	42.67	166.56	60.16	29.22	18.08	10.44	8.47	7.47	10.11
22	23.07	58.54	55.29	37.03	121.16	61.27	26.91	18.46	8.42	8.43	7.52	9.13
23	26.90	55.25	61.71	35.83	127.17	57.33	25.59	14.30	10.53	8.45	7.46	9.48
24	23.30	49.78	51.66	38.54	90.85	65.19	28.16	17.60	10.78	6.67	7.36	9.62
25	29.49	52.92	54.98	82.31	92.70	57.64	31.19	17.06	10.04	8.24	7.40	9.08
26	28.30	59.51	51.45	52.37	102.76	58.52	29.39	17.46	9.67	8.08	7.52	8.90
27	26.54	48.76	47.32	53.75	90.22	59.32	26.65	17.49	9.62	8.16	7.89	9.13
28	24.73	43.30	52.26	57.90	73.98	58.60	24.60	13.35	9.75	8.21	7.62	9.94
29	30.05	44.73	53.63	61.33	84.76	50.04	23.38	16.44	9.72		8.11	11.01
30	29.27	47.23	52.96	145.47	96.42	56.27	22.75	16.29	9.50		8.07	10.87
31	42.87		53.73	89.99		48.76		16.48	9.44		8.99	

Caudal Mínimo = $6.67 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Máximo = $218.92 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Rango o Amplitud = $218.92 \text{ m}^3/\text{seg.} - 6.67 \text{ m}^3/\text{seg.} = 212.25 \text{ m}^3/\text{seg.}$

No. de Clases = $1 + 3.3 \log(n) = 1 + 3.3 \log(365) = 9.4555 = 10$

Intervalo de Clase = $\frac{212.25}{10} = 21.23 = 22$

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

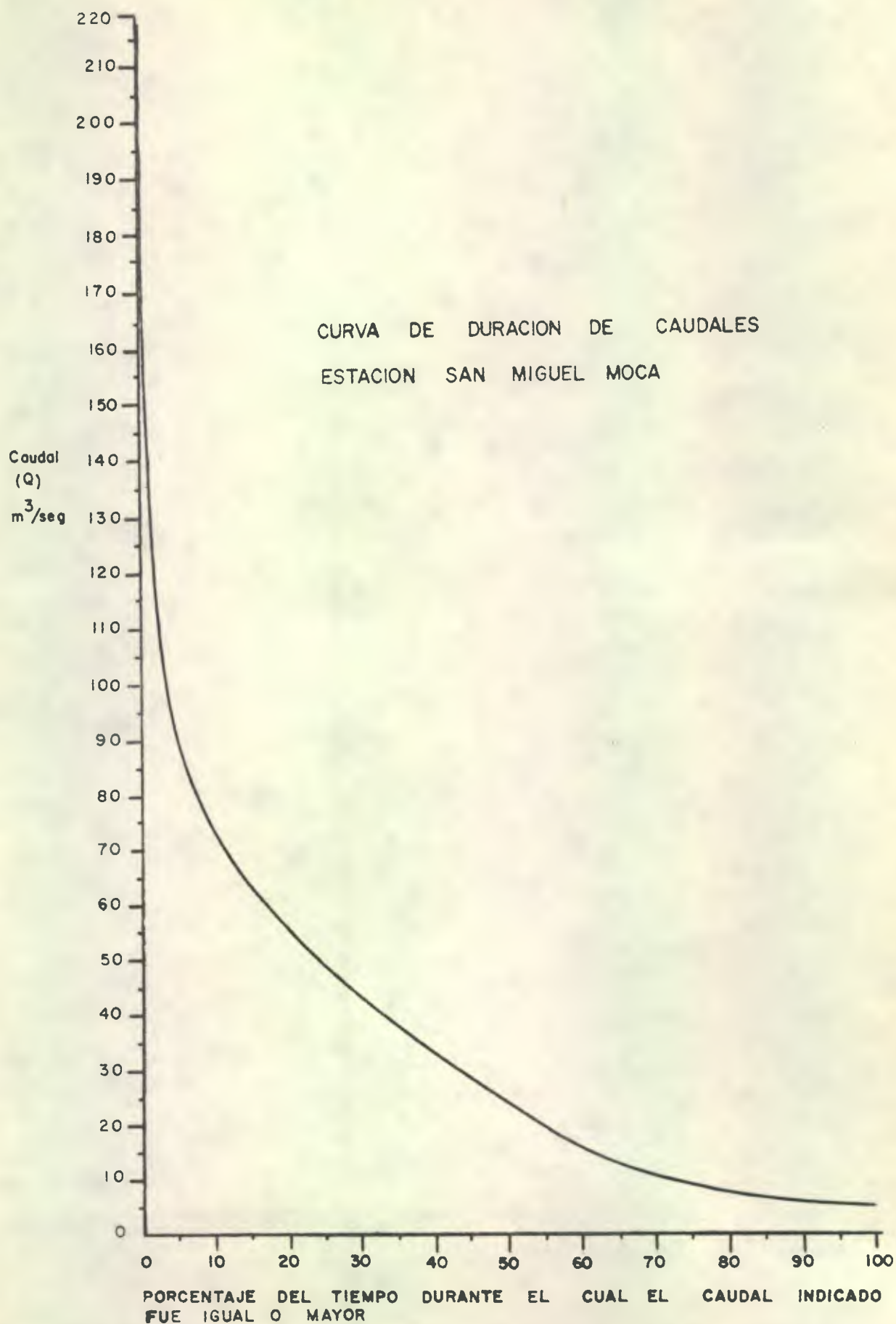
CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA(F)	FRECUENCIA RELATIVA %	FREC. RELATIVA ACUMULADA	$\bar{X}_i$	$F(\bar{X}_i)$
0-22	168	46.03	100.00	11	1848.0
22-44	82	22.47	53.97	33	2706.0
44-66	65	17.81	31.50	55	3575.0
66-88	30	8.22	13.69	77	2310.0
88-110	10	2.74	5.47	99	990.0
110-132	2	0.55	2.73	121	242.0
132-154	3	0.82	2.18	143	429.0
154-176	3	0.82	1.36	165	495.0
176-198	1	0.27	0.54	187	187.0
198-220	1	0.27	0.27	209	209.0
	365				12991.0

$$\text{PROMEDIO ANUAL} = \frac{\sum F(\bar{X}_i)}{\sum F} = \frac{12,991.0}{365} = 35.59 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{PROMEDIO ANUAL} = 35.59 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Caudal Promedio Máximo} = 355.29 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Caudal Promedio Mínimo} = 6.65 \text{ m}^3/\text{seg.}$$



Estación: Montecristo

Clave: 20.3.1H

Municipio: Chicacao

Departamento: Suchitepéquez

Latitud: 14°28'46"

Longitud: 91°21'31"

Caudales medios diarios en m³/seg. de 8 años de registro

DIA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	3.17	15.82	19.22	12.40	26.09	32.91	14.38	6.29	4.45	3.15	2.74	2.87
2	3.46	15.11	25.75	13.30	21.13	33.34	13.79	6.20	4.46	3.14	2.59	2.80
3	2.86	17.13	14.64	12.79	19.56	27.12	13.43	6.08	4.43	3.09	2.45	2.98
4	4.57	14.85	12.64	14.95	23.74	22.34	13.29	5.93	4.27	3.06	2.46	2.49
5	4.01	15.43	11.85	13.39	30.02	26.04	12.12	6.06	4.28	3.02	2.49	2.52
6	5.80	13.57	13.42	13.12	26.36	23.34	13.61	5.89	4.17	3.03	2.62	2.39
7	4.60	14.23	18.42	11.66	27.85	23.61	13.22	5.70	4.69	3.04	2.55	2.33
8	6.10	18.00	14.19	13.09	31.04	25.24	12.08	5.77	4.29	3.21	2.58	2.42
9	6.15	17.89	12.61	18.19	38.09	27.45	12.14	5.65	4.15	3.18	2.80	2.53
10	7.04	24.28	16.20	15.59	39.06	20.90	10.65	5.50	4.20	2.95	2.51	2.50
11	7.20	17.87	11.52	14.01	40.00	21.03	9.90	5.41	4.14	3.00	2.49	2.42
12	4.41	16.18	9.28	15.04	45.32	20.05	10.27	5.31	4.00	2.97	2.73	2.65
13	4.71	21.16	13.92	16.21	34.16	22.09	10.33	5.72	3.93	2.90	2.70	2.39
14	4.29	18.20	12.33	15.93	40.66	22.63	10.87	5.73	4.04	2.87	2.66	2.33
15	4.01	21.78	10.37	12.91	25.98	19.13	10.71	5.25	3.85	2.90	2.50	2.31
16	4.11	20.04	9.94	15.46	24.94	19.46	10.79	5.15	3.75	2.75	2.47	4.20
17	4.17	17.27	11.85	13.35	46.15	19.99	10.64	5.10	3.71	2.82	2.42	3.89
18	4.88	17.92	10.67	12.73	34.59	18.83	10.90	5.43	4.08	2.84	2.39	2.67
19	5.50	24.46	12.32	29.76	33.95	18.29	10.41	4.64	3.93	2.75	2.38	2.97
20	5.30	24.91	20.54	18.42	36.79	18.56	8.95	5.45	3.71	2.69	2.40	3.26
21	11.51	22.00	20.37	14.43	42.85	18.73	8.22	5.02	3.71	2.56	2.39	3.02
22	14.29	22.35	69.22	12.93	30.00	17.47	8.06	5.09	3.54	2.58	2.52	2.66
23	8.60	19.06	29.02	12.94	31.39	18.87	7.91	4.97	3.65	2.51	2.51	2.97
24	10.0	18.60	30.19	13.29	33.72	22.15	9.08	4.75	3.57	2.52	2.34	2.69
25	16.08	20.04	21.63	21.35	27.43	18.46	9.17	4.65	3.44	2.49	2.39	2.98
26	13.21	22.30	18.01	17.68	29.65	18.86	8.76	5.05	3.36	2.48	2.34	2.97
27	12.17	15.78	15.62	17.91	33.24	26.09	7.77	4.67	3.34	2.52	2.51	2.89
28	9.72	14.01	14.75	21.98	37.65	18.22	7.13	4.77	3.30	2.52	2.42	2.69
29	9.45	13.23	14.86	25.64	32.44	14.41	6.66	4.51	3.26		2.74	3.28
30	9.63	15.18	13.18	30.89	40.08	16.27	6.51	4.56	3.23		2.82	3.35
31	10.43		13.11	36.63		14.22		4.59	3.20		2.82	

Caudal Mínimo = $2.31 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal Máximo = $69.22 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Rango o Amplitud = $69.22 \text{ m}^3/\text{seg.} - 2.31 \text{ m}^3/\text{seg.} = 66.91 \text{ m}^3/\text{seg.}$

No. de Clases = $1 + 3.3 \log(n) = 1 + 3.3 \log(365) = 9.4555 = 10$

Intervalo de Clase = $\frac{66.91}{10} = 6.69 = 7$

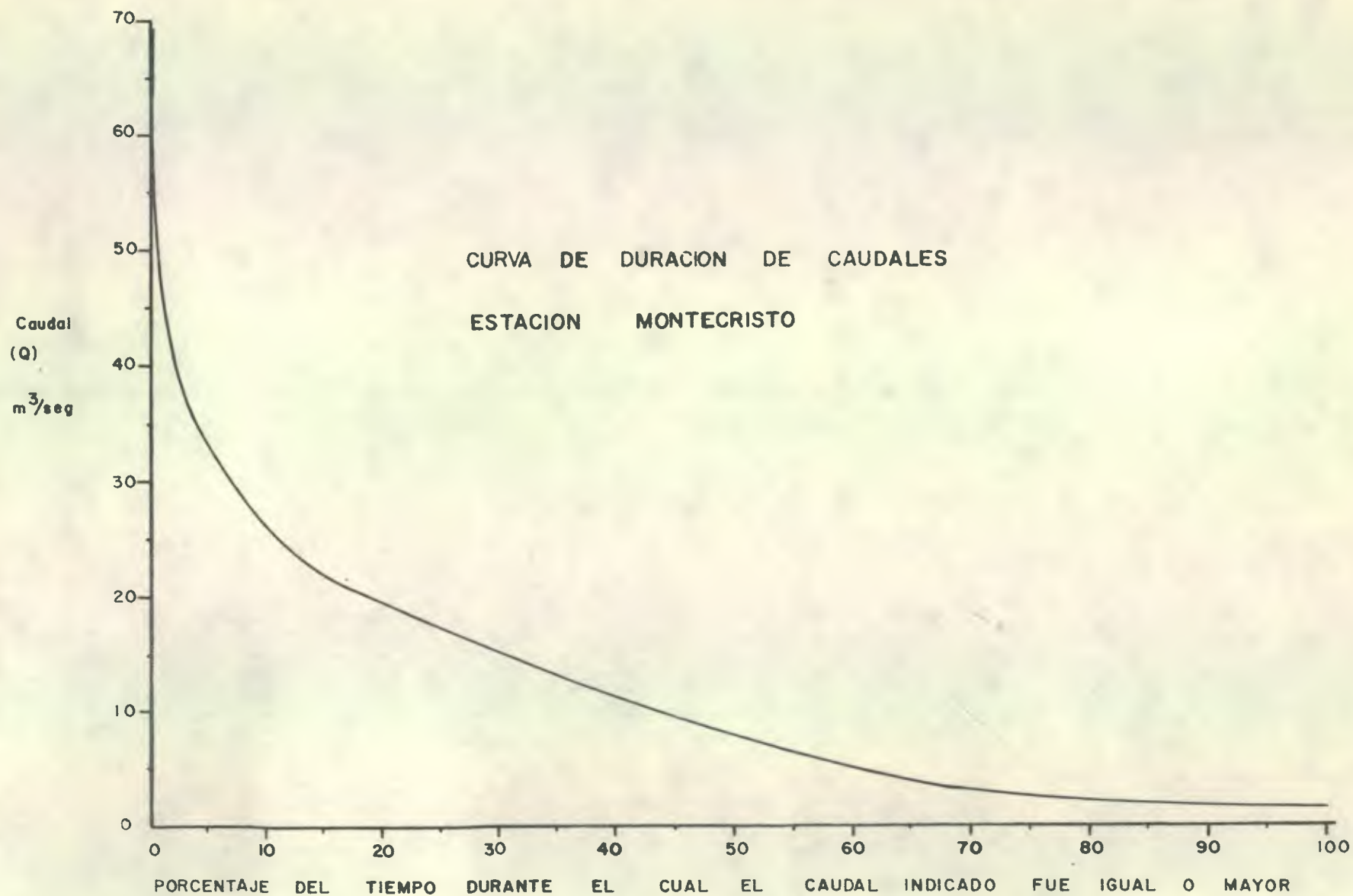
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA(F)	FRECUENCIA RELATIVA %	FREC. RELATIVA ACUMULADA	$\bar{X}_1$	$F(\bar{X}_1)$
2-9	181	49.59	100.00	5.5	995.5
9-16	83	22.74	50.41	12.5	1037.5
16-23	53	14.52	27.67	19.5	1035.5
23-30	23	6.30	13.15	26.5	609.5
30-37	15	4.11	6.85	33.5	502.5
37-44	7	1.92	2.74	40.5	283.5
44-51	2	0.55	0.82	47.5	95.0
51-58	0	0.00	0.27	54.5	00.0
58-65	0	0.00	0.27	61.5	00.0
65-72	1	0.27	0.27	68.5	68.5
	365				4625.5

Promedio anual = $\frac{\sum F(\bar{X}_1)}{\sum F} = \frac{4,625.5}{10} = 12.67 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal promedio máximo = $111.26 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Caudal promedio mínimo = $1.73 \text{ m}^3/\text{seg.}$



IX- EVAPOTRANSPIRACION

A- Evaporación

La evaporación se verifica en primer término a partir del agua de lluvia que cubre las hojas, los tallos y las ramas de las plantas, o que escurre sobre la superficie del suelo antes de infiltrarse o de unirse a otras corrientes; también el agua se evapora a partir de las superficies de agua, estancadas o corrientes.

Para los hidrólogos evaporación es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso específicamente físico (7).

A.1 Factores que influyen en la evaporación

Los factores que condicionan la tasa de evaporación pueden ser agrupados en dos categorías, según que sean propios de factores meteorológicos o bien de la naturaleza de la superficie evaporante. Así tenemos:

- factores meteorológicos: aquí están la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura del aire y la presión barométrica.
- factores de la superficie evaporante: aquí entre otros tenemos a la disponibilidad de agua y a la salinidad de la misma.

A.2 Medición de la evaporación

Han sido desarrollados una serie de instrumentos así como de fórmulas para determinar la tasa de evaporación. En nuestro medio los instrumentos más usados son el tanque de evaporación y el evaporímetro de piché; siendo el primero de ellos sin lugar a dudas el instrumento de evaporación con mayor uso en la actualidad.

B- Transpiración

La transpiración es un tipo de evaporación biológica a través del cual son evaporadas grandes cantidades de agua que previamente las plantas con sus

raíces extraen de la profundidad del suelo para su desarrollo y supervivencia.

Del agua que es absorbida por el sistema radicular de una planta, sólo una parte minúscula de la misma permanece en los tejidos de la planta; virtualmente, toda el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor, debido a la transpiración.

B.1 Factores que influyen en la transpiración

La transpiración es función del poder evaporante de la atmósfera, y por consiguiente, de la temperatura, de la tasa de humedad del aire, de la velocidad del viento y la insolación. Estos factores actúan sobre la intensidad de la transpiración por su influencia sobre la abertura de los estomas. Otros factores que influyen son el tipo de planta, la edad y desarrollo de la misma.

B.2 Medición de la transpiración

Como no es posible medir las pérdidas por transpiración para un área apreciable en condiciones naturales, la determinación de la transpiración está restringida a estudios de muestras pequeñas en condiciones de laboratorio.

Los procedimientos de medida de la transpiración pueden ser clasificados en tres grupos:

- los basados en la medida directa del vapor de agua transpirado.
- los basados en la medida del cambio de peso de la planta y del terreno.
- los basados en la medida de la cantidad de agua necesaria para la alimentación de la planta y de su transpiración.

C- Evapotranspiración

El término evapotranspiración (evaporación + transpiración) abarca la fase del ciclo hidrológico en la cual el agua que llega a la superficie terrestre retorna a la atmósfera en forma de vapor, considerando la acción de la cobertura vegetal.

Para Linsley et al (7) la evapotranspiración abarca la evaporación de superficies de agua, suelo, nieve y hielo y de cualquier otra superficie, más la transpiración de las plantas.

Suponiendo que cualquier reducción en evapotranspiración debida a una deficiencia de la humedad del suelo es independiente de las condiciones meteorológicas, el concepto de evapotranspiración potencial introducido por Thornthwaite es de uso común. Este autor definió la evapotranspiración potencial como la cantidad de agua que se evapora de las superficies de agua y del suelo húmedo más aquella transpiración de las plantas y la usada para su crecimiento, constituyendo la pérdida de humedad que ocurriría si no existieran deficiencias de agua (2).

Penman (7) sugirió que la definición original se debía modificar para introducir la condición de que la superficie estuviera totalmente cubierta por vegetación verde.

Esta modificación es en general satisfactoria, pero no tiene sentido durante el invierno a grandes latitudes.

La evapotranspiración definida por Thornthwaite, se aproxima a la evaporación de agua libre siempre y cuando haya cobertura vegetal completa y que los efectos de los factores meteorológicos en las dos superficies sean lo suficientemente parecidos para que se conviertan de la misma manera en evapotranspiración efectiva.

Existen numerosos enfoques para estimar éste parámetro, ninguno de los cuales se puede aplicar generalmente a todos los propósitos. El tipo de datos necesarios dependen del uso que se persiga. En algunos estudios hidrológicos se necesita la evapotranspiración media de la cuenca, mientras que en otros casos hay interés en el uso del agua por una plantación particular o en el cambio

del contenido de la misma.

C.1 Medición de la Evapotranspiración

La evapotranspiración puede medirse con un buen grado de precisión por una diversidad de métodos que pueden clasificarse en 2 grandes grupos :métodos directos e indirectos (2).

- Métodos Directos Como su nombre lo indica, mediante éstos métodos se obtienen directamente los valores de evapotranspiración, ya que no requieren de variables climáticas para aplicarlos; por lo que no es necesario contar con series de estadísticas meteorológicas provenientes de estaciones con alto grado de confiabilidad. Casi todos éstos métodos no son factibles de aplicarlos en condiciones naturales en el campo, por lo que su aplicación es casi exclusivamente a nivel de laboratorio.

Los lisímetros son aparatos para estimar directamente la evapotranspiración en las condiciones naturales del campo, y éstos no son más que un depósito enterrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno de terreno cultivado. La superficie del suelo está así sometida a los agentes atmosféricos y recibe las precipitaciones naturales o riego; y determina la evapotranspiración mediante el cambio en peso al evapotranspirarse el agua, ya que cuentan con una balanza en la parte inferior.

- Métodos Indirectos Estos métodos requieren para su cálculo de variables climáticas, que deben provenir de estaciones con alto grado de confiabilidad.

Algunos de estos métodos si son factibles de aplicar en las condiciones naturales del campo, mientras que otros pueden ser aplicados únicamente conociendo el valor de ciertas variables climáticas; los cálculos se hacen en gabinete. Como consecuencia de lo anterior, se considera necesario el detalle en particular únicamente de los métodos indirectos para la estimación de la e-

vapotranspiración.

Son varios los métodos indirectos, pero no se describirán todos, sino sólo los más comunmente empleados; así tenemos:

a- Método de Penman: Penman ha combinado la ecuación del balance de energía con la ecuación aerodinámica que permite calcular la evaporación de una superficie libre de agua siendo por lo tanto un procedimiento que tiene como base la radiación neta. Según Penman:

$$E = \frac{A R_n + r E_a}{A + r}$$

donde: A = es la pendiente de la curva de tensión de vapor versus temperatura.

R_n = es la radiación neta en mm/día

r = constante psicrométrica; $r = 0.27 \text{ Hg}/^{\circ}\text{F}$
 $r = 0.49 \text{ Hg}/^{\circ}\text{C}$

E_a = es el poder evaporante de la atmósfera en mm/día.

La radiación, R_n , es la diferencia entre la radiación recibida y la emitida.

Para calcular la radiación recibida, R_r , Penman obtuvo para el sur de Inglaterra la siguiente ecuación: $R_r = R(1-r)(0.18 + 0.55 n/N)$

Donde: R = radiación teórica en ausencia de atmósfera en mm/día.
r = coeficiente de reflexión o albedo.
n/N = fracción de insolación.

La radiación emitida, R_e , en cambio es:

$$R_e = G T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 n/N)$$

donde: G = constante de Stefan-Boltzmann
 T_a = temperatura absoluta en grados Kelvin
 e_a = presión de vapor del aire en mm de Hg

Para pasar la evaporación de una superficie libre de agua a evapotranspiración potencial, Penman utiliza un factor reductor F, cuyos valores oscilan desde 0.6 para los meses invernales a 0.8 para los meses de verano.

b- Método de Blaney y Criddle: Este método se estableció en 1950 y fue desa-

arrollado para las condiciones del oeste de Estados Unidos relacionando valores reales de uso consuntivo con la temperatura media mensual y el porcentaje mensual de horas luz: siendo imprescindible además trabajar con un cultivo en particular.

c- Método de Turc: Este autor propuso su fórmula en 1953, y usa los factores temperatura, radiación solar y humedad relativa.

Propuso las dos fórmulas siguientes:

$$E = 0.013 \frac{t}{t + 15} (R_g + 50) \quad \text{Para lugares con humedad relativa superior a 50\%}$$

$$E = 0.013 \frac{t}{t + 15} (R_g + 50) \left(1 + \frac{50 - Hr}{70} \right) \quad \text{Para lugares con humedad relativa media inferior a 50\%}$$

$$\text{La radiación global, } R_g, \text{ es: } R_g = R_{la} \left(0.18 + 0.62 \frac{i}{I} \right)$$

Donde: R_{la} = radiación que llega al límite de la atmósfera según la latitud y estación astronómica

i = número de horas sol libre de nubes, medido en heliógrafo

I = duración teórica del día

t = temperatura media mensual bajo abrigo

d- Método de Jensen y Haise: El procedimiento de Jensen y Haise ha sido desarrollado para estimar la evapotranspiración que se produce en períodos de una semana en función de los registros de radiación solar para diferentes cultivos. La fórmula expresa: $E_t = (E_t/R_s)_m R_s$

Donde: $(E_t/R_s)_m$ = es el valor promedio de la relación correspondiente a un período específico adimensional

R_s = es la radiación solar promedio del período correspondiente expresada en altura equivalente de agua evaporada en mm/día.

e- Método de Thornthwaite: Thornthwaite en 1948 presentó una fórmula para estimar la evapotranspiración potencial basado en lisímetro y observaciones de los límites de agua perdidos en centro y este de Estados Unidos. Este método se ha vuelto popular en todo el mundo, parte de esa popularidad es debido a

que solamente requiere registros de Temperaturas medias y de la latitud en que se encuentran ubicada las estaciones meteorológicas o un área específica.

La fórmula de Thornthwaite es la siguiente:

$$E = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)$$

Donde: E = evapotranspiración inajustada mensual en mm.

T = temperatura media mensual en grados Centígrados

I = índice anual de calor, el cual es la sumatoria de los doce índices mensuales de calor (i); siendo

$$i = (T/5)^{1.514}$$

a = es una constante que varía de lugar a lugar, siendo su valor:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

La evapotranspiración potencial mensual inajustada es corregida por la longitud de día y mes, así como por la longitud. Basta multiplicar la evapotranspiración inajustada por un factor mensual, cuyo valor es:

MES											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
.97	.89	1.02	1.02	1.09	1.07	1.12	1.10	1.03	1.03	.96	.97

f- Otros métodos: Han sido desarrollados otros métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración, como el método de Grassi y Christiansen (basado en la temperatura, radiación solar y nubosidad); método de Norero (toma en cuenta la evaporación y precipitación); método de Makkink (basado en temperatura y radiación solar); etc, basadas todas en variables climáticas.

C.2 Metodología para el Cálculo de la Evapotranspiración Partiendo de los valores de temperaturas medias mensuales de las estaciones meteorológicas (datos obtenidos en éste trabajo) se procedió a calcular los valores de evapotranspiración media mensual para cada estación, utilizando el método de Thornthwaite.

La metodología de Thorntwaite se describió anteriormente, y se decidió utilizar dicho método, ya que requiere como variable climática únicamente la temperatura media, la cual si es objeto de estudio en el presente trabajo.

Los otros métodos Indirectos no pudieron aplicarse, ya que requieren de variables climáticas que no son objeto de estudio de este trabajo; además porque las estaciones tipo A, que son las que registran esas variables hay muy pocas en Guatemala, y no hay una en la cuenca del río Nahualate, por lo que sería imposible obtener algunos valores de dichas variables. Casi todas las estaciones de la cuenca del río Nahualate son tipo C o D, que registran solo precipitación y temperatura.

Habiendo obtenido los valores de la evapotranspiración ajustada mensual, se procedió al trazo de las Curvas de Isoevapotranspiración medias mensuales y anual.

A continuación se adjuntan los valores respectivos, así como los mapas de las curvas de Isoevapotranspiración en la cuenca del río Nahualate.

Estación: Tiquisate

Clave: 5.12.8

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	26.3	123.38
Feb	26.7	120.15
Mar	27.8	161.83
Abr	28.7	183.83
May	28.1	180.53
Jun	27.4	160.20
Jul	27.6	172.64
Ago	27.0	155.29
Sep	26.8	141.14
Oct	27.1	147.57
Nov	27.3	141.65
Dic	26.6	129.00
ANUAL		1817.11

Estación: Bella Flor

Clave: 20.3.1

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	21.6	80.58
Feb	21.2	70.70
Mar	21.4	82.87
Abr	21.8	86.62
May	21.1	85.62
Jun	20.3	76.63
Jul	20.6	83.08
Ago	20.8	83.50
Sep	21.2	81.83
Oct	21.2	81.83
Nov	23.4	96.56
Dic	22.1	85.11
ANUAL		994.93

Estación: San Antonio Siguacán

Clave: 20.6.2

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	25.9	119.53
Feb	26.3	115.96
Mar	27.2	150.22
Abr	27.0	146.24
May	27.2	160.53
Jun	26.2	137.50
Jul	26.2	143.92
Ago	25.9	135.55
Sep	25.5	119.93
Oct	25.9	126.92
Nov	26.0	119.97
Dic	25.8	117.86
ANUAL		1594.13

Estación: Monte Rey

Clave: 20.17.1

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	27.4	143.18
Feb	27.8	139.96
Mar	29.0	192.93
Abr	29.2	198.82
May	28.9	203.09
Jun	28.4	184.72
Jul	28.5	196.35
Ago	28.5	192.84
Sep	28.0	167.13
Oct	27.8	161.97
Nov	28.0	155.77
Dic	27.0	134.22
ANUAL		2070.98

Estación: La Moca

Clave: 20.19.5

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	22.4	85.57
Feb	21.7	72.43
Mar	22.3	88.96
Abr	22.3	88.96
May	22.3	95.07
Jun	22.1	91.21
Jul	22.4	98.80
Ago	22.3	95.94
Sep	21.8	84.81
Oct	22.2	88.81
Nov	22.3	83.73
Dic	21.9	80.80
ANUAL		1055.09

Estación: Chojá

Clave: 20.1.3

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	23.3	88.48
Feb	23.5	83.36
Mar	24.7	111.43
Abr	25.4	121.48
May	25.4	129.81
Jun	25.0	121.33
Jul	24.9	125.44
Ago	24.7	120.17
Sep	24.5	109.73
Oct	24.5	109.73
Nov	24.2	98.45
Dic	23.2	87.31
ANUAL		1306.72

Estación: Los Tarrales

Clave: 20.4.4

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	21.0	72.29
Feb	21.6	71.39
Mar	22.7	93.14
Abr	23.3	99.70
May	23.5	108.95
Jun	23.4	105.76
Jul	23.4	110.71
Ago	22.9	102.77
Sep	22.4	90.84
Oct	22.1	87.70
Nov	21.7	77.93
Dic	21.1	73.19
ANUAL		1094.37

Estación: Cocales

Clave: 20.4.2

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	28.7	175.53
Feb	28.8	163.47
Mar	29.4	204.68
Abr	29.0	193.00
May	27.8	172.05
Jun	27.0	149.00
Jul	27.3	163.54
Ago	27.2	158.11
Sep	27.2	148.05
Oct	27.0	143.43
Nov	27.7	149.20
Dic	29.0	183.54
ANUAL		2003.60

Estación: Las Nubes

Clave: 20.10.3

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	17.7	57.64
Feb	18.1	55.34
Mar	18.8	68.50
Abr	19.4	73.01
May	19.8	81.33
Jun	20.1	82.31
Jul	19.7	82.71
Ago	19.4	78.74
Sep	19.4	73.73
Oct	19.4	73.73
Nov	19.1	66.58
Dic	20.6	78.43
ANUAL		872.05

Estación: Luisiana

Clave: 20.4.6

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	23.5	90.98
Feb	23.8	86.74
Mar	24.7	111.20
Abr	25.0	115.33
May	24.9	121.76
Jun	24.3	111.04
Jul	24.3	116.23
Ago	24.4	115.58
Sep	24.1	104.25
Oct	24.2	105.57
Nov	24.0	95.96
Dic	23.5	90.98
ANUAL		1265.62

Estación: Pangola

Clave: 5.12.4

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	24.7	99.5
Feb	25.1	96.88
Mar	27.2	149.47
Abr	28.7	182.31
May	27.5	166.35
Jun	27.3	158.94
Jul	27.6	173.23
Ago	27.2	161.19
Sep	26.3	133.27
Oct	26.1	129.56
Nov	25.4	104.20
Dic	24.2	92.25
ANUAL		1652.15

Estación: Santiago Atitlán

Clave: 19.19.4

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	15.8	55.15
Feb	16.9	51.18
Mar	17.5	62.65
Abr	18.6	70.30
May	19.6	82.94
Jun	19.4	79.85
Jul	19.5	84.40
Ago	19.2	80.50
Sep	18.3	68.84
Oct	18.6	70.99
Nov	18.2	63.50
Dic	17.4	58.93
ANUAL		829.23

Estación: San Juan de Argueta

Clave: 19.1.5

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	13.7	51.38
Feb	13.6	46.66
Mar	13.8	54.59
Abr	14.2	56.83
May	14.2	60.73
Jun	14.6	62.00
Jul	14.4	63.65
Ago	14.5	63.12
Sep	14.5	59.11
Oct	14.6	59.68
Nov	14.8	56.70
Dic	14.1	53.51
ANUAL		687.96

Estación: Santo Tomás Perdido

Clave 19.10.2

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	19.9	69.38
Feb	20.3	66.51
Mar	20.5	77.88
Abr	21.2	83.85
May	20.6	84.12
Jun	20.2	79.09
Jul	20.8	88.29
Ago	20.6	84.89
Sep	19.9	73.67
Oct	20.0	74.49
Nov	20.4	72.52
Dic	20.2	71.70
ANUAL		926.39

Estación: Los Brillantes

Clave: 15.9.1

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	27.8	153.32
Feb	28.3	152.04
Mar	28.8	188.08
Abr	28.7	185.25
May	28.4	189.10
Jun	28.4	185.63
Jul	28.3	191.33
Ago	28.3	187.92
Sep	27.9	165.37
Oct	28.1	170.60
Nov	27.5	144.73
Dic	27.5	146.23
ANUAL		2059.60

Estación: Labor Ovalle

Clave: 13.14.3

MES	TEMPERATURA $\bar{X}$	EVAPOTRANSPIRACION AJUSTADA (mm)
Ene	11.2	41.39
Feb	11.6	39.78
Mar	12.9	52.45
Abr	13.9	57.88
May	15.3	70.21
Jun	14.7	65.37
Jul	14.0	64.16
Ago	14.0	63.01
Sep	14.2	60.12
Oct	13.8	57.89
Nov	13.2	50.88
Dic	11.3	41.88
ANUAL		665.02

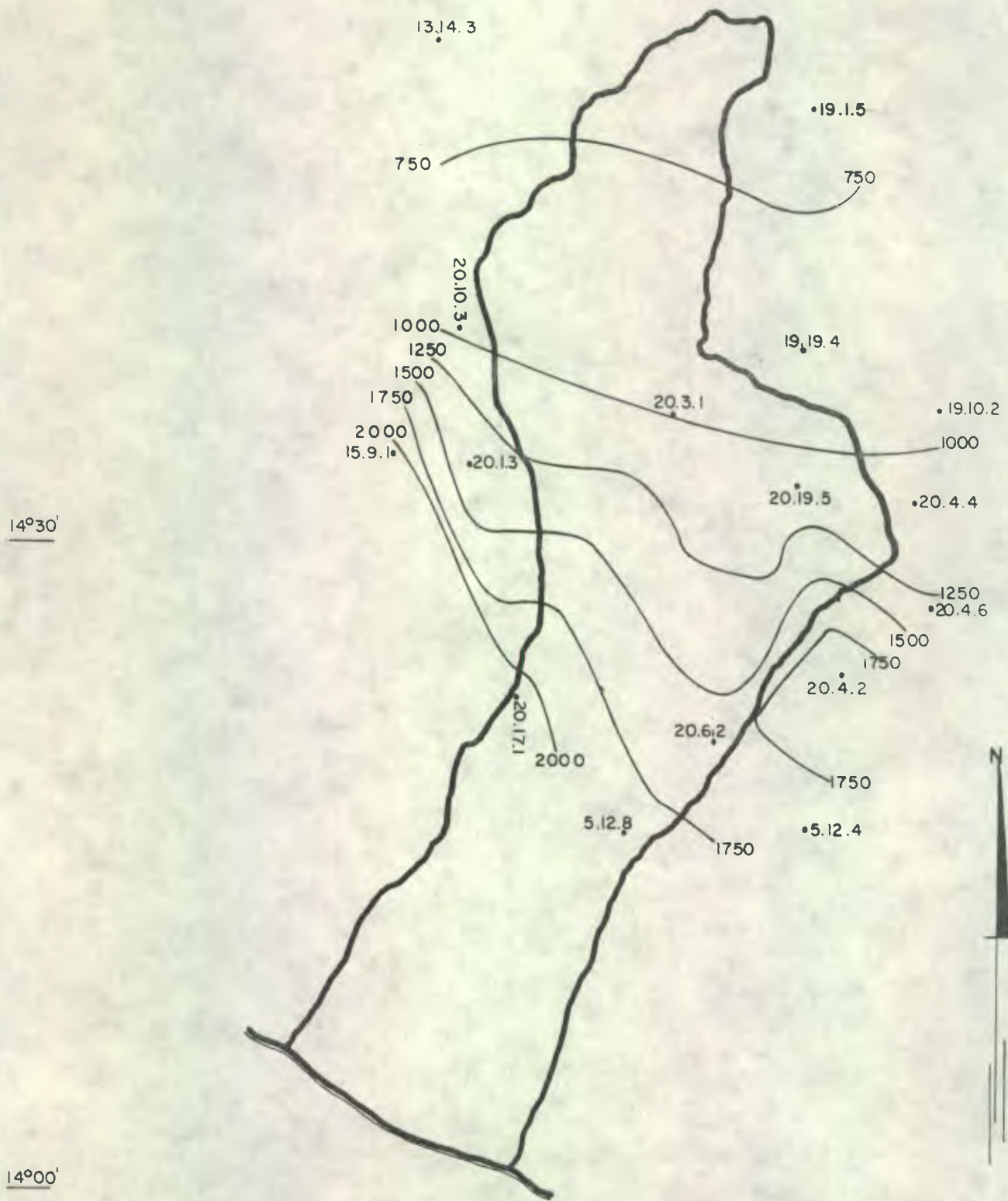
-75-
91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL



14°30'

14°00'

91°30'

14°00'



91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION
MEDIA MES ENERO

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION

MEDIA MES FEBRERO

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20 Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION

MEDIA MES MARZO

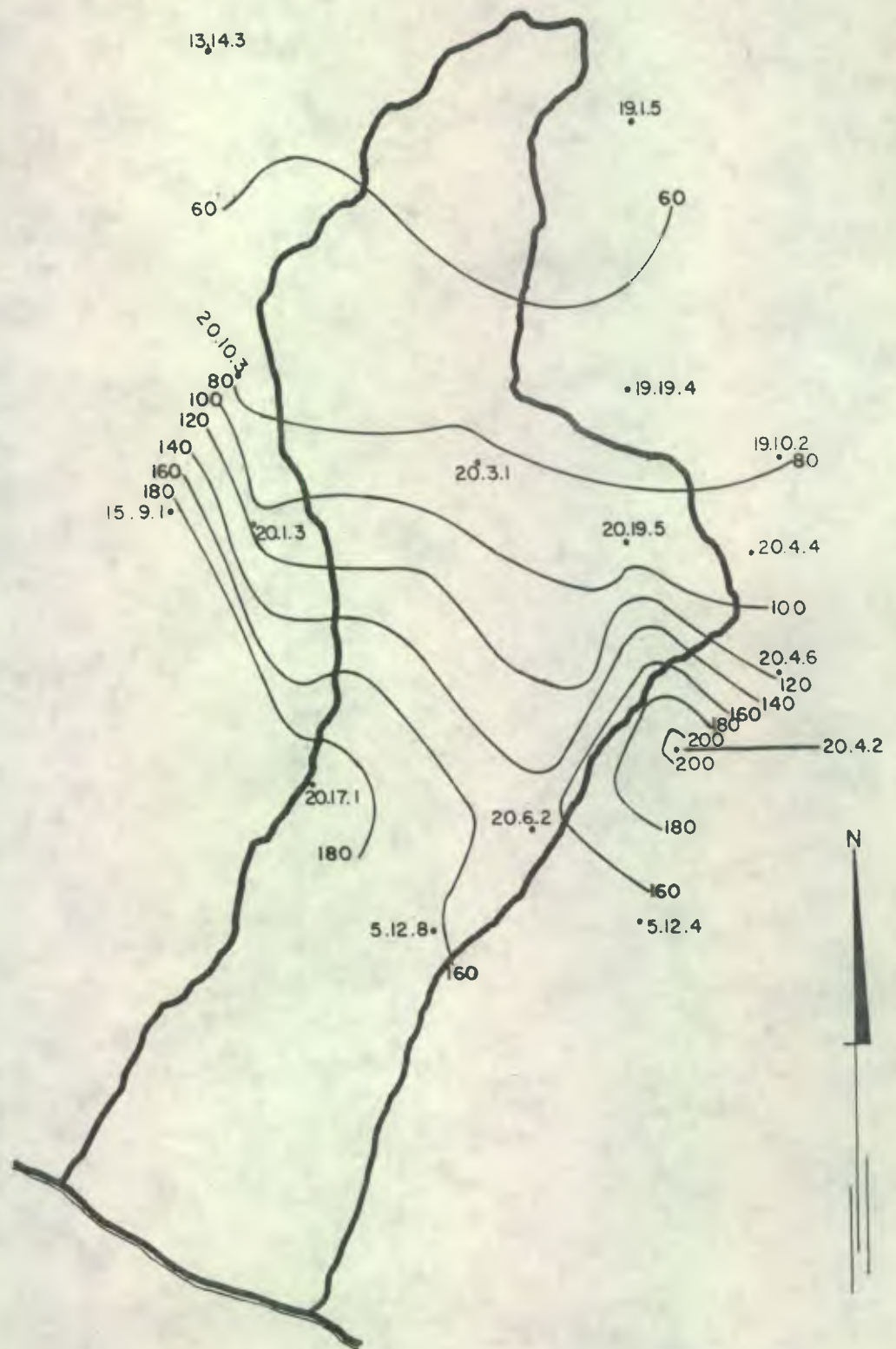
14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



ESCALA 10 0 10 20Km

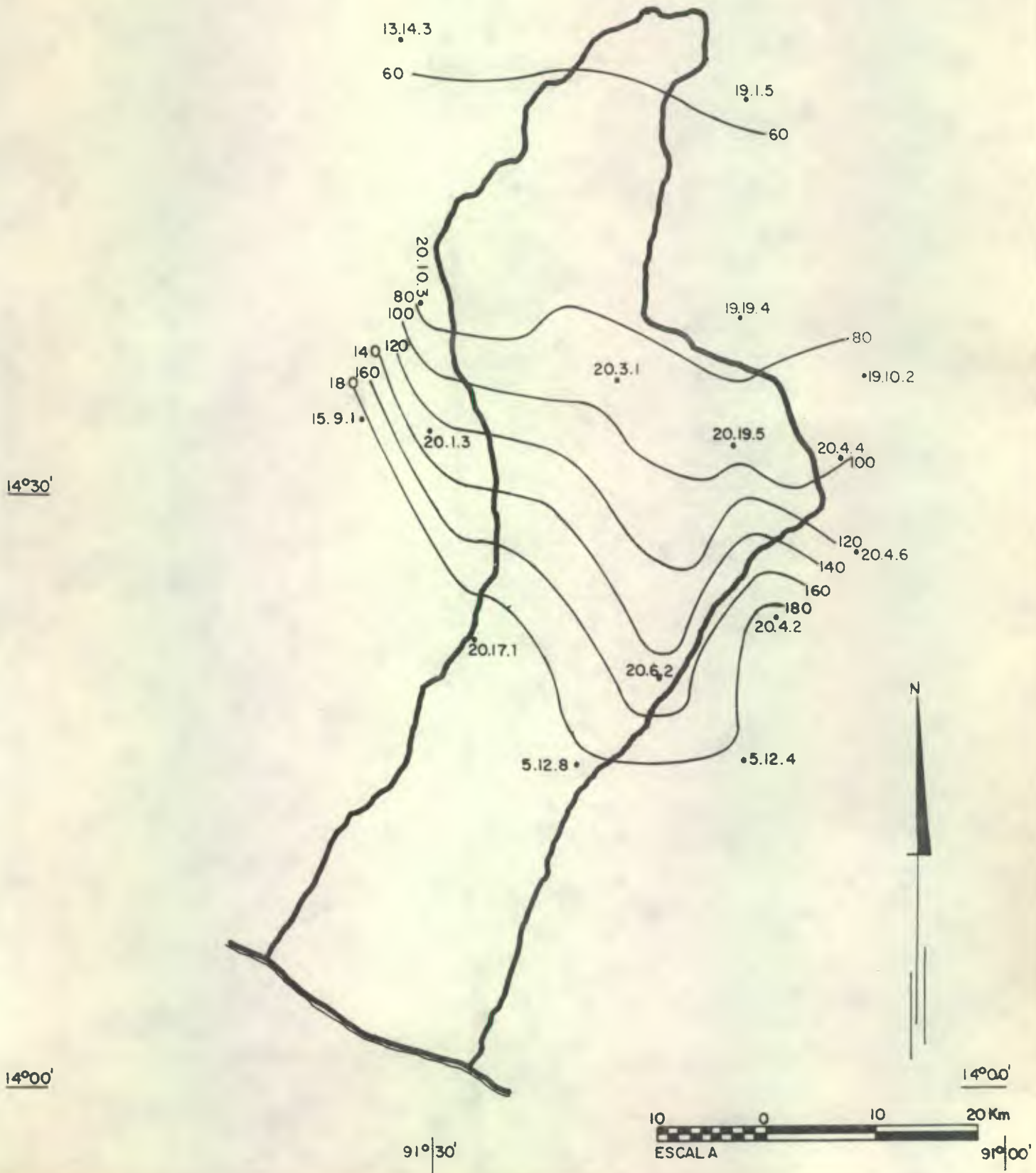
91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES ABRIL



- 81 -
91°30'

91°00'
15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA MES MAYO

14°30'

14°00'

91°30'



10 0 10 20Km
ESCALA
91°00'

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES JUNIO

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20 Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA

MES JULIO



14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'

10 0 10 20Km
ESCALA

91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA

MES AGOSTO

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES SEPTIEMBRE

14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



91°30'

91°00'
15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES OCTUBRE

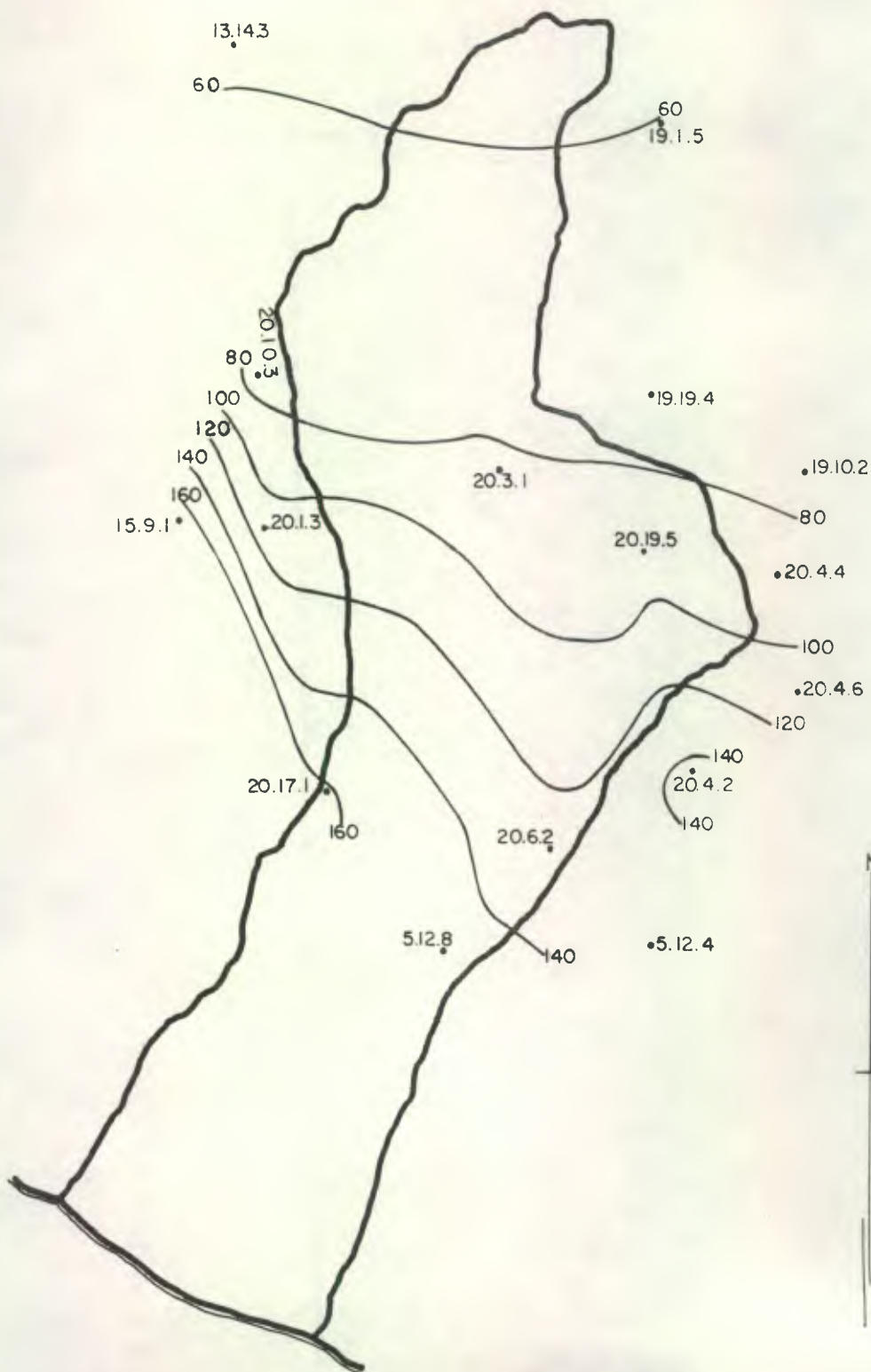
14°30'

14°00'

91°30'

14°00'

91°00'



10 0 10 20Km
ESCALA

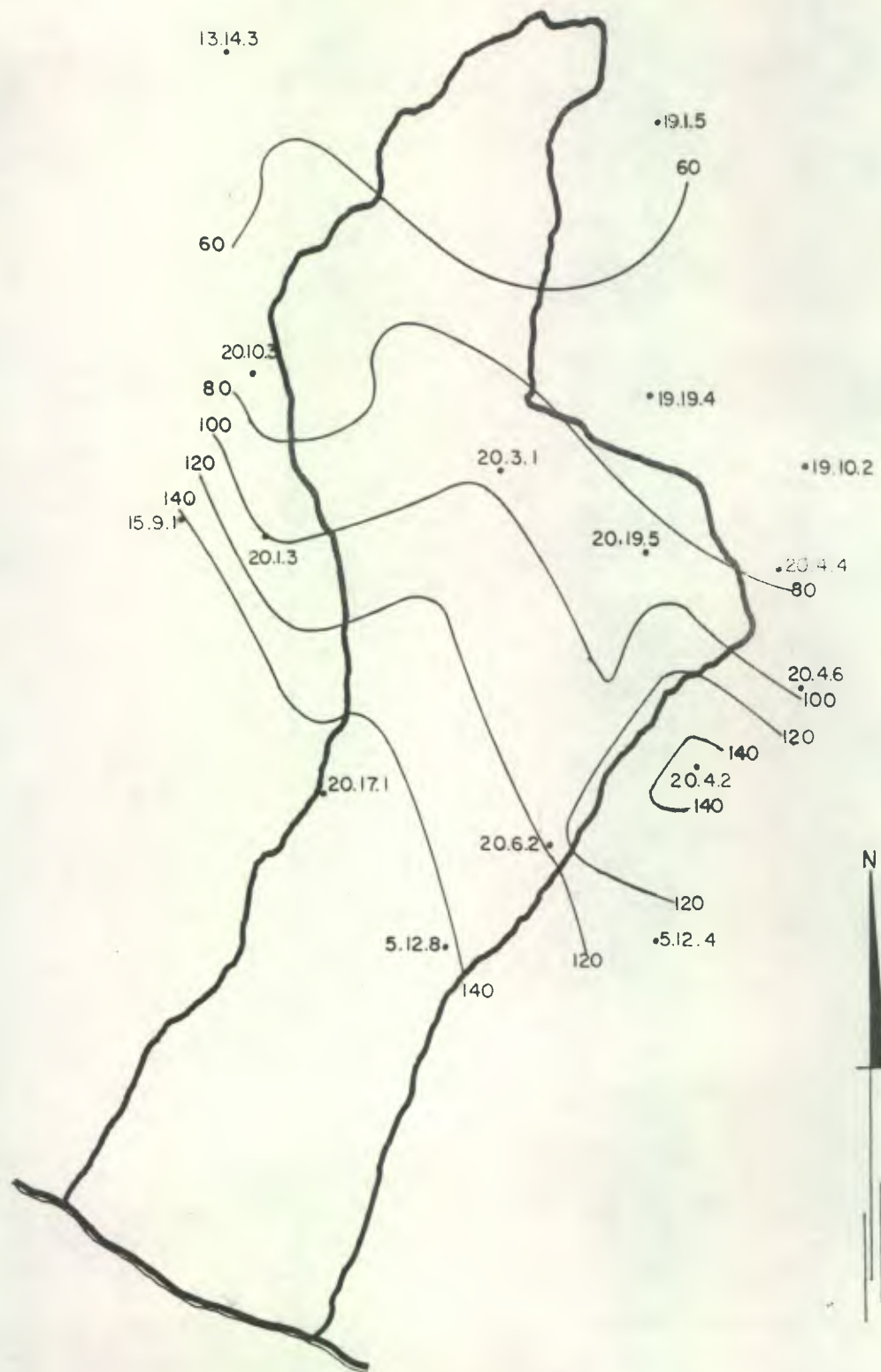
91°30'

91°00'

15°00'

15°00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES NOVIEMBRE



14°30'

14°00'

14°00'

91°30'

91°00'

10 0 10 20 Km
ESCALA

91° 30'

91° 00'

15° 00'

15° 00'

CURVAS DE ISOEVAPOTRANSPIRACION MEDIA
MES DICIEMBRE

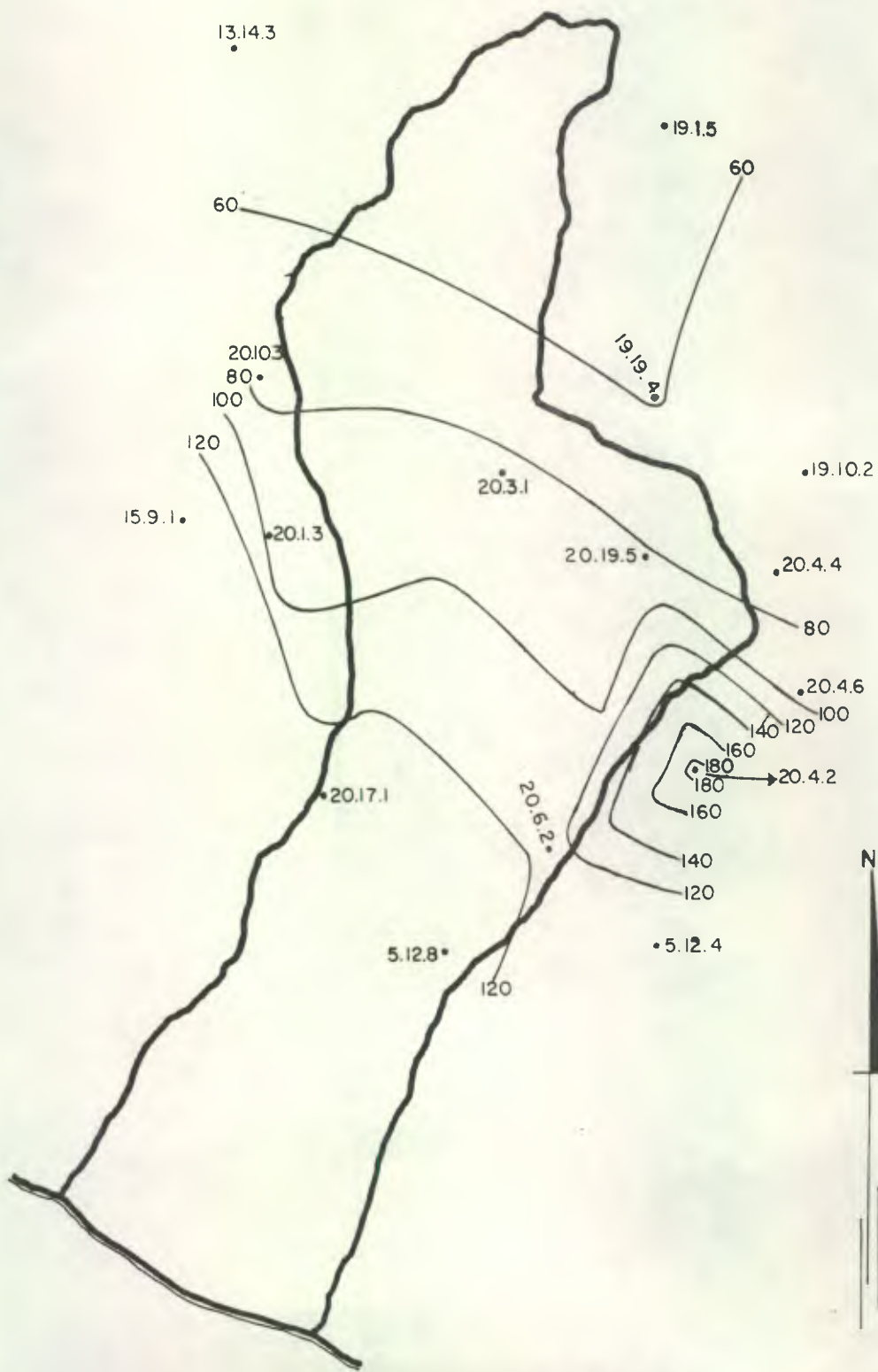
14° 30'

14° 00'

91° 30'

14° 00'

91° 00'



10 0 10 20Km
ESCALA

X-

CONCLUSIONES

- A. Debido a que las estaciones hidrológicas ubicadas en la cuenca del río Nahualate no están equipadas con aparatos indispensables para efectuar el análisis de crecidas (pluviógrafos), sino solo cuentan con pluviómetros, no se pudo elaborar las representaciones gráficas cronológicas de la variación de caudales (histogramas).
- B. La diferencia de resultados en los valores de la precipitación media anual de la cuenca se debe, en parte, a la exclusión de estaciones meteorológicas ya sea por presentar dificultad en la técnica de aplicación de un método, o por carecer de registros confiables; o bien puede deberse a la inclusión de algunas otras, por pertenecer a cuencas adyacentes.
- C. El valor de precipitación media anual más confiable, es el calculado a través del método de isoyetas, el cual si toma en cuenta las influencias orográficas. Con respecto al método de Thiessen, en su estado actual la red de estaciones meteorológicas no permite la conveniente aplicación de éste, ya que se presenta dificultad en determinar el área de los polígonos para el caso de estaciones muy cercanas.
- D. El único método indirecto que fué factible aplicar para el cálculo de la evapotranspiración, fué el de Thornthwaite, ya que todas las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Nahualate son tipos C o D, registrando solo precipitación y temperatura o solo precipitación; razón misma por la cual se ve imposibilitada la realización de otros tipos de estudios.

XI- RECOMENDACIONES

- A. Para poder realizar estudios precisos sobre todos los aspectos posibles, es necesario aumentar en la medida en que las posibilidades lo permitan, el número de estaciones meteorológicas tipos A y B, así como las hidrológicas, no solo en la cuenca del río Nahualate, sino en todo el país; también se deberá implementar con más aparatos registradores y cuantificadores de los diversos aspectos climatológicos la red de estaciones meteorológicas tipos C y D, así también las hidrológicas existentes en la actualidad.
- B. Para satisfacer las demandas que implica un estudio integral de la cuenca del río Nahualate, mediante el cual se obtendrá una completa información en todo sentido de esa región, se recomienda llevar a cabo el estudio socioeconómico de la misma.
- C. Iniciar lo antes posible estudios de arrastre de sedimentos, y de calidad de agua en la cuenca, ya que en un futuro inmediato será de gran utilidad para cualquier tipo de aprovechamiento que de la misma se quisiera impulsar o efectuar.
- D. Es necesario colocar una estación hidrométrica en la confluencia del río Nahualate con el Océano Pacífico, para poder investigar el comportamiento del mismo al contacto con la gran masa de agua salada (estudios de reflujo, sedimentos, etc.).

XII- BIBLIOGRAFIA

- 1- ALVARADO ARRIAGA, D. H. Análisis hidrológico de la cuenca del río Madre Vieja hasta la estación Palmira. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979. 128 p.
- 2- BUCARO, G. A. Determinación de evapotranspiración potencial y balance hídrico en base a datos climáticos de los distritos de riego San Jerónimo, Asunción Mita, Laguna del Hoyo, Catarina y La Fragua. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1973. 36 p.
- 3- CUBA. INSTITUTO DE METEOROLOGIA. DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTOS. Manual de instrumentos para el observador meteorológico. La Habana, Cuba, 1976. 193 p.
- 4- DICCIONARIO ENCICLOPEDICO Quillet. Buenos Aires, Argentina, Editorial Argentina Arístides Quillet, 1973. V. I. 638 p.
- 5- GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. DEPARTAMENTO DE AGUA SUPERFICIAL. Estudio morfométrico de la cuenca del río Nahualate. Guatemala, 1974. 22 p.
- 6- ———. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. SECCION DE CLIMATOLOGIA. Boletín con los datos meteorológicos año 1980. Guatemala, 1980. 223 p.
- 7- LINSLEY, R. Jr.; KOHLER, M. Y PAULHUS, J. Hidrología para ingenieros. Traductores Alejandro Deeb, Jaima Ordóñez y Fabio Castrillón. 2a. ed. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill Latinoamericana, 1977. 386 p.
- 8- MATTHEWS III, W. H. Geología simplificada. Traducido por Paul Bertrand. México, Compañía General de Ediciones, 1968. 207 p.
- 9- REMENIERAS, G. Tratado de hidrología aplicada. 2a. ed. Barcelona, España, Editores Técnicos Asociados, 1974. 515 p.
- 10- S. DE CASTAÑEDA, E. Y CASTAÑEDA S., G. Estudios Sociales, Tercer Curso. 4a. ed. Guatemala, Editorial del Ejército, 1972. 259 p.
- 11- SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos. San José, Costa Rica, Editorial IICA, 1980. 315 p.

