UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

ANALISIS HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA HASTA LA ESTACION PALMIRA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA

FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

DAVID HAROLDO ALVARADO ARRIAGA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO
EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, NOVIEMBRE 1979

01
T(286)
c.3

Guatemala,
21 de noviembre de 1979

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

Señor Decano:

Manifiesto ante usted, que de acuerdo a la designación que mi persona fue objeto, respecto al asesoramiento del trabajo de tesis "ANALISIS HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA, HASTA LA ESTACION PALMIRA" presentado por el estudiante David Haroldo Alvarado Arriaga; he finalizado la asesoría pertinente y a la vez considero que el trabajo en mención sí reune las condiciones necesarias exigentes de parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala para la opción del título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas. Por lo que recomiendo su aprobación.

Al agradecerle su atención, me suscribo muy atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Manuel R. Aguirre R.

MRA:ccdp

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: "ANALISIS HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL - RIO MADRE VIEJA, HASTA LA ESTACION PALMIRA".

Presentando el mismo, como requisito profesional, previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Deferentemente,

David Haroldo Alvarado Arriaga

DEDICO ESTE ACTO

Al Supremo Creador

A mis padres:

Oscar David Alvarado
Hilda Arriaga de Alvarado

A mis abuelos:

María Barrios (E.P.D.)
David Alvarado (E.P.D.)
Romelia Sierra v. de Alvarado
Miguel Arriaga

A mis hermanos:

Oscar Alvarado Arriaga
Mirna Alvarado de Morataya
Alex Alvarado Arriaga
Alma Alvarado Arriaga
Paola Alvarado Arriaga

A mi sobrina:

Marioli

A mis parientes en general

A la Facultad de Agronomía

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. SAUL OSORIO PAZ

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

DE AGRONOMIA

DECANO:	Doctor Antonio Sandoval
VOCAL 1o.:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
VOCAL 3o.:	Ing. Agr. Rudy Villatoro
VOCAL 4o.:	P.A. Efraín Medina G.
VOCAL 5o.:	Prof. Edgar Franco R.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Carlos N. Salcedo.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL
EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Examinador:	Doctor Antonio Sandoval
Examinador:	Ing. Agr. MSc. Oscar González
Examinador:	Ing. Agr. Raúl Ovando
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado Cabarrúz

RECONOCIMIENTO

Dejo contancia de mi agradecimiento al

ING. MANUEL R. AGUIRRE R.

Jefe del Departamento de Sistemas Atmosféricos del INSIVUMEH por su magnífica colaboración y asesoría para la realización de este trabajo de tesis, así como a la señora Elsa Cristina Cop de Palacios, Secretaria del Departamento de Sistemas Atmósféricos por su fina atención y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

No.		Página
1.	Introducción	1
2.	Procedimiento general para efectuar el Análisis Hidrológico de la cuenca del río Madre Vieja	3
3.	Materiales utilizados	6
4.	Descripción general de la cuenca	7
5.	Características climatológicas de la cuenca	7
6.	Análisis de precipitación	10
	6.1 Ascendencia orográfica	16
	6.2 Ascendencias lentas y de gran extensión horizontal	17
	6.3 Disipación de las nubes	17
	6.4 Mecanismo de la Coalescencia	20
	6.5 Formación de cristales de hielo	20
	6.6 Proceso Bergeron	20
	6.7 Formación de precipitaciones	22
	6.8 Diversos tipos de precipitación	23
	6.9 Localización de estaciones dentro y fuera de la cuenca	24
	6.10 Métodos para el cálculo de precipitación media en la cuenca	27
	6.11 Ilustración del método polígono de Thiessen	29 y 30-A
	6.12 Ilustración del método de las Isoyetas	31 y 31-A
	6.13 Tipo de precipitación en la cuenca	33
7.	Análisis de temperatura en la cuenca	35
	7.1 Temperaturas mesurables	38
	7.2 Descripción del abrigo meteorológico	44
	7.3 Distribución geográfica de la temperatura	47
	7.4 Datos de temperatura de registro de las estaciones meteorológicas de la cuenca	49
	7.5 Isotermas medias mensuales de la cuenca	62
8.	Análisis de Escorrentía	74
	8.1 Estaciones de aforo y análisis de la información obtenida	76
	8.2 Curvas de duración de caudales (m^3/seg) de las estaciones hidrológicas de la cuenca	82-88-93 y 98
9.	Evapotranspiración	100
10.	Humedad en la zona vadosa	104
11.	Descripción del balance hídrico de las estaciones hidrológicas de la cuenca	106-125

12. Consideraciones 126

13. Objetivos 127
13.1 Generales 127
13.2 Específicos 127

14. Bibliografía 128

ANALISIS HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL "RIO MADRE VIEJA"

INTRODUCCION:

Considerando que el recurso hidráulico es uno de los más importantes que - poseé la tierra para la subsistencia del hombre, se justifica el quehacer - investigativo del mismo. Siendo una cuenca un área de drenaje que lleva, - por lo tanto, implícito el recurso agua de mucha importancia para el desarrollo de la agricultura y la industria en cuanto a su aprovechamiento se refiere.

Como consecuencia del escaso conocimiento hidrológico de una cuenca no se puede contrarrestrar los posibles daños a una región específica por diversas causas (arrastre de sólidos y desbordamiento de ríos entre otros) que han causado pérdidas humanas y gran cantidad de pérdidas materiales, que a corto plazo inciden en la economía del país.

Los estudios hidrológicos se han tornado necesarios desde épocas muy antiguas y para aseverar ello sería necesario hacer mención de las actividades ingeniosas que desarrollaban los antiguos habitantes de la Mesopotamia como consecuencia de los desbordamientos de los ríos Tigris y Eufrates ya que aunque - remediaban la problemática a través de métodos empíricos, se despertaba en - ellos la inquietud - no sólo de intervenir al momento de suscitarse los problemas que en determinada época podría ocasionar el escurrimiento natural,- sino de conocer a partir de experiencias, el comportamiento estocástico de las condiciones meteorológicas y por ende del recurso hídrico de la región.

A través de un estudio hidrológico se podrá estimar la distribución de los diferentes caudales, localización de puntos críticos y la determinación de los - volúmenes de escorrentía en una zona determinada.

En nuestro país, y específicamente la Cuenca del Río Madre Vieja no ha sido objeto de estudio en particular, pero sí ha sido considerada en algunos trabajos desarrollados por el I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional) y el (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) INSIVUMEH, A sabiendas que nuestro país basa su economía principalmente en la agricultura -el 65% de la población económicamente activa depende de la agricultura generando aproximadamente el 30% del producto nacional bruto-. Ello implica nuestra mayor atención a la actividad agrícola. También es sabido que el potencial de un área para la producción es determinado por la interacción de varios factores: suelo, infraestructura, niveles de tecnología disponibles, clima y la oportunidad para el desarrollo y uso de los recursos.

Para promover el desarrollo y uso de estos recursos se hace imprescindible el conocimiento de los factores que nos permiten predecir el probable comportamiento de ellos en una determinada región. Considerando la naturaleza del presente trabajo, se procedió a consultas a nivel de datos meteorológicos en el INSIVUMEH, para luego proceder al análisis objetivo del estudio en la región que incluye la cuenca del río Madre Vieja. Es necesario aclarar que es ineludible que la presente investigación haga honor a la conclusión abierta siguiendo los lineamientos científicos, ya que en la medida que los recursos económicos del país, lo permitan, surgirán nuevas estaciones meteorológicas dentro de la región en estudio o aledañas a ella, que permitirán, de acuerdo a su especialidad, ampliar información y por ende desarrollar un trabajo integral que redundará en un mejor aprovechamiento, protección y conservación de los recursos con los que la naturaleza de una forma tan pródiga ha dotado a Guatemala.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EFECTUAR EL ANALISIS HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO "MADRE VIEJA"

Con el objeto de delinear la cuenca respectiva se procedió a la elaboración de un mapa que incluyera la zona territorial que describe a la cuenca del río Madre Vieja en un mapa escala 1:500,000. En el mismo se llevó a cabo la localización de las estaciones meteorológicas así como la identificación exclusiva - de la cuenca, objeto de análisis, en relación a las cuencas adyacentes (cuenca del río Nahualate y Cuenca del río Coyolate).

Partiendo el análisis de los datos de precipitación, obtenidos de las tarjetas de control pluvial de cada una de las estaciones meteorológicas de archivo del INSIVUMEH y en una forma secuencial, se calculó a través de los métodos: a) - promedio aritmético, b) polígonos de Thiessen, c) Isoyetas; la precipitación media anual de la cuenca, así como se tabularon los datos de precipitación de cada estación para cada uno de los meses del año; indicando para cada una de las cuales:

a) Número y nombre
b) Municipio y Departamento
c) Río y cuenca
d) Latitud, longitud (datos necesarios para el ploteo respectivo de las estaciones en el mapa)

Es de hacer notar que todas las estaciones meteorológicas, consideradas para el análisis, superaron una cronología de registro de siete años consecutivos, enterados de la ubicación geográfica de la cuenca en el contexto territorial; cercanía del océano pacífico, presencias de planicies, protuberancias topográ

ficas etc. Fue posible analizar el tipo de precipitación y distribución de la misma en la cuenca, así como las características generales climatológicas de esa región.

Dentro del análisis de temperatura y considerando el material básico que cubre la extensión de la cuenca, proporcionado por el INSIVUMEH, se seleccionaron 11 estaciones de registro confiable para cada una de las cuales se anotó:

a) Número y nombre

b) Municipio y Departamento

c) Datos de temperatura: (valores medios y extremos mensuales)

A través de esa información fue posible, mediante promedios aritméticos, determinar temperaturas medias mensuales para cada mes con valores representativos del área. Previamente fue elaborado un mapa con la descripción única de la cuenca, en el cual fueron ubicadas las respectivas estaciones que registran temperatura, anotando a la vez sobre el mapa a escala 1:500,000, los valores de temperatura medios mensuales para cada estación considerada y para cada mes en particular, para que luego fuera posible el trazo de las isotermas medias mensuales utilizando la interpolación aritmética.

Para el análisis de escorrentía fueron útiles cuatro estaciones hidrológicas las cuales se analizaron a nivel de caudales medios diarios en m^3/seg a partir del año 1972 a 1978. El material básico consiste fundamentalmente en boletines hidrológicos y fue proporcionado por el INSIVUMEH y comprende registro diario de este parámetro para cada año y por estación.

Con el objeto de estimar los caudales característicos, curva de duración y clasificación de caudales, caudales promedios mínimos y caudales promedio máximos por estación, se elaboró un cuadro resumen de caudales medios diarios por estacion; para

la elaboración de ese cuadro resumen se procedió al promedio de los caudales diarios de cada día en cada año de registro.

Con la obtención de un cuadro resumen de caudales medios diarios por estación, fue posible elaborar la curva de duración de caudales para lo cual previamente se hizo un ordenamiento de ellos de menor a mayor y determinado por diferencia el rango o amplitud de los mismos. Luego, utilizando fórmula de Sturger: $N = 1+3.3 \log n$, (donde N = No de clases, n = Número de datos) se determinó el número de clases - para que consecuentemente y a través de la fórmula $I = \frac{R}{N}$, donde: I = intérvalo - de clase; R = Rango o amplitud; N= número de clases, se determinara el intérvalo de clase y ya con esos elementos desarrollar la distribución de frecuencias necesarias para la elaboración de las curvas de duración de caudales para cada estación hidrológica.

Conociendo los caudales medios mensuales y el caudal medio anual, se procedió al cálculo de volumen generado por cada uno de los caudales antes mencionados.

El hidrograma unitario para cada una de las estaciones meteorológicas ubicadas - dentro de la cuenca del río Madre Vieja, fue imposible elaborarlo ya que las estaciones, en mención de la cuenca, no poseen registro pluviográfico; indispensable como material base para la confección del hidrograma unitario.

Materiales utilizados:

a) Mapas de escalas 1:50,000 y 1:250,000 desarrollados por el Instituto Geográfico Nacional

b) Material y equipo para la interpretación fotogramétrica del área perteneciente a la división de estudios geográficos del I.G.N.

c) Información existente de los parámetros meteorológicos e hidrológicos necesarios, recopilados por el INSIVUMEH y el Instituto Nacional de Electrificación.

d) Material y equipo de dibujo, perteneciente al Departamento de - Meteorología del INSIVUMEH para la interpretación y elaboración de resultados.

d) Trabajos investigativos desarrollados por el I.G.N., INSIVUMEH y la Universidad de San Carlos de Guatemala.

DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA

La cuenca se encuentra ubicada entre los meridianos 91°00'y 91°25" de longitud - oeste y los paralelos 13°55' y 14°50" de latitud norte, el río Madre Vieja drena un área de 1048 Km^2, principiando en las proximidades del cacerío Chujulimul -- (2,600 MSNM) del municipio de Chichicastenango continua hacia Oriente pasando por las poblaciones de Tecpán, Guatemala, Patzún y Patulul hasta su finalización en - el océano pacífico. En la parte occidental de la cuenca se encuentra el Volcán - Atitlán con una altura máxima de 3535 MSNM.

Sus principales afluentes son los ríos: La Humanidad, Los Cangrejos, Los Chocoyos, La Vega y El Zanjón, que confluyen por la margen derecha con: Los Molinos, Santa - Teresa, Susu y por la margen izquierda: Zanjón, La Noria.

Como caso especial, la cuenca del río Madre Vieja presenta el Zanjón, Hidalgo que no desemboca en el Madre Vieja, sino en la Laguneta Tecojate.

A la parte norte de la cuenca la atraviesa la carretera nacional C.A.1, de Patzún a Godínez. De San Lucas Tolimán parte la carretera CA 11, que atraviesa la cuenca del río Madre Vieja de Norte a Sur a partir de las faldas del Volcán Atitlán, pasando por Patulul, Parcelamiento Nueva Concepción, hasta su final en el caserío de la Laguna de Pueblo Nuevo Tiquisate. La cuenca del río Madre Vieja poseé una longitud equivalente a 117.75 Kms.

CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA CUENCA

A largos rasgos podremos afirmar que la región que incluye la cuenca del río Madre Vieja involucra condiciones climáticas que difieren fundamentalmente a causa del relieve de la región. La cuenca, como se ha descrito, contempla parte de los departamentos: Chinaltenango, S ololá y Suchitepéquez. Es obvio que las condiciones

- que imperan en zonas pertinentes al altiplano, Sololá y Chimaltenango, difieren en humedad relativa, regimen pluvial y temperatura a las zonas de la cuenca que se encuentran ubicadas en el departamento de Suchitepéquez. En regiones altas, según datos de las estaciones meteorológicas, se han registrado promedios anuales de precipitación inferiores a los establecidos en estaciones cercanas a la costa sur. Así también la humedad relativa en la zona baja de la cuenca -Departamento de Suchitepéquez- es superior a la humedad relativa de las zonas altas como son: Sololá y Chimaltenango, En general, a principios de año durante los meses de enero y febrero, las temperaturas suelen presentarse bastante bajas, alcanzando durante este segundo mes los valores mínimos del año, no registrándose lluvias considerables sino únicamente y en forma esporádica precipitaciones del tipo de llovizna.

Durante el mes de marzo y abril la temperatura presenta marcada tendencia a elevarse y se manifiestan días muy calurosos; marcándose la existencia de brumas o nieblas secas, las cuales unidas al porcentaje crecido de humo, procedente de la quema de potreros o rozas, dan valores muy apreciables típicos de esta época del año. También en este tiempo se inicia un cambio en la dirección del viento en sentido opuesto al regimen dominante que prevalece en los meses anteriores, soplando del Sur-Sudoeste; y es cuando la humedad relativa alcanza los valores mínimos del año.

Las temperaturas más altas de la zona se registran durante el mes de mayo, mes durante el cual se presentan los cambios climáticos marcadamente iniciandose generalmente, el regimen de lluvias a partir del 15 del mes -Día de San Isidro Labrador-.

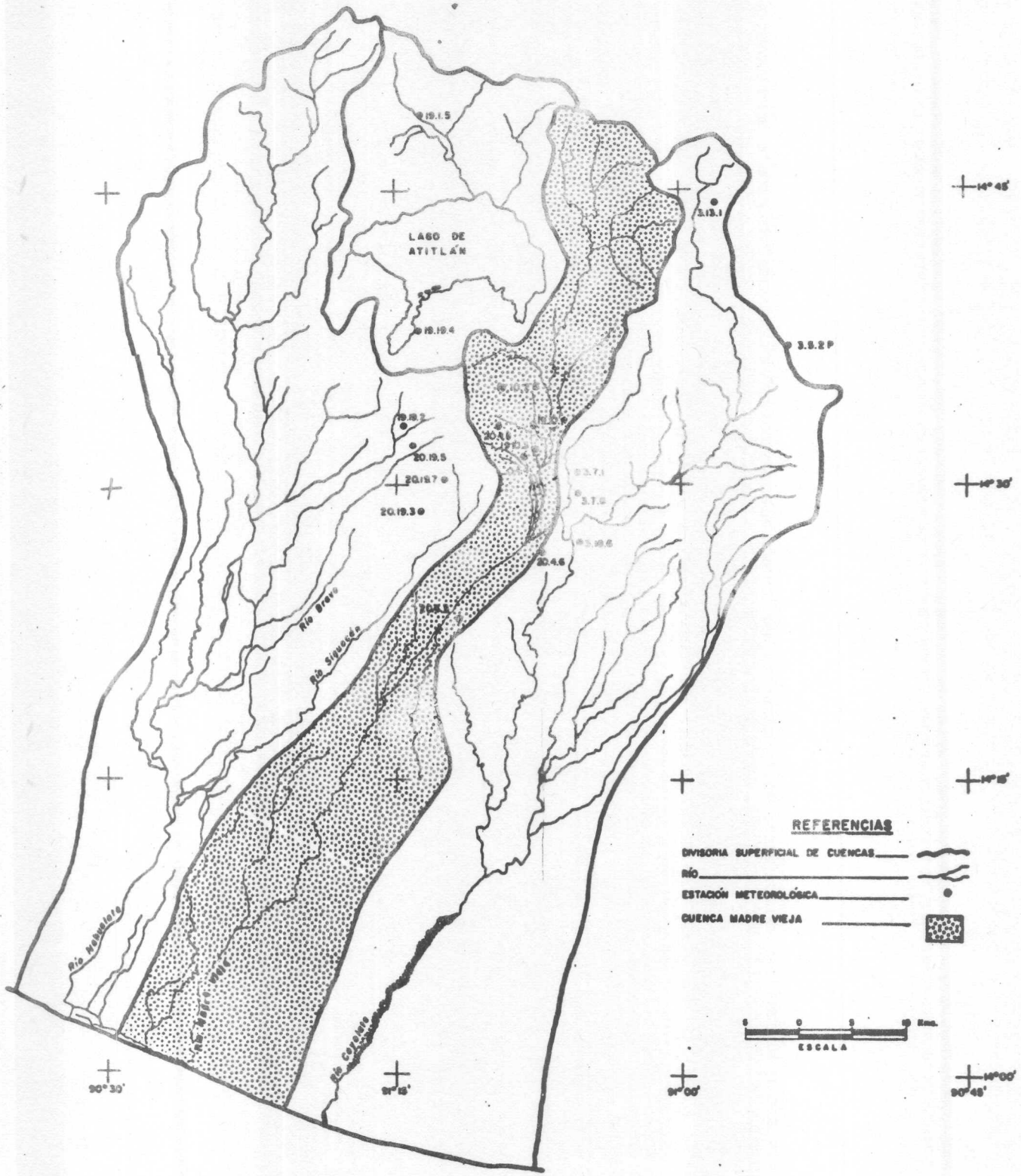
Durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre se presentan constantemente las lluvias; existiendo un período relativamente seco durante el mes de agosto el cual es conocido, en el lenguaje popular como la Canícula.

Durante estos meses la temperatura desciende con respecto a los meses anteriores.

En el mes de octubre las lluvias persisten pero en forma de lloviznas con la presencia de algunos aguaceros aislados sobre todo a mediados del mes. Notándose - tendencia de la temperatura a bajar.

En el mes de noviembre se evidencian los vientos más o menos fuertes y relativamente fríos con procedencia del norte, la precipitación se hace cada vez más escasa y si llueve sucede en forma de lloviznas acompañadas de viento frío. A fines de este mes se comienzan a observar los días diáfanos cuyo cielo con escaso porcentaje de nieblas o calima, presenta un azul intenso que presagia la época propia en que en nuestra latitud se le llama "Verano" o sea la carencia absoluta de lluvias, es frecuente durante este mes el descenso contínuo de la temperatura; al iniciarse el mes de diciembre, la temperatura continúa su descenso la insolación es más intensa que en cualquier otra época del año y a finales de este mes es frecuente, sobre todo durante la noche, la presencia de ligeras lloviznas cuyas características frías, van acompañadas de vientos más o menos moderados - siempre procedentes del norte.

CUENCA RIO MADRE VIEJA



ANALISIS DE PRECIPITACION

Se llama precipitación a todo hidrometeoro constituido por una caída de partículas que alcanzan el suelo, estas partículas se desprenden de la nube, ya en forma de gotas de agua o en forma sólida. En todas las estaciones meteorológicas se debe observar y medir la cantidad de agua que procedente de la atmósfera, en una u otra forma, llega a la superficie terrestre, con objeto de contribuir con el conocimiento de este factor meteorológico, al estudio climatológico del país, y a la determinación del recurso hídrico.

Generalmente se comprende bajo un solo nombre, precipitación atmosférica, cualquier agua tanto en forma líquida, llovizna, lluvia o aguacero, como en forma sólida: Nieve, aguanieve, granizo etc; que llegue a la tierra procedente de la atmósfera (nubes).

Formación y Disipación de las Nubes: El agua que se encuentra presente en la atmósfera ha llegado a la misma por medio de los procesos de evaporación y transpiración y luego cae sobre la tierra en forma de precipitación cerrando así el ciclo hidrológico. Aunque el agua está presente en cantidades más o menos grandes en cualquier parte de la atmósfera, generalmente sucede que es invisible por encontrarse en estado de vapor. Sin embargo, de vez en cuando se condensa para formar nubes que proporcionan ciertas indicaciones sobre el tiempo futuro.

El agua se halla presente en casi toda la atmósfera pero, generalmente, en forma de vapor no perceptible a nuestra vista. Sólo llega a ser visible por la formación de nubes, cuya presencia y forma suministran frecuentemente detalles sobre la evolución del tiempo futuro.

El aire h úmedo es una mezcla de aire seco y vapor de agua. La mayoria de las nubes resultan del enfriamiento del aire húmedo. Todos los procesos atmosféricos que provocan enfriamiento del aire pueden ser causa de la formación de nubes. Cuando el aire h´umedo se enfria por debajo del punto de rocío, las gotitas de agua se condensan sobre núcleos de condensación contenidos en el aire. Estos núcleos tienen a veces, una particular afinidad para el agua y entonces se determinan: Higroscopicos. Las partículas de sal que provienen de los rociones marinos pertenecen a esta categoria y pueden provocar la condensación, antes que la humedad relativa alcance el 100 por ciento.

Las gotitas de agua no se hielan necesariamente cuando la temperatura desciende por debajo de 0°C, sino que pueden permanecer subfundidas o en subfusión. En el caso de las nubes, pueden permanecer en sub-fusión incluso hasta -20°C. Ocasionalmente se observan gotitas subfundidas hasta a -35°C.

En laboratorio, se ha podido demostrar que es posible enfriar las gotitas de agua hasta -40°C antes de que se congelen.

En la atmósfera, ciertas partículas en suspensión pueden actuar como núcleos en el proceso de congelación.

Una partícula que provoca el crecimiento de un cristal de hielo a su alrededor por congelación de agua subfundida es un núcleo de congelación.

El vapor de agua puede igualmente transformarse directamente en cristales de hielo sin pasar por el estado líquido. Es la sublimación, término que se aplica también para designar la transformación inversa, es decir de hielo a vapor de agua.

Toda partícula sobre la que se puede formar un cristal de hielo por sublimación es un núcleo de sublimación. A pesar de las numerosas experiencias no se ha lo

grado demostrar que en la atmósfera existan núcleos de sublimación distintos de los núcleos de congelación.

Sobre la superficie de un núcleo se forma primeramente una fina película de agua que se congela después. Esta película es tan fina que es muy difícil darse cuenta de la existencia de la gotita de agua y, por lo tanto, parece que todo sucede como si el cristal de hielo se formase directamente a partir del vapor.

El hecho tan frecuente de que haya gotitas de agua en las nubes a temperaturas negativas, demuestra que los núcleos de congelación son más raros que los los núcleos de condensación.

La mayoría de los núcleos de congelación provienen probablemente del suelo, del que el viento arranca ciertos tipos de partículas. Parece que ciertas partículas arcillosas juegan un papel importante y es probable que la mezcla turbulenta pueda darles una distribución bastante uniforme hasta altitudes elevadas.

La formación de la mayor parte de las nubes resulta de movimientos ascendentes de aire húmedo que se expande a causa de la disminución de la presión - con la altitud y por el consiguiente enfriamiento adiabático. Entonces, una parte del vapor de agua se condensa para formar la nube. La forma de las nubes es consecuencia de los procesos de levantamiento del aire que son las que las modelan. Los diversos tipos de movimientos verticales que pueden dar origen a la formación de nubes son:

a) Turbulencia mecánica o turbulencia de rozamiento
b) Convección (o turbulencia térmica)
c) Ascendencia orográfica

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

d) Ascendencia lenta y extendida

La turbulencia mecánica proviene de la dislocación en series de torbellinos, - del flujo del aire en las proximidades de la superficie terrestre. Favorece - esta turbulencia la presencia de obstáculos (árboles, edificios, colinas, etc.) El aire de la capa límite sufre como consecuencia de la turbulencia mecánica, - una intensa mezcla. Si la capa límite es inicialmente estable, se produce un - enfriamiento de la parte superior y un recalmentamiento en su parte inferior. - Si el aire no está saturado, tiende a establecerse un gradiente adiabático seco en la capa turbulenta. La turbulencia tiene también como consecuencia, provocar la mezcla del vapor de agua en la capa turbulenta. El contenido de vapor de agua tiende a igualarse y el aire puede llegar a saturarse a un cierto nivel por debajo de la cima de la capa de rozamiento. La condensación se puede producir entonces a una cierta altura sobre el suelo, que se denomina nivel de condensación de mezcla (N.C.M.) y corresponde a la base real de la nube.

La nube que se forma inicialmente es un stratus, una capa nubosa sin forma definida, que puede persistir bajo tal aspecto, pero con la posibilidad que sus superficies superior e inferior parezcan onduladas. Si se producen este tipo de ondulaciones, el espesor de la nube varía y puede presentar claros como consecuencia de que la condensación en nube se produce en las corrientes ascendentes, mientras que en las corrientes descendientes interviene cierta evaporación. La nube se clasifica, entonces, en el grupo de los Stratocúmulos, se puede formar asimismo, nubes de turbulencia bajo las nubes de lluvia, como lo son: Los nimbostratus altostratus y cumulonimbus. Son nubes bajas y desgarradas de mal tiempo; - Stratus fractus y Cumulus fractus.

La palabra fractus significa roto, las nubes bajas desgarradas se designan a menudo con los términos de fractostratus y fractocumulus.

Estas nubes toman su humedad de la evaporación de las gotas de lluvia y del agua de lluvia que moja el suelo. La turbulencia próxima al suelo produce, entonces, las nubes desgarradas en la capa de aire muy húmedo comprendida entre el suelo y la base de la capa nubosa principal.

Convección:

Las corrientes de convección se desarrollan cuando el aire se calienta en las proximidades de la superficie. La convección o turbulencia térmica se combina con la turbulencia mecánica o de rozamiento para provocar la mezcla de las capas bajas de la atmósfera.

En general, mientras el aire permanece sin saturar, el gradiente vertical de temperatura tiende hacia el gradiente adiabático seco; las nubes se forman a este nivel, pero su desarrollo vertical depende de cierto número de factores, en particular del gradiente vertical de temperatura sobre el nivel de la base de las nubes.

Cuando el gradiente vertical es superior al gradiente adiabático saturado, la atmósfera es inestable para las partículas de aire nuboso, las cuales se elevan entonces hasta el nivel en que dejan de ser más cálidas que el aire que las rodea.

Las nubes cumuliformes se desarrollan de este modo. La distancia vertical entre la base y la cima de las nubes puede variar desde 1 Km ó 2 Kms o más. Las nubes de convección aisladas y de débil desarrollo vertical son los cúmulus de buen tiempo que no producen precipitaciones.

Sucede a veces que las corrientes verticales están límitadas por una marcada inversión por encima del nivel de condensación de la capa convectiva. Entonces, la cima de la nube se extiende bajo la inversión y la nube se transforma en Stratocumulus.

En determinadas situaciones, el gradiente vertical sobre el nivel de condensación es mayor que el gradiente adiabático saturado en un gran espesor. Si la humedad es suficiente, la nube se puede desarrollar hasta una elevada altitud.

La cima de las nubes puede, a veces, alcanzar el nivel en que se forman cristales de hielo. Tal nube que tiene gran desarrollo vertical y está formada en su cima de cristales de hielo es un cumulonimbus, nube de tormenta. El velo de cristales de hielo que rodea la parte superior de la nube le da una apariencia fibrosa y lisa que se distingue del cumulus. Se puede producir precipitaciones más o menos fuertes según el grado de inestabilidad, altitud y temperatura alcanzadas. La base de la nube puede situarse a menos de 1 Km. de altitud y su dimensión vertical llevar, e incluso sobrepasar, los 10 Kms. Durante los chubascos, nubes desgarradas turbulentas se desarrollan por debajo de la base de la nube principal, y algunas veces pueden alcanzar la superficie terrestre.

Los cumulonimbus alcanzan con frecuencia en las regiones tropicales, las más grandes alturas, como consecuencia que la tropopausa está más elevada en estas regiones. No es raro observar en ellas, nubes cuyas cimas alcanzan o superan los 16 Kms.

Bajo los trópicos, la temperatura al nivel de condensación es superior y, por

lo tanto, el contenido de vapor de agua del aire es más elevado; por lo cual la condensación libera mayor cantidad de calor latente y las tormentas son - muy violentas.

Ascendencias orográficas: Cuando el aire alcanza una cadena de montañas o colinas, se ve obligado a elevarse tanto en las capas bajas como en altitud. El movimiento ascendente afecta a una capa espesa de la atmósfera y la distribución vertical de la temperatura en ella se modifica. El aire obligado a elevarse se enfría por expansión adiabática y pueden formarse nubes.

Las nubes que se forman por ascendencia orográfica son de diferentes tipos que dependen de un conjunto de factores, entre los que sobresale la estabilidad del aire en que se forman.

En el aire estable y húmedo se forman con frecuencia Stratus. Cuando el aire es - débilmente inestable se forman cumulus. Si la atmósfera es inestable en un espeso strato se pueden formar cumulonimbus.

No siempre se forman nubes cuando el aire cruza las montañas o colinas. En muchos casos, la humedad del aire no es suficiente para la formación de nubes.

Cuando la nube es del género stratus su base es horizontal, y en general, de pequeño espesor, formando una capa que recubre las zonas más elevadas del terreno y frecuentemente con claros sobre las regiones más bajas. El descenso del aire a sotavento de la montaña provoca su recalentamiento y su rápida disipación.

Las nubes orográficas se forman contínuamente a barlovento y se disipan en la vertiente contraria. Las nubes orográficas se forman, a veces, en altitud por encima de las colinas o montañas cuando el aire está casi saturado en el interior de una capa situada en altura, la ascendencia orográfica de esta capa puede provocar

la condensación por encima del obstáculo y se puede formar una nube persistente.

Ascendencias lentas y de gran extensión horizontal

Con frecuencia, la ascendencia de gran extensión horizontal se desencadena inicialmente debidoaa una divergencia en al alta tropósfera. El flujo divergente en altitud provoca un descenso de la presión en capas bajas próximas a la superficie terrestre, formándose una depresión. La convergencia se desarrolla, entonces, al nivel del mar y una ascendencia lenta y de gran extensión horizontal se produce en un gran espesor de la tropósfera y, a continuación, siempre que la humedad sea suficiente se origina un extenso desarrollo de nubes. Las depresiones y las ascendencias de gran extensión horizontal se producen, frecuentemente, próximas a una zona frontal, o sea una región que separa dos masas de aire extensas cuyas propiedades sean tales que difieren en densidad y temperatura. Las depresiones asociadas a las zonas frontales se denominan depresiones frontales.

Disipación de las Nubes

El desarrollo de las nubes vansiendo más lento, evidentemente, cuando el proceso que las origina deja de producirse. Pero otros factores pueden intervenir para provocar la desaparición de las gotitas de agua o cristales de hielo de las nubes tales como: El recalentamiento del aire, las precipitaciones y la mezcla con el aire circundante más seco.

Una nube se puede calentar por absorción de la radiación solar o terrestre pero uno y otro fenómeno son relativamente débiles en comparación con el recalentamiento adiabático.

Esto es lo que puede producirse si el aire en que la nube se sitúa está sometido a subsidencia. A medida que la temperatura del aire asciende, su humedad relativa baja y el aire puede dejar de estar saturado; entonces, partículas nubosas se evaporan para transformarse en vapor de agua invisible.

La insolación provoca, con frecuencia, la disipación de las nubes creadas por turbulencia. Si penetra hasta el suelo suficiente radiación solar, recalentando el aire vecino de la superficie, el nivel de condensación de mezcla se eleva y, por lo tanto, la base del stratus o stratucumulus se eleva también. Entonces, el espesor de la nube limitado por la inversión de turbulencia disminuye y la nube acaba por desaparecer completamente.

Procesos de Precipitación: Es necesario para que se formen nubes, que el vapor de agua de la atmósfera se transforme en gotitas de agua o en cristales de hielo. Sin embargo, estas partículas nubosas deben adquirir mayor masa para que se produzcan precipitaciones.

Tamaño de las gotitas nubosas: La determinación del tamaño de las gotitas de agua de las nubes ha sido objeto de importantes esfuerzos de investigación. La mayor parte de las experiencias de medida han sido hechas desde aviones, para determinados estudios, se han realizado en montaña.

Los tamaños de las gotitas medidas en diferentes partes del mundo son muy variables, estas gotitas se forman alrededor de núcleos de condensación de dimensiones, naturaleza y concentración variables.

Las partículas en suspensión en la atmósfera se clasifican frecuentemente en función de sus dimensiones:

a) Núcleos de Aitken ($< 0.1\ \mu$)

b) Grandes núcleos (0.1 - 1.0 μ)

c) Núcleos gigantes (> 1 μ)

Las cifras entre paréntesis indican los límites aproximados de los radios de los núcleos.

La mayor parte de los núcleos de Aitken son muy pequeños y exigen una sobresaturación importante para ser activos en la condensación. En la atmósfera son, pues, los grandes núcleos y los gigantes los que se apoderan antes del vapor de agua disponible. Los grandes núcleos, mucho más numerosos que los núcleos gigantes, juegan un papel muy importante en la formación de nubes.

Las gotitas de agua se reparten el vapor de agua disponible, y de ello resulta que, si es elevada la concentración de núcleos, las gotitas son más numerosas pero sus dimensiones medias son menores.

Crecimiento Inicial de las Gotitas Nubosas:

En el crecimiento de las gotitas nubosas interviene un determinado número de factores. Incluyen la humedad del aire que rodea las gotitas, los efectos de la tensión superficial y la naturaleza de los núcleos. Es igualmente importante la velocidad con la que puede trasferirse al aire envolvente el calor latente liberado por la condensación.

Al comienzo, la condensación del vapor sobre el núcleo es rápida. Las gotitas pueden crecer desde el tamaño del núcleo, hasta hacerse visibles en una fracción de segundo. El proceso se retarda en seguida y es poco probable que la condensación pueda, por sí sola, producir gotitas de un tamaño medio superior a 30 μ.

Para explicar la presencia de gotas mayores en las nubes, es necesario hacer intervenir las interacciones entre gotitas individuales. Resulta importante la colisión y reunión de gotitas de velocidades diferentes de caída (coalescencia) pa

ra favorecer el crecimiento de las gotitas de agua.

Mecanismo de la Coalescencia:

Un proceso importante que permite el crecimiento de las gotitas nubosas hasta el tamaño de gotas de lluvia, es la colisión directa y la coalescencia de gotitas - de agua. Las gotitas más pequeñas son incapaces de colisionar, pero el choque es posible cuando el radio de una de las gotitas excede de 18 μ. La eficiencia de las colisiones aumenta considerablemente para las gotas mayores.

Las colisiones y la coalescencia son necesarias para la formación de precipitaciones en nubes cálidas. La temperatura de estas nubes es superior a 0°C y están formados enteramente por gotitas de agua.

Igualmente hay gotitas líquidas en las nubes, cuya temperatura es inferior a 0°C estas gotitas en subfusión, de esta clase de nubes, pueden crecer de la misma manera por colisión y coalescencia entre ellas. Determinadas nubes contienen cristales de hielo.

Formación de Cristales de Hielo:

Se supone que la formación inicial de un cristal de hielo se produce por la congelación del agua en subfusión que rodea el núcleo.

Después de su formación, un cristal de hielo puede crecer, ya por transformación directa de vapor de agua en hielo (por sublimación), ya por la congelación de gotitas de agua en subfusión.

Proceso de Bergerón:

Un meteorólogo Sueco, T. Bergeron, propuso un mecanismo de crecimiento de cristales de hielo en nubes frías mixtas, es decir en presencia de gotitas de subfusión. Es necesario comprender que para una misma temperatura, la tensión de vapor saturante por encima del hielo es inferior a la tensión de vapor saturante por encima

del agua.

En 1911, Wegener sugirió que, en las nubes mixtas, la tensión de vapor debía estar equilibrada en un valor intermedio entre las tensiones de saturación por encima del hielo y por encima del agua. Bergeron adoptó esta hipótesis en 1923, para explicar el crecimiento de los cristales de hielo en las nubes mixtas. Cuando un cristal de hiello coexiste con gotitas de agua en subfusión, hay un desequilibrio, de modo que la tensión de vapor no es saturante para gotitas líquidas que tienden por consiguiente a evaporarse.

Simultáneamente la tensión de vapor es superior a la tensión saturante para el hielo. El vapor de agua entonces se transforma directamente en hielo y se deposita sobre los cristales de hielo. De todo ello resulta que los cristales de hielo crecen en detrimento de las gotitas de agua.

Para temperaturas ligeramente inferiores a 0°C, la velocidad de crecimiento de los cristales de hielo en las nubes mixtas es poca y diferente de la de las gotitas de agua. Sin emabrgo, para temperaturas inferiores a -10°C, los cristales de hielo crecen más rápidamente que las gotitas de agua. El traspaso directo de vapor tienen su máximo de eficacia para temperaturas próximas a -15°C.

Se ha supuesto, al principio, que toda gota de lluvia, o gran parte de ellas, tenía su origen en un cristal de hielo en una nube mixta. Para que esto suceda de esa manera sería necesario que todas las nubes productoras de lluvia se encontrasen por encima de la isoterma de 0°C.

Este no es el caso indudablemente. Las fuertes tormentas tropicales, por ejemplo, son producidas por nubes cumuliformes, cuyas cimas están situadas muy por debajo del nivel de la isoterma de 0°C.

En efecto el proceso de Bergeron se aplica esencialmente, al crecimiento inicial de los cristales de hielo. El crecimiento de los cristales de hielo por sublimación no puede ser rápido, sino en pequeños cristales; se retarda cuando su tamaño crece.

Es necesario que intervenga un proceso de colisiones para la formación de partículas más gruesas. También en las nubes donde hay sub-fusión, las colisiones pueden provocar la congelación de gotitas de agua sobre un cristal de hielo o sobre un copo de nieve. En determinados casos estas capas se pueden formar de la reunión de cristales de hielo.

Formación de precipitaciones:

Es indiscutible que el crecimiento de las gotitas de agua y de los cristales de hielo se lleva a cabo en las nubes. Así como se sabe que las nubes se forman y se desarrollan en la atmósfera, casi exclusivamente, por la expansión del aire húmedo ascendente y el enfriamiento que de ella resulta.

Cuando el aire ascendente se eleva por encima del nivel de condensación, los núcleos de condensación más activos se transforman en gotitas. Si el enfriamiento alcanza temperaturas inferiores a 0°C, resulta necesariamente la congelación de las gotitas.

Puede producirse la subfusión en ausencia de núcleos de congelación en el aire. Son partículas que se diferencian de los núcleos de condensación y que son mucho más raras. Por esta razón, no hay sino raramente una cantidad apreciable de cristales de hielo en las cimas de las nubes mientras su temperatura no es inferior a -20°C.

El crecimiento de las gotitas de agua por condensación es al principio rápido - pero decrece cuando las gotitas se van haciendo de mayor tamaño. Del mismo modo el crecimiento de los cristales de hielo, según el proceso de Bergeron, es rápido mientras son pequeños, pero se retarda cuando sus dimensiones aumentan.

Es necesario que intervenga un proceso de crecimiento por colisiones para que - pueda alcanzarse un tamaño de partículas líquidas o sólidas precipitables. Los cristales de hielo o las gotitas de agua de mayor masa tienen una velocidad de caída superior a la de las partículas más pequeñas, y, si sobrepasan una dimensión crítica, entran en colisión con las que encuentran en su trayectoria.

Las gotitas de agua pueden reunirse por coalescencia para formar gotitas líquidas en subfusión, que se congelan al contacto con los cristales o entrelazándose para formar copos de nieve.

Finalmente, las gotitas de agua o las partículas de hielo alcanzan dimensiones tales que las corrientes ascendentes no pueden mantenerlas en la nube. Aún pueden producirse colisiones entre partículas de dimensiones y velocidades de caída diferentes, lo cual ocasiona el crecimiento de algunas de ellas. Sin embargo, en el transcurso de la caída por debajo de la nube, las partículas líquidas tienden a evaporarse y las partículas sólidas a fundirse o sublimarse. Si las partículas no se evaporan completamente mientras caen en el aire no saturado - que atraviesan por debajo de la nube, se dice que hay precipitación. Si no alcanzan el suelo, pero parecen suspendidas a una determinada altura por debajo de las nubes, se les designa con el nombre de Virga.

Diversos tipos de precipitación:

Cualquier producto formado por la condensación del vapor de agua atmosférico en

el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro. Puesto que en este estudio interesa principalmente la precipitación, únicamente se definirán aquellos hidrometeoros que caen.

Llovizna: Consiste en pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5 mms, las cuales tienen velocidades de caída tan bajas que ocasionalmente parece que estuvieran flotando.

Lluvia: Consiste de gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor de 0.5 mms.

Escarcha: Es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire, que se forma en superficies expuestas por el congelamiento del agua superenfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna.

Nieve: Está compuesta por cristales de hielo blancos o traslúcidos principalmente de forma compleja, combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples, algunas veces los conglomerados forman los copos de nieve, que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro; la densidad de la nieve fresca varía grandemente y por lo general, se requieren de 125 a 500 mms. para formar 25 mms. de agua líquida.

Granizo: Es precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se produce por nubes convectivas, los granizos pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular y su diámetro varía entre 5 a más de 125 mms.

Localización de Estaciones dentro y fuera de la Cuenca. (Adjunto mapa No.1; identificación de la cuenca y las estaciones dentro y fuera de ella.

Para efectuar el respectivo análisis de precipitación se hizo necesario considerar estaciones ubicadas dentro de la cuenca y fuera de ella. Las estaciones consideradas fuera de la cuenca pertenecen a las adyacentes: Al Este la - cuenca del río Coyolate y al Oeste la cuenca del río Nahualate y la cuenca de Atitlán.

ESTACION	TIPO	LATITUD	LONGITUD	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	CLAVE	CUENCA
Sn. Francisco Miramar	D	14°30'	91°11'	Sta. Bárbara	Suchitepéquez	20.19.7	Nahualate
Sta. Teresa	C	14°33'	91°7'45"	Sn. Lucas Tolimán	Sololá	19.10.4	Madre Vieja
Recuerdo	C	14°36'58"	90°54'45"	Patzicía	Chimaltenango	3.5.2P	Coyolate
Sta. Cruz Quixayá	C	14°31'	91°7'40"	Sn.Lucas Tolimán	Sololá	19.10.3	Madre Vieja
Los Tarrales	C	14°31'	90°8'20"	Patulul	Suchitepéquez	20.4.4	Madre Vieja
Luisiana	C	14°27'	91°8	Patulul	Suchitepéquez	20.4.6	Madre Vieja
Moca	B	14°32'	91°14'	Sta. Bárbara	Suchitepéquez	20.19.5	Nahualate
Monte de Oro	D	14°33'	91°14'	Santiago Atitlán	Sololá	19.19.2	Nahualate
El Vesubio	D	14°32'	91°9'45"	Patulul	Suchitepéquez	20.4.8	Madre Vieja
Patulul-Fegua	D	14°25'	91°10'	Patulul	Suchitepéquez	20.4.5	Madre Vieja
Mirandilla	D	14°30'	91°5'	Pochuta	Chimaltenango	3.7.6	Coyolate
Costa Rica	D	14°31'	91°5'	Pochuta	Chimaltenango	3.7.1	Coyolate
Sta. Anita		14°48'	91°59'	El Tumbador	Sn. Marcos		
Peña Plata	C	14°27'	91°5'	Sn. Pedro Yepocapa	Chimaltenango	3.12.6	Coyolate

La Asunción	D	14°28'	91°14'	Sta. Bárbara	Suchitepéquez	20.19.3	Nahualate
Sto. Tomás Perdido	C	14°35'40"	91°7'32"	Sn. Lucas Tolimán	Sololá	19.10.2	Madre Vieja
Vista Bella	C	14°44'32"	90°58'22"	Sta. Apolonia	Chimaltenango	3.13.1	Coyolate
Juan de Argueta	C	14°8'40"	91°13'32"	Sololá	Sololá	19.1.5	Atitlán
Santiago Atitlán	B	14°7'56"	91" 3'53"	Santiago Atitlán	Sololá	19.19.4P	Atitlán

Datos de precipitación de las estaciones dentro y fuera de la cuenca del río Madre Vieja

ESTACION	TIPO	PROMEDIO LLUVIA ANUAL	PROMEDIO DIAS LLOVIDOS AL AÑO
Sn. Francisco Miramar	D	2860 mms.	173
Sta. Teresa	C	2900 "	163
Recuerdo	C	1343 "	131
Sta. Cruz Quixayá	C	2584 "	121
Los Tarrales	C	3024 "	157
Luisiana	C	3473 "	159
Moca	B	4518 "	189
Monte de Oro	D	3833 "	187
El Vesubio	D	3586 "	158
Patulul, Fegua	D	3184 "	119
Mirandilla	D	3307 "	158

Costa Rica	D	3788 mms.	147
Peña Plata	C	3186 "	168
La Asunción	D	2200 "	115
Sto. Tomás Perdido	C	2513 "	128
Vista Bella	C	1264 "	132
Sn. Juan de Argueta	C	1092 "	75
Santiago Atitlán	B	900 "	103

Con la información anterior se procede al análisis de precipitación:

Para el análisis de precipitación en una cuenca; existen algunos métodos comúnmente empleados, ellos son:

a) Método promedio aritmético

b) Método polígono de Thiessen

c) Método de Isoyetas

a) Método promedio aritmético: Consiste en analizar las precipitaciones de cada una de las estaciones a considerar y luego promediar estos valores.

Para el caso particular de la Cuenca del río Madre Vieja se consideran útiles para el efecto 6 estaciones (ver cuadro)

$$\overline{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots P_n}{n}$$

$\overline{P}$ = Precipitación promedio anual de la cuenca ; n = No. de estaciones

Pi = Precipitación de cada estación que se encuentra dentro de la cuenca

Las estaciones ubicadas dentro de la Cuenca del río Madre Vieja son:

ESTACION	TIPO	PROMEDIO LLUVIA ANUAL	IDENTIFICACION
Santa Teresa	C	2900	19.10.4
Sta. Crux Quixayá	C	2584	19.10.3
Los Tarrales	C	3024	20.4.4
Luisiana	C	3473	20.4.6
Patulul, Fegua	D	3184	20.4.5
Sto. T omás Perdido	C	2513	19.10.2

= 17,678

$\Sigma Pi = 17678$

$n = 6$

$\bar{P} = 17678/6 = 2946$ mms.

En términos generales el promedio anual de lluvia en la cuenca del río Madre Vieja calculado a través del método promedio aritmético es de: 2946 mms.

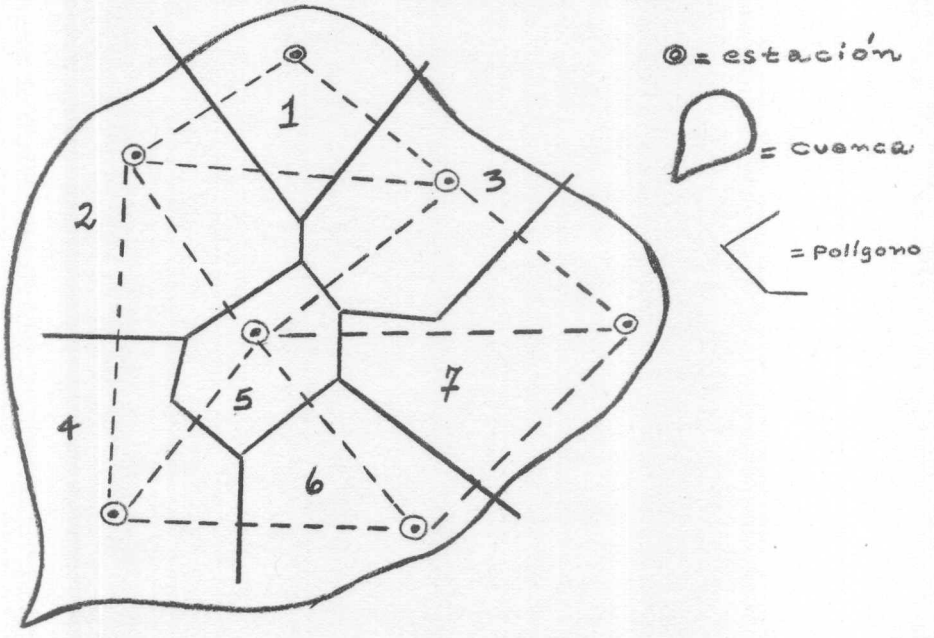
b) Método polígono de Thiessen aplicado a la cuenca del río Madre Vieja.

El método polígono de Thiessen trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos, las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices o perpendiculares bisectrices de esas líneas, forman polígonos alrededor de cada estación. Los lados de cada polígono son los límites del área efectiva que se considera para cada estación. El área de cada polígono se determina utilizando un planímetro y se expresa como un porcentaje -

del área total se calcula multiplicando la precipitación en cada estación por su porcentaje de áreas asignado y sumando estos valores parciales.

Los resultados son por lo general, más exactos que aquéllos obtenidos por un simple promedio aritmético. La mayor limitación del método de Thiessen es - su poca flexibilidad, puesto que se requiere un nuevo diagrama cada vez que existe un cambio en la red de estaciones a considerar.

Ilustración del método Polígono de Thiessen



en la ilustración se observan 7 polígonos formados. El área a considerar será la de cada polígono correspondiente dentro de los límites de la cuenca.

D eberá considerarse la precipitación promedio de cada estación y cada uno de estos valores multiplicados por el área que corresponda al polígono que incluye a cada estación. Todos los productos que resulten de esa manera se suman y el resultado se afecta por un divisor equivalente al total del ´area de la cuenca.

$$\bar{P} = \frac{P.a. + P_2a_2 + P_3a_3 \ldots . P_n}{\Sigma a}$$

$\bar{P}$ = Precipitación promedio de la Cuenca

$P., P_2 \ldots P_n$ = Precipitaciones de cada estación

a = Area total de la cuenca

$a., a_2 \ldots a_n$ = áreas de los polígonos

PRECIPITACION MEDIA

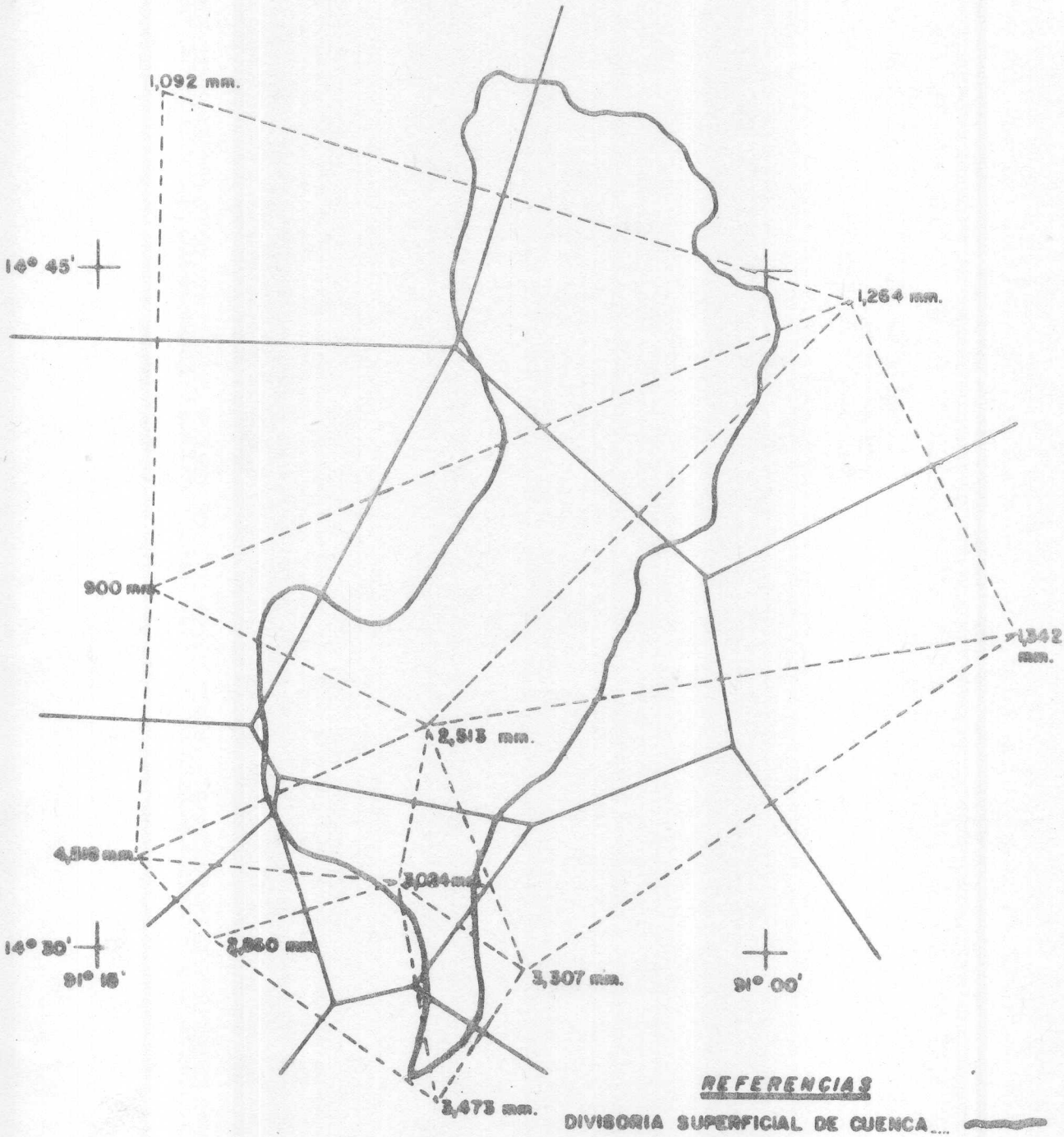
Calculada a través del Método de Thiessen

Estación	Precipitación	Area	%	Volumen de Precipitación
19.19.4P	900	9.38	2.72	2448.00
19.01.05	1092	18.75	5.44	5940.48
03.13.01	1264	137.50	39.93	50471.52
19.10.02	2513	131.88	38.30	96247.90
20.04.04	3024	30.63	8.89	26883.36
03.07.06	3307	8.75	2.54	8399.78
20.04.06	3473	5.00	1.45	5035.85
20.19.05	4518	2.50	0.73	3298.14
		Kms^2 344.38	100.00	198725.03

Precipitación media anual = 1987.25 mms.

CUENCA DEL RÍO MADRE VIEJA
HASTA LA ESTACIÓN PALMIRA

MÉTODO DE THIESSEN

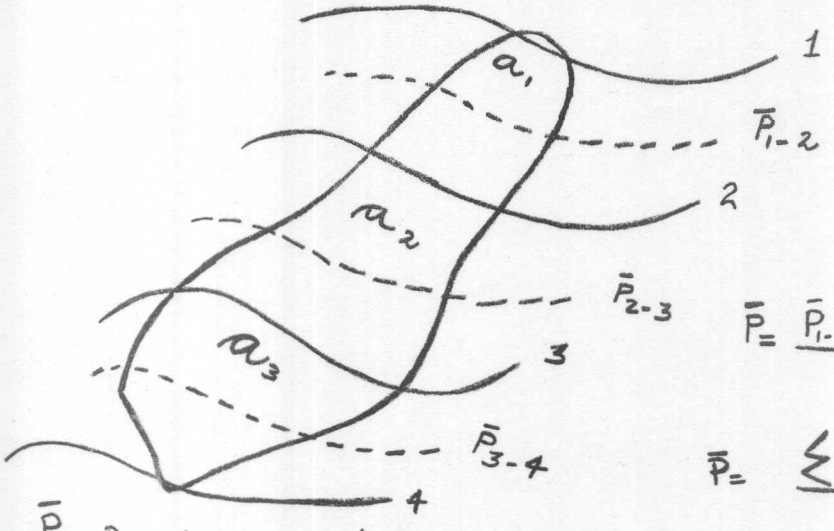


Método de las Isoyetas.

Es el método más exacto para promediar la precipitación sobre 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 de igual 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 de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo por el área total.

El método de las isoyetas permite el uso y la interpretación de toda la información disponible y se adapta muy bien para discusión. En la construcción de un - mapa de isoyetas, el analista puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos y la morfología de la tormenta. En este caso el mapa final debe representar un patrón mucho más real de la precipitación que aquel - que se puede obtener utilizando únicamente las cantidades medidas.

Ilustración del Método de las Isoyetas



$$\bar{P} = \frac{\bar{P}_{1-2}a_1 + \bar{P}_{2-3}a_2 + \bar{P}_{3-4}a_3}{\Sigma a}$$

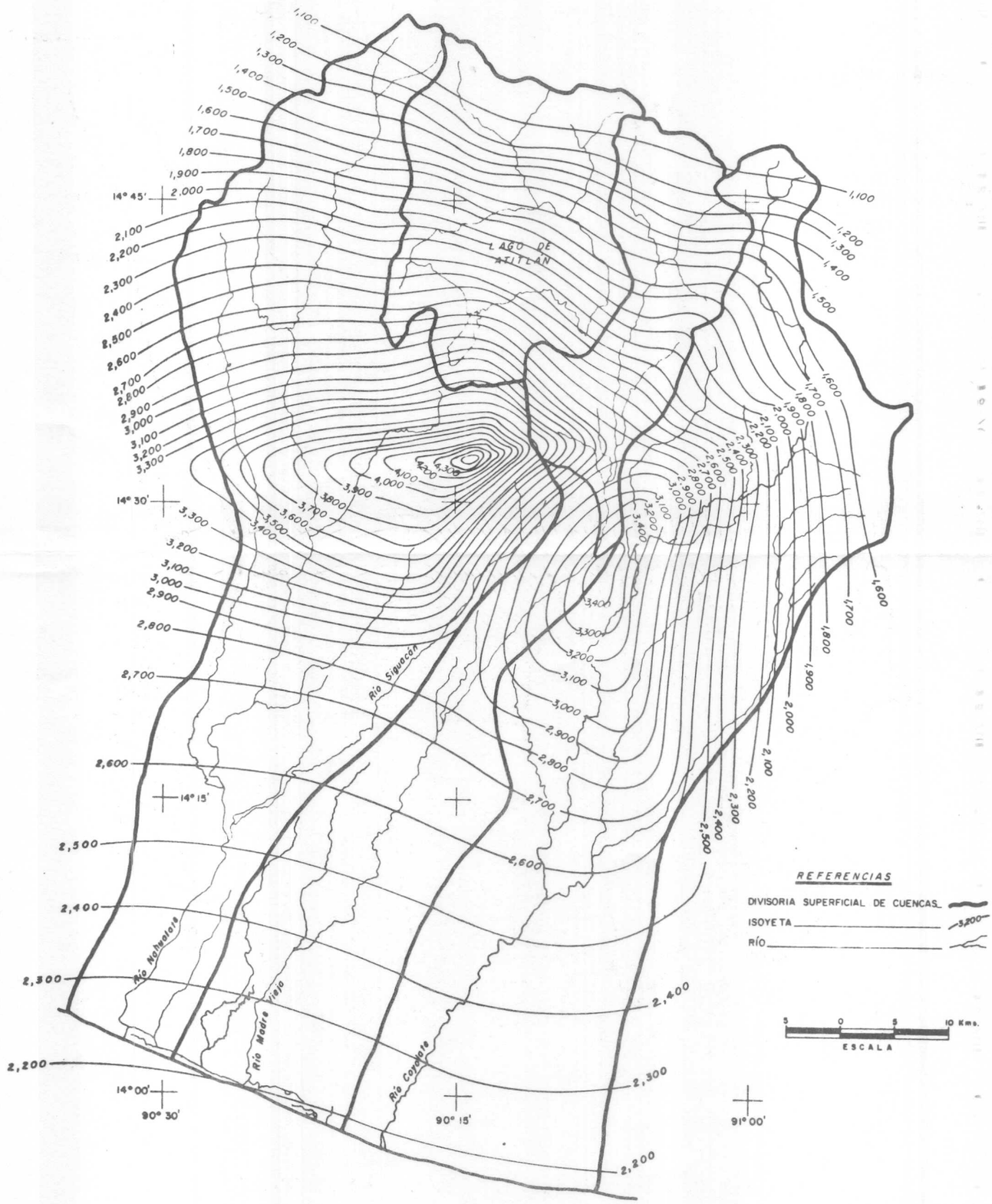
$$\bar{P} = \frac{\Sigma a_i \bar{P}_i}{A}$$

$\bar{P}$ = Precipitación Promedio del área ; A = área de la cuenca.
a_i = área de la cuenca comprendida entre dos isoyetas.

CUENCA DEL RÍO MADRE VIEJA

HASTA LA ESTACION PALMIRA

METODO DE LAS ISOYETAS MEDIAS AÑOS 1968-1978



$$\bar{P} = \frac{\bar{P}_{1-2}\, a. + \bar{P}_{2-3} a_2 + \bar{P}_{3-4} a_3 \ldots\ldots \bar{P}_n\, a_n}{\Sigma\, a}$$

$$\bar{P} = \frac{ai\ \bar{P}i}{A}$$

$\bar{P}$ = Precipitación promedio del área

$\bar{P}i$ = Precipitación promedio entre dos isoyetas consecutivas

ai = Area de la cuenca comprendida entre dos isoyetas

A = Area total de la Cuenca.

Para el trazo de isoyetas sobre la cuenca del río madre vieja se consultaron datos de lluvia promedio anual de cada una de las estaciones contempladas en

Precipitación media calculada a través del Método de Isoyetas

Isoyeta (mm)	Area Neta	% Area	Isoyeta Media	Volumen de Pp
1000	15.63	4.54	1050	4767.00
1100	30.00	8.71	1150	10016.50
1200	16.25	4.72	1250	5900.00
1300	15.63	4.54	1350	6129.00
1400	17.50	5.08	1450	7366.00
1500	15.63	4.54	1550	7037.00
1600	17.50	5.08	1650	8382.00
1700	17.50	5.08	1750	8890.00
1800	10.63	3.09	1850	5716.50
1900	15.63	4.54	1950	8853.00
200	11.25	3.27	2050	6703.50
2100	11.88	3.45	2150	7417.50

Isoyeta (mm)	Area Neta	% Area	Isoyeta Media	Volumen de Pp
2200	13.75	3.99	2250	8977.50
2300	10.00	2.90	2350	6815.00
2400	10.63	3.09	2450	7570.50
2500	10.00	2.90	2550	7395.00
2600	15.63	4.54	2650	12031.00
2700	15.00	4.36	2750	11990.00
2800	15.63	4.54	2850	12939.00
2900	14.38	4.18	2950	12331.00
3000	11.88	3.45	3050	10522.50
3100	10.00	2.90	3150	9135.00
3200	8.75	2.54	3250	8255.00
3300	6.88	2.00	3350	6700.00
3400	3.13	0.91	3450	3139.50
3500	2.50	0.73	3550	2591.50
3600	1.25	0.36	3650	1314.00
	344.38 Km^2	100.02		208884.50

Precipitación media anual = 2088.85

Tipo de Precipitación en la Cuenca

En la cuenca del río Madre Vieja se hacen presentes los tres tipos de precipitación

Convectiva: Generalmente este tipo de precipitación es manifiesta en la parte baja de la cuenca, originándose por el ascenso de masas de aire cargadas de humedad, debido al calentamiento que sufren en cercanías a la superficie del suelo; como consecuencia de ello las masas de aire pierden densidad y ascienden, siendo el espacio que abandonan inmediatamente ocupado por masas de aire frío (convección térmica) las cuales sufren del mismo proceso.

Orográfica: Generalmente los vientos provenientes del océano pacífico (poco persistentes a causa de la circulación marítima) son dirigidos a lo largo del perfil longitudinal de la cuenca lógicamente inician su ascenso mecánico a lo largo de - cadenas montañosas por medio de las cuales las masas de aire cargadas de humedad - que han ascendido se enfrían y consecuentemente precipitan.

Ciclónica: Es manifiesta en la zona de la cuenca, generalmente en los últimos meses de la estación invierno. resulta del levantamiento del aire, que converge en - un área de baja presió o ciclón.

ANALISIS DE TEMPERATURA EN LA CUENCA

El análisis de temperatura en una región objeto de estudio hidrológico es de suma importancia ya que este meteoro es determinante en la realización de las precipitaciones que a la vez deberán considerarse en el mismo estudio.

Medición de la Temperatura:

Con el fin de medir correctamente la temperatura del aire, los termómetros deben ser colocados en sitios donde la circulación de aire no obstruya, y al mismo tiempo donde estén protegidos de los rayos directos del sol y de la precipitación. Los termómetros se colocan en cubiertas protectoras de instrumentos blancas, de madera y con persianas o rejillas de ventilación a través de las cuales el aire pueda moverse fácilmente, la localización de las cubiertas protectoras debe ser típica del área para la cual las temperaturas medidas se consideren representativas.

En la mayor parte de las estaciones que pretenden llevar registro de temperaturas, se toman observaciones diarias a saber: Las temperaturas instantaneas, máximas y mínimas. Un termómetro de mínimos, del tipo de alcohol en recipiente de vidrio, tiene un indicador que permanece a la menor temperatura que se produjo desde que se colocó por última vez. El termómetro de máximos tiene una contracción cerca del recipiente de mercurio que impide que el mercurio regrese al recipiente cuando la temperatura disminuye, registrando de esta manera la máxima temperatura del día.

En meteorología interesa conocer las temperaturas del aire, aquí en Guatemala se registra en las estaciones temperatura diaria consultando los termómetros a las 7 horas, 13 horas y 18 horas.

Obtener el dato de temperatura no es sencillo, ya que un termómetro colgado en la pared no dará la temperatura del aire sino la de la pared. Por ello la instalación del termómetro ha de rodearse de una serie de precauciones que son:

a) Sus apoyos serán lo más reducido posible, dejando el depósito completamente - al aire;

b) Una gran cantidad de aire ha de estar en contacto con el termómetro, en el menor tiempo posible, por ello utilizan termómetros con ventilación forzada.

c) El termómetro ha de estar protegido de los rayos solares, y para ello se instala en una garita o abrigo meteorológico.

La garita será fijada sólidamente para evitar que las trepidaciones puedan alterar las indicaciones de los instrumentos, el observador cuidará no golpear dicha garita al hacer la observación.

Los termómetros deben tratarse muy cuidadosamente para evitar roturas de capilares o separación de columnas indicadoras, hechos estos no siempre advertidos de inmediato, en especial por observadores no profesionales de las estaciones climáticas.

Termómetros para medir la Temperatura Actual. Para medir la temperatura del aire hay instalado en la garita un termómetro. Formando pareja con él, hay otro que - lleva el depósito de mercurio recubierto con una muselina que se humedece al hacer la observación y que nos permite definir la humedad, constituyendo lo que se llama un psicrómetro el primer termómetro se denomina termómetro seco y el de depósito - cubierto, termómetro húmedo o mojado. Ambos van instaldos en un soporte especial y están ampliamente aireados mediante un ventilador mecánico de cuerda.

Lectura de los termómetros: La lectura de los termómetros exige un máximo cuidado, evitando siempre tocarlos con las manos o afectarlos con el aliento, debe ser rápida y precisa, manteniendo la puerta de la garita abierta el menor tiempo posible. -

Para hacer la observación de temperatura deberá procederse así:

Se abre cuidadosamente la puerta haciendo rápidamente una lectura de los termómetros que no se anota.

Se humedece la muselina del termómetro húmedo utilizando el vasito al efecto, se -

coloca el ventilador y se le da cuerda, cerrando la puerta. Al cabo de unos minutos, se abre y se hace la lectura de ambos termómetros, anotando grados y décimos de grados, teniendo en cuenta que las escalas de estos termómetros están graduados en grados, rayas horizontales más largas y cada dos décimas de grados, rayitas más cortas y van numerados de diez en diez grados. Entonces cuando el menisco del mercurio (superficie libre del líquido termométrico) coincide con una de las rayitas largas, la lectura corresponde a un número entero de grado centígrados, que se cuenta a partir del inmediato inferior numerado. Si la coincidencia es con una de las rayitas cortas, se contarán grados enteros hasta la rayita larga inmediatamente inferior y un número par de décimas, correspondiente al doble de rayitas cortas desde aquella de coincidencia.

Finalmente si el mecanismo queda entre dos rayitas cortas se cuentan como décimas, el doble del número de rayitas cortas que cubre el mercurio más una.

Atenciones varias:

Las varillas de los termómetros, al efectuar la lectura, deben estar completamente secas. Para comprobar que la lectura del termómetro húmedo es la correcta, basta repetirla momentos depués, el valor obtenido debe ser igual o mayor, si es menor, es señal que no se ha esperado el tiempo necesario para que la columna de mercurio del termómetro baje, definiéndose exactamente la depresión de temperatura, diferencia entre la temperatura del termómetro seco (minuendo) y la del húmedo (sustraendo que será siempre menor o a lo más igual al minuendo, caso de atmósfera saturada de vapor de agua).

El ventilador debe colocarse al iniciar cada observación, retirándolo al terminarla y guardándolo en su caja.

Debe verificarse periódicamente su velocidad de rotación a fin de asegurar la misma ventilación para todas las observaciones.

En tiempo muy seco y caluroso hay que tener cuidado de humedecer bien la muselina la cual se ha conseguido cuando se ve una gota de agua en el extremo.

Tipos de temperatura mesurables

Temperatura promedio diaria: Es aquella resultante del promedio de las temperaturas horarias si la consulta se lleva a cabo con termógrafo. $t = \sum_{1}^{24} \frac{ti}{24}$; y es la llamada temperatura media verdadera.

Cuando la estación meteorológica cuenta únicamente con termómetro, es usual que las observaciones climatológicas referentes a la temperatura se realicen a horas seleccionadas; aquí en Guatemala, como ya se indicó, se realizan las lecturas termométricas 3 veces al día; en la mañana a las 7 horas; a medio día a las 13 horas, y por la tarde a las 18 horas. De tal forma que se permita el cálculo de los promedios diarios, aplicando una fórmula que da el promedio diario como una función lineal de los valores observados, y con constantes que dependen del número de observaciones, la época del año y la localización de la estación.

Temperaturas extremas: Se llama así al valor más bajo y más alto que tuvo la temperatura del aire durante un día determinado. En los casos de estaciones climáticas sin registradores, con una sola observación diaria, los valores extremos corresponderán al período de 24 horas comprendido entre las dos observaciones sucesivas en que se leen y anotan dichos datos.

Temperatura Mínima: La temperatura mínima se define con el termómetro de mínima instalado en la garita en posición horizontal. La temperatura mínima se lee normalmente en la primera observación de la mañana (12:00 horas TMG, en la región centroamericana con las variaciones nacionales establecidas). Como en ciertos lugares y circunstancias puede darse el caso que la temperatura mínima del día se produzca después de esa hora, las instrucciones que se impartan dentro de ca-

da país a los observadores sinópticos, o de estaciones climáticas con 2 ó 3 observaciones diurnas, deben contemplar esa posibilidad y el modo de acción a seguir según se disponga o no de un termógrafo. Al hacer la lectura se encontrará el índice separado del menisco, y solamente estára unido al menisco cuando la temperatura mínima se produce en el momento de hacer la observación coincidiendo con el ambiente.

Estos termómetros están graduados en grados centígrados (celsius) y medios grados, númerados de diez en diez grados, los trazos más largos definen grados enteros, y los más cortos medios grados, el número de décimas las deberá estimar el observador.

Cuando se registran temperaturas por debajo de cero debe tenerse presente que la graduación se debe contar creciente hacia el depósito poniendo signo menos; se cuentan tantos grados enteros como rayas largas aparecen, y las decimas por encima o por debajo de cinco. Para que el termómetro de mínima quede dispuesto para una nueva observación hay que "ponerlo en estación". Para ello basta inclinarlo con el depósito más alto que la varilla, con lo cual el índice metálico se deslizará (por su propio peso) hasta tocar el menisco.

Temperatura del césped: En las estaciones meteorológicas principales existen dos tipos de termómetros de mínima, el situado en la garita que da la mínima del aire a 2 metros del suelo y el de mínima junto al suelo; en algunas estaciones este termómetro de césped va dividido de dos en dos décimas en vez de medios grados como es el caso general; para su lectura entonces el observador se ceñirá a lo previsto para los termómetros del psicrómetro en cuanto a valoración de décimas, sólo que la hará en el punto indicado por el extremo derecho del índice metálico.

Temperatura máxima: La temperatura máxima se determina con el termómetro de má-

xima. La temperatura máxima debe leerse normalmente en la última observación - del día, la que con las variaciones nacionales del caso, corresponde a las 24 - horas; TMG, en la región centroamericana. También en este caso es necesario que las instrucciones para los observadores de las estaciones sinópticas y climáticas con 2 ó 3 observaciones diarias, contemplen la posibilidad de que la temperatura - máxima se produzca más tarde de la hora normal de observación. La lectura deberá hacerse en la división que coincide con el extremo de la columna de mercurio teniendo en cuenta que está graduado en grados (rayas largas) y de dos en dos décimas (rayitas cortas).

Para que el termómetro de máxima quede dispuesto para una nueva observación hay que ponerlo en estación. Para ello se toma su soporte, cogiéndolo por la parte más alejada del depósito, y se le hace oscilar suavemente describiendo un cuarto de círculo hasta que la columna quede unida, o se le sacude suavemente. En algunos casos el estrechamiento del capilar del termómetro de máxima puede romperse o ensancharse debido al impacto del mercurio sobre él, en la "puesta de - estación", se aprecia esto por una mancha en esta zona, el termómetro queda inutilizado y hay que instalar uno nuevo.

Cuidados comunes a los termómetros:

Deben estar perfectamente limpios, la columna no debe estar cortada o con burbujas entre el líquido termométrico, pues las lecturas estárán falseadas. Casi - siempre queda corregido el defecto aplicando al termómetro el proceso de puesta en estación del termómetro de máxima. Cuando no se consigue unir la columna sacudiendolo se intentará hacerlo calentándolo, para lo cual expondremos al vapor de agua calentándose, tomando la precaución de retirarlo en cuanto el extremo de la columna llegue a la pequeña cavidad que el tubo capilar tiene en su extremo.

Para casos rebeldes será necesario poner en conocimiento a la oficina central, cablegráficamente a fin de que sea sustituido y reparado.

Observación de la temperatura del suelo y sub-suelo:

Para todos los estudios de meteorología agrícola, tiene un gran interés el conocimiento de la temperatura del suelo y del sub-suelo, además la tierra es el transmisor a la atmósfera del calor que en principio procede del sol, por lo tanto también es fundamental este conocimiento para otros estudios meteorológicos.

La capa superficial de la tierra es la que experimenta mayores oscilaciones de temperatura, oscilaciones que se propagan muy amortiguadas tanto en el aire como en la tierra, pero mucho más en este segundo medio.

Termómetro de Mínima junto al suelo:

Para determinar la pérdida del calor del suelo, transferido en casi su totalidad al aire, se determina la temperatura mínima junto al suelo utilizando un termómetro de mínima que se instala sobre dos horquillas durante la noche a unos 2 a 5 cms, del suelo en posición horizontal.

Para la realización de la observación de los termómetros de mínima junto al suelo deben seguirse análogas normas que para la del termómetro de mínima del aire, situada en la garita o abrigo meteorológico.

En las estaciones agrometeorológicas de primer orden hay tres campos, en diferentes condiciones de exposición, suelo desnudo, con hojarasca (mulch) y con césped, y en los tres hay termómetros de mínima junto al suelo.

En las estaciones de segunda orden solamente hay campo desnudo, y campo con césped.

Termómetros de Sub-suelo. La temperatura del subsuelo se determina en las tres circunstancias antes mencionadas de exposición, de forma que se dispone de tres campos de geotermómetros en las estaciones de primer orden y de dos campos de -

geotermómetros en las de segundo orden. Los termómetros utilizados en cada campo son los mismos y en análoga distribución.

En las estaciones del proyecto hidrometeorológico centroamericano, se determinan las temperaturas del subsuelo a todas o algunas de las siguientes profundidades.

2 cms.		20 cms.
5 cms.	y	30 cms.
10 cms.		50 cms.
15 cms.		100 cms

Para las pequeñas profundidades 2 cms. a 30 cms.; se utilizan termómetros de varilla acotada, cuyo depósito permanece enterrado permanentemente a la profundidad que se determina, sobresaliendo la varilla lo suficiente para permitir su lectura en todo el intérvalo de temperaturas probable según las circunstancias que concurran en el lugar del emplazamiento. Estas varillas van sujetas a un soporte apropiado, y todo el juego de termómetros se protege contra posibles golpes con una malla fina en un soporte, que no ejerce influencia alguna sobre las lecturas. La graduación de estos termómetros presenta divisiones de grado en grado (°C) y subdivisiones de dos en dos décimas de grado, las escalas suelen ser desde -25°C a más de 60°C.

Para definir la temperatura a 50 y 100 cmas. Se utilizan termómetros montados en una vara de madera. La instalación se realiza en un pozo estrecho, en el que se introduce la vara o soporte de madera o metal; la disposición en el del termómetro es la siguiente: Un termómetro ordinario encerrado en un tubo de cristal en cuyo fondo, rodeando el depósito va una cierta cantidad de parafina; el conjunto va dentro de un tubo de madera a la profundidad requerida que permite ver la columna y la escala del termómetro. Exteriormente una tapa de zinc o metal con asa, sirve para sacar el aparato y leer las lecturas, a la vez que evita que entre agua en el pozo del termómetro. La graduación suele ser de -10°C a más de 30°C, subdividida en décimas de grado.

La lectura de los geotermómetros se lleva a cabo en las estaciones del país a - las 7, 13 y 18 horas.

Escalas de temperatura: La escala de temperatura utilizada en meteorología es - la escala Celsius (°C), cuyos dos puntos fijos son el punto de fusión del hielo (0°C) y el punto de ebullición normal del agua (100°C),

Existe otra escala que no es utilizada aquí en nuestro medio, pero si es útil para otros lugares, esta es la escala de Fahrenheit (t°F) cuyos puntos fijos son 32° F (fusión del hielo) y 212°F (ebullición del agua) Pero para el cifrado de los - mensajes de observación que se intercambian en el plano internacional. La OMM (Organización Meteorológica Mundial) ha adoptado oficialmente la escala de Celsius. La ecuación que permite convertir los grados Fahrenheit en grados celsius es la siguiente:

$$T°C = \frac{5}{9} \ (T°F - 32)$$

En un gran número de estudios científicos se utiliza <u>la escala termodinámica - absoluta Kelvin de temperatura</u> (T°K), cuyo punto fijo fundamental es el punto triple del agua pura, es decir el punto de equilibrio entre el estado sólido, el líquido y el gaseoso del agua. La ecuación que permite convertir los grados Kelvin en grados celsius, es la siguiente:

$$t°C = T°K - 273.15$$

Temperatura del aire en superficie: En lenguaje meteorológico, se entiende por temperatura del aire en superficie la temperatura del aire libre a una altura - comprendida entre 1.25 mts. y 2 mts. sobre el nivel del suelo.

Sin embargo hay que señalar que para las necesidades de la agricultura puede ser necesario medir la temperatura a diferentes niveles comprendidos entre la superficie del suelo y 10 mts. aproximadamente por encima del límite superior

de la vegetación predominante. Las lecturas de temperaturas comprendiendo las de los valores extremos alcanzados durante el día, se hacen generalmente a horas fijas.

Como se ha hecho mención, para que los termómetros den una lectura representativa de la temperatura del aire, deben estar protegidos de la radiación solar, del cielo, de la tierra y de todos los cuerpos que los rodean. También es necesario que esten convenientemente ventilados.

Los dos medios de protección que generalmente se emplean actualmente son:

a) Garita meteorológica con persianas, o abrigo meteorológico.

b) Las pantallas de metal bruñido, como las que protegen al psicrómetro Assmann.

Descripción de la garita meteorológica o abrigo meteorológico.

Generalidades: La radiación del sol, de las nubes, del suelo y de los objetos circundantes, pasa a través del aire sin afectar apreciablemente su temperatura en las capas más bajas. En cambio un termómetro expuesto libremente, por lo común absorve la radiación completamente y, en consecuencia su temperatura, puede diferir con respecto a la temperatura verdadera del aire. Esta diferencia puede ser muy pequeña o aún nula, según la naturaleza y el acabado del termómetro, intensidad de las distintas clases de radiación, velocidad del flujo del aire que pasa por el termómetro etc; sin embargo, con la mayoría de los instrumentos comunmente en uso, la diferencia puede ser muy grande, a veces tanto como 10°C. Por eso es necesario proteger los termómetros contra la radiación directa de fuentes exteriores, precipitación, accidentes, etc. y permitir una circulación libre alrededor de los mismos, todo lo cual se logra con la garita meteorológica. Para obtener buenos resultados, la garita debe reunir ciertas condiciones, por ejemplo:

a) La temperatura en su interior deberá ser uniforme.

b) La temperatura de las paredes interiores deberá serigual a la del aire exterior cuya temperatura es la que se desea conocer.

Las condiciones antes descritas son difíciles de lograr, pero si se construyen las paredes de la garita con persianas dobles, doble techo y el piso hundido, de modo que permitan una amplia circulación de aire y se pinta de blanco a fin de reflejar la máxima cantidad de radiación, se eliminan casi por completo los errores que esos efectos pueden producir.

Cuando la luz solar es fuerte, las paredes exteriores de la garita se calientan a una temperatura mayor que la del aire y esta se altera al atravesarla; no obstante, si la garita está provista de paredes dobles, la capa de aire entre las dos paredes reducirá por conducción la temperatura del aire antes calentado.

La circulación del aire libre a través de toda la garita también tiene por objeto ayudar a cambiar rápidamente la temperatura de las paredes interiores y del termómetro cada vez que se produzca un cambio de temperatura. Si se confiara solamente en el intercambio de radiación como único mecanismo para cambiar la temperatura del termómetro entonces la inercia sería demasiado grande.

El aire que circula a través de la garita permanecerá cierto tiempo en contacto con las paredes exteriores y puede ser que su temperatura se altere por conducción. Este efecto casi siempre es nulo cuando la ventilación es fuerte, contrariamente, puede ser apreciable cuando el viento es ligero y la temperatura de la pared exterior difiere mucho de la temperatura del aire. Por eso, cabe suponer que la temperatura del aire en una garita meteorológica sea ligeramente mayor que la temperatura verdadera del aire en un día de mucha luz solar y viento en calma, y ligeramente más baja en noches despejadas y en calma. Estos errores pueden ser del orden de + 1.1 y -0.6 °C en los dos casos extremos.

Emplazamiento de la Garita Meteorológica.

Para casi todos los trabajos meteorológicos se necesita una temperatura que sea representativa del aire en condiciones libres, en una zona lo más amplia posible próxima a la estación, a una altura de 1.25 a 2 mts. sobre el nivel del suelo. La altura se debe especificar ya que en muchas ocasiones existen gradientes térmicos muy pronunciados en las capas más bajas de la atmósfera. Por lo tanto, el mejor lugar para emplazar la garita y los termómetros es un terreno llano lo más alejado posible de árboles y edificios, de modo tal que quede expuesta libremente al sol y al viento. Se debe dar preferencia a la zonas rurales toda vez que en las zonas urbanas se acentúan más las condiciones locales. Las observaciones de temperatura en azoteas son de poca importancia y su uso es dudoso debido a que la distribución vertical de la temperatura es muy irregular por efecto del edificio ya que los cambios en la vertical son rápidos.

Mantenimiento:

El único cuidado necesario para el mantenimiento adecuado de la garita es conservar limpias todas sus superficies pintadas de blanco, tanto interior como exteriormente, mantener su interior libre de polvo, para lo cual se limpiará ocasionalmente con un paño seco, e inspeccionar el montaje al objeto de garantizar que la garita no sufra daño por vientos fuertes.

Es importante que la garita meteorológica este bien orientada. Para evitar en la medida de lo posible, la influencia directa sobre el depósito de termómetro que podrían ejercer los rayos directos del sol cuando se abra la puerta de la garita, se recomienda orientar la garita de modo que la puerta quede al norte en el hemisferio norte y al sur en el hemisferio sur.

Gradiente de temperatura: El gradiente vertical de temperatura es la variación - de temperatura con la altura en una atmósfera libre.

El gradiente medio de temperatura corresponde a una disminución de cerca de 0.65 por cada 100 mts. de aumento en altura. Las mayores variaciones en el - gradiente vertical se encuentran en la capa de aire inmediata a la superficie del terreno. La tierra IRRADIA energía térmica al espacio en forma relativamente constante, en función de su temperatura absoluta en grados Kelvin; durante la noche la radiación incidente es inferior a la emitida.

El enfriamiento de la superficie produce a veces un incremento en temperatura con la altura o una inversión de temperatura en la capa superficial. Esto ocurre generalmente en noches claras, de calma, debido a la poca mezcla turbulenta del aire y a que la falta de nubes permite el escape de radiación sin obstáculos Las invesiones de temperatura también pueden observarse a una altura considerable cuando una corriente de aire caliente invade una masa de aire más frío. Durante el día los gradientes tienden a ser más pronunciados por la temperatura relativamente alta del aire en contacto con la superficie. Este calentamiento diurno generalmente elimina las inversiones de temperatura formadas durante la noche en las primeras horas de la mañana.

Distribución geográfica de la temperatura:

En general la temperatura del aire en la superficie tiende a ser mayor en latitudes bajas y disminuye en dirección de los polos. No obstante, esta tendencia se ve distorcionada por la influencia de las masas de tierra y agua, la topografía y la vegetación. En el interior de grandes islas y continentes, las temperaturas son más altas durante el verano y menores durante el invierno si se comparan con las temperaturas en las zonas costeras de la misma latitud. Las tempe

raturas en sitios elevados son inferiores a las de los niveles bajos y las ver - tientes meridionales tienen temperaturas más elevadas que las vertientes septentrionales. La disminución promedio de la temperatura del aire en contacto con - la tierra varía entre 0.6 a 0.65°C por cada 100 mts de altura. Las áreas boscosas - presentan valores mínimos más elevados y máximos más bajos que en las zonas desér ticas. La temperatura promedio en un área boscosa puede ser 1 ó 2°C más baja que la temperatura en campo abierto en condiciones similares; la diferencia aumenta - durante el verano.

Para el análisis de la temperatura en la cuenca del río "Madre Vieja" se tomaron en consideración los datos generados por las siguiente estaciones meteorológicas que a continuación se registran:

ESTACION	TIPO	CLAVE	MUNICIPIO
Peña Plata	C	03.12.06.	Yepocapa
Vista Bella	C	03.13.01.	Sta. Apolonia
El recuerdo	C	03.05.02	Patzicia
Luisiana	C	20.04.06	Patulul
Moca	B	20.19.05.	Santa Bárbara
Los Tarrales	C	20.04.04	Patulul
Sta. Teresa	C	19.10.04	Sn Lucas Tolimán
Sta. Cruz Quixayá	C	19.10.03	Sn. Lucas T olimán
Sto. Tomás Perdido	C	19.10.02	Sn. Lucas T olimán
Sn. Juan de Argueta	C	19.01.05	Sn. José Chacayá
Santiago Atitlán	B	19.19.04	Santiago Atitlán

Consecuentemente para la obtención de las Isotermas medias mensuales fue necesario considerar la temperatura de registro: O sea aquella temperatura representa

tiva de una zona; la cual se ha obtenido promediando cada temperatura mensual de cada año de registro.

DATOS DE TEMPERATURA

Estación: 03.12.06 Nombre: Peña Plata Municipio Yepocapa

Latitud: 14°27'05" Longitud: 91°05'20"

TEMPERATURA °C			
MES	Media	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	23.2	27.1	19.4
Febrero	23.7	27.4	20.0
Marzo	24.7	28.7	20.7
Abril	25.2	28.6	21.7
Mayo	24.5	28.1	20.9
Junio	24.0	26.7	21.2
Julio	24.1	27.0	21.2
Agosto	23.6	26.1	21.2
Septiembre	22.7	24.4	21.0
Otubre	23.6	26.3	20.9
Noviembre	23.6	26.6	20.6
Diciembre	23.1	26.5	19.7
A N U A L	23.9	27.1	20.7

ESTACION: 3.13.1 NOMBRE: Vista Bella MUNICIPIO: Sta. Apolonia

LATITUD: 14°44'32" LONGITUD: 90°58'22"

M E S	T E M P E R A T U R A °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	13.6	18.6	8.6
Febrero	14.2	19.7	8.7
Marzo	15.6	21.1	10.1
Abril	16.6	22.7	10.6
Mayo	17.3	32.0	12.6
Junio	16.5	20.3	12.7
Julio	16.4	20.5	12.2
Agosto	16.4	20.9	12.0
Sept.	15.6	19.4	11.8
Octubre	15.1	18.7	11.5
Nov.	13.9	18.2	9.6
Dic.	13.6	18.1	9.1
A N U A L	15.4	19.9	10.8

ESTACION: 03.05.02 NOMBRE: El Recuerdo MUNICIPIO: Patzicía

LATITUD: 14°37' LONGITUD: 90°54'32"

M E S	T E M P E R A T U R A °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	12.1	16.4	7.8
Febrero	12.4	16.9	8.0
Marzo	14.0	18.4	9.7
Abril	14.8	19.2	10.4
Mayo	15.4	18.7	12.0
Junio	15.0	17.8	12.2
Julio	15.4	18.9	11.8
Agosto	14.0	17.2	10.9
Sept.	14.2	16.7	11.6
Octubre	13.8	16.7	10.8
Nov.	13.1	16.6	9.6
Dic.	12.4	16.7	8.2
A N U A L	13.9	17.6	10.2

ESTACION: 20.4.4. NOMBRE: Los Tarrales MUNICIPIO: Patulul

LATITUD: 14°31'20" LONGITUD: 91°8'10"

M E S	T E M P E R A T U R A S °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	22.4	27.8	17.0
Febrero	22.7	28.2	17.2
Marzo	23.2	28.5	18.0
Abril	23.6	28.6	18.7
Mayo	23.6	28.4	18.9
Junio	23.5	28.2	18.8
Julio	23.6	28.4	18.7
Agosto	23.5	28.4	18.6
Sept.	22.5	26.5	18.6
Octubre	23.0	27.8	18.3
Nov.	22.7	27.8	17.7
Dic.	22.5	27.8	17.2
A N U A L	23.1	28.2	18.1

ESTACION: 19.10.4 NOMBRE: Sta. Teresa MUNICIPIO: Sn. Lucas Tolimán

LATITUD: 14°33'4" LONGITUD: 91°7'49"

MES	TEMPERATURAS °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	22.2	28.1	16.4
Febrero	22.3	28.2	16.4
Marzo	22.9	28.4	17.4
Abril	22.9	27.6	18.2
Mayo	22.4	27.0	17.9
Junio	22.0	26.0	18.1
Julio	22.4	27.1	17.8
Agosto	22.4	27.1	17.8
Sept.	21.9	26.3	17.6
Octubre	21.8	26.5	17.2
Nov.	21.8	27.2	16.5
Dic.	22.0	27.9	16.2
A N U A L	22.3	27.3	17.3

ESTACION: 19.10.3 NOMBRE: Sta. Cruz Quixayá MUNICIPIO: Sn. Lucas Tolimán
LATITUD: 14°31'50" LONGITUD: 91°7'38"

M E S	T E M P E R A T U R A S °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	22.3	24.3	20.3
Febrero	22.6	24.6	20.6
Marzo	22.6	24.4	20.8
Abril	22.7	24.3	21.1
Mayo	22.5	24.2	20.8
Junio	21.8	23.2	20.5
Julio	22.1	23.5	20.8
Agosto	22.2	23.7	20.8
Sept.	21.8	23.0	20.6
Octubre	21.8	23.1	20.6
Nov.	22.2	23.8	20.7
Dic.	22.4	24.2	20.6
A N U A L	22.2	23.8	20.7

ESTACION: 19.10.2 NOMBRE: Sto. Tomás Perdido MUNICIPIO: Sn. Lucas Tolimán

LATITUD: 14°35'40" LONGITUD: 91°7'32"

M E S	T E M P E R A T U R A S °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		MÁxima	Mínima
Enero	20.7	27.5	13.9
Febrero	20.9	28.0	13.8
Marzo	21.4	28.5	14.4
Abril	21.6	28.3	15.0
Mayo	21.5	27.6	15.5
Junio	21.0	26.4	15.6
Julio	21.5	27.4	15.7
Agosto	21.4	27.3	15.6
Sept.	20.7	26.2	15.3
Octubre	20.6	26.4	14.9
Nov.	20.8	27.0	14.7
Dic.	20.7	27.3	14.2
A N U A L	21.1	27.3	14.9

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

ESTACION: 19.1.5 NOMBRE: Sn. Juan de Argueta MUNICIPIO: Sn. José Chacayá

LATITUD: 14°8'40" LONGITUD:13'32"

M E S	T E M P E R A T U R A S °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	13.0	21.86	5.0
Febrero	13.0	21.1	5.5
Marzo	14.5	21.1	7.04
Abril	14.0	20.86	8.14
Mayo	15.0	20.03	9.4
Junio	14.5	19.54	10.1
Julio	13.5	19.83	9.16
Agosto	14.0	20.08	9.03
Sept.	14.0	19.87	9.36
Octubre	13.5	20.07	8.7
Nov.	14.0	21.81	8.07
Dic.	13.0	22.11	5.94

ESTACION: 19.19.4 NOMBRE: Santiago Atitlán MUNICIPIO: Santiago Atitlán

LATITUD: 14°7'56" LONGITUD: 91°3'53"

M E S	T E M P E R A T U R A S °C		
	MEDIA	PROMEDIOS DE	
		Máxima	Mínima
Enero	17.0	25.06	9.59
Febrero	16.5	23.5	9.83
Marzo	16.25	23.74	10.9
Abril	16.75	24.23	12.84
Mayo	19.15	24.23	14.66
Junio	18.5	23.73	14.70
Julio	18.75	24.66	14.67
Agosto	18.25	24.71	13.94
Sept.	17.00	23.73	13.47
Octubre	16.65	24.27	13.21
Nov.	16.5	24.59	11.8
Dic.	16.9	24.17	10.31

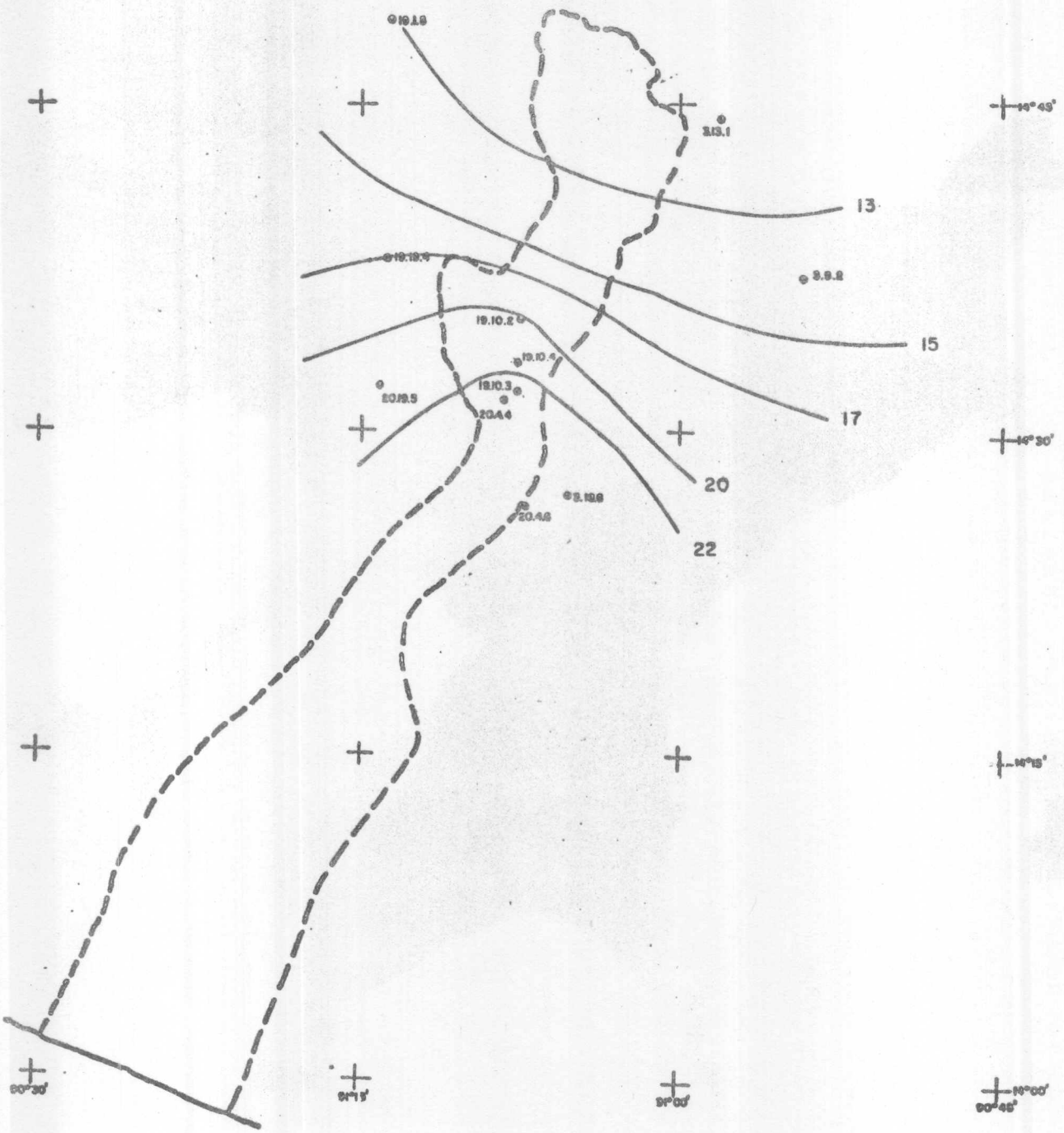
VALORES MEDIOS PARA EL TRAZO DE LAS ISOTERMAS MEDIAS MENSUALES DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA

TEMPERATURAS MEDIAS °C											
	ESTACIONES										
MES	Peña Plata	Vista Bella	Recuerdo	Luisiana	Moca	Los Tarrales	Santa Teresa	Sta. Cruz Quitzayá	Sto. Tomás Perdido	Sn. Juan Argueta	Santiago Atitlán
Enero	23.2	13.6	12.1	22.8	21.7	22.4	22.2	22.3	20.7	13	17
Febrero	23.7	14.2	12.4	23.9	22.1	22.7	22.3	22.6	20.9	13	16.5
Marzo	24.7	15.6	14.0	24.6	22.3	23.2	22.9	22.6	21.4	14.5	16.25
Abril	25.2	16.6	14.8	24.9	22.8	23.6	22.9	22.7	21.6	14.0	16.75
Mayo	24.5	17.3	15.4	24.8	22.7	23.6	22.4	22.5	21.5	15.0	19.15
Junio	24.0	16.5	15.0	24.4	22.2	23.5	22.0	21.8	21.0	14.5	18.5
Julio	24.1	16.4	15.4	23.7	22.3	23.6	22.4	22.1	21.5	13.5	18.75
Agosto	23.6	16.4	14.0	24.8	22.1	23.5	22.4	22.2	21.4	14.0	18.25
Sept.	22.7	15.6	14.2	24.6	22.0	22.5	21.9	21.8	20.7	14.0	17.00
Octubre	23.6	15.1	13.8	24.2	22.0	23.0	21.8	21.8	20.6	13.5	16.65
Nov.	23.6	13.9	13.1	24.1	22.0	22.7	21.8	22.2	20.8	14.0	16.5
Dic.	23.1	13.6	12.4	23.8	21.3	22.5	22	22.4	20.7	13.0	16.9

Del cuadro anterior, se obtuvo la información necesaria para el trazo de las curvas isotermas medias mensuales; procediéndose a la localización en el mapa respectivo de cada una de las estaciones involucradas; anotando luego sus valores de temperatura media y procediendo a unir los puntos que directamente o por medio de procedimientos de interpolación matemática, reflejarán los valores reales de temperatura dentro del intérvalo deseado para el trazo de las curvas isotermas. Adjuntos mapas de isotermas medias mensuales de la cuenca.

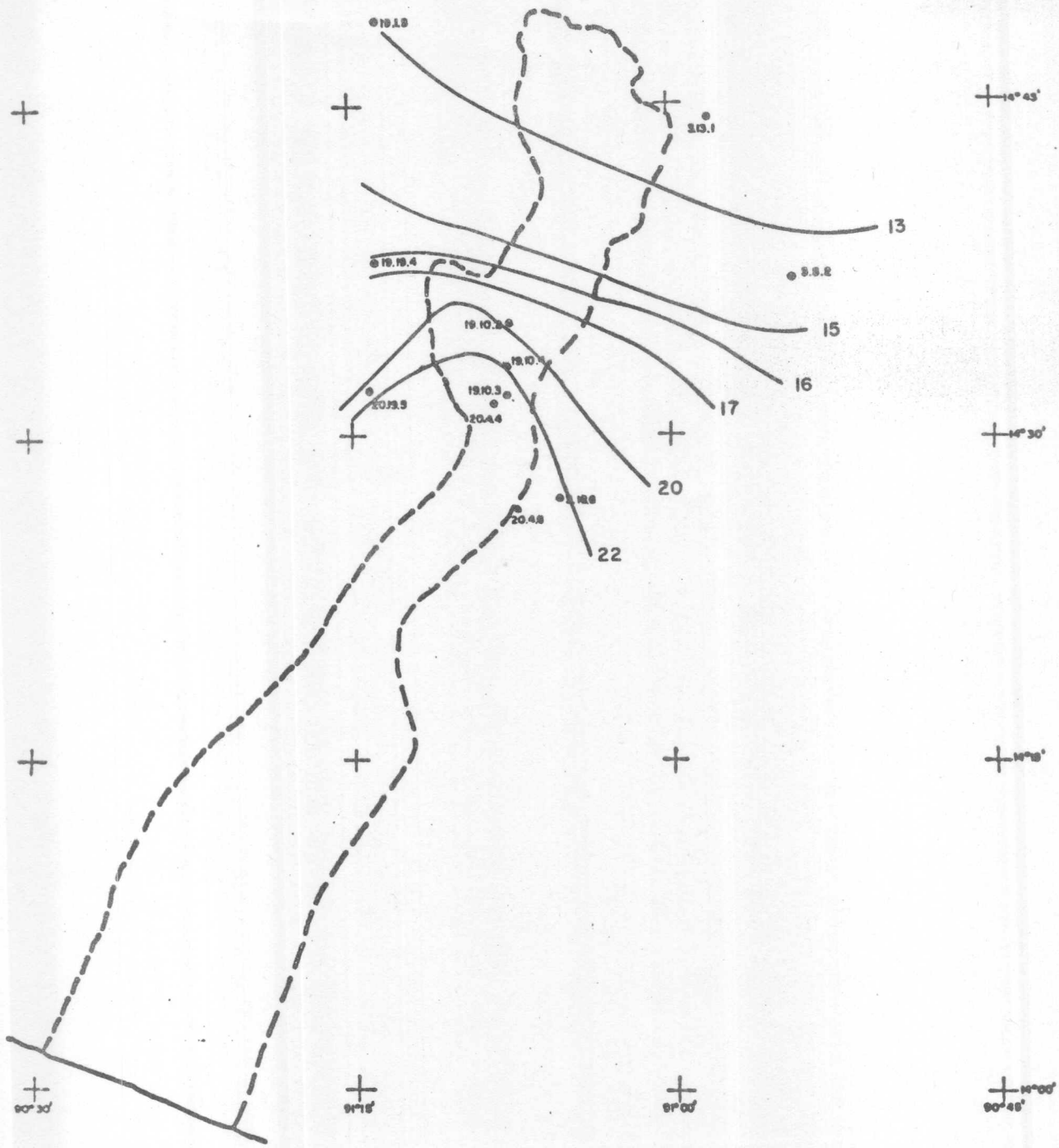
ISOTERMAS MEDIAS

MES: ENERO



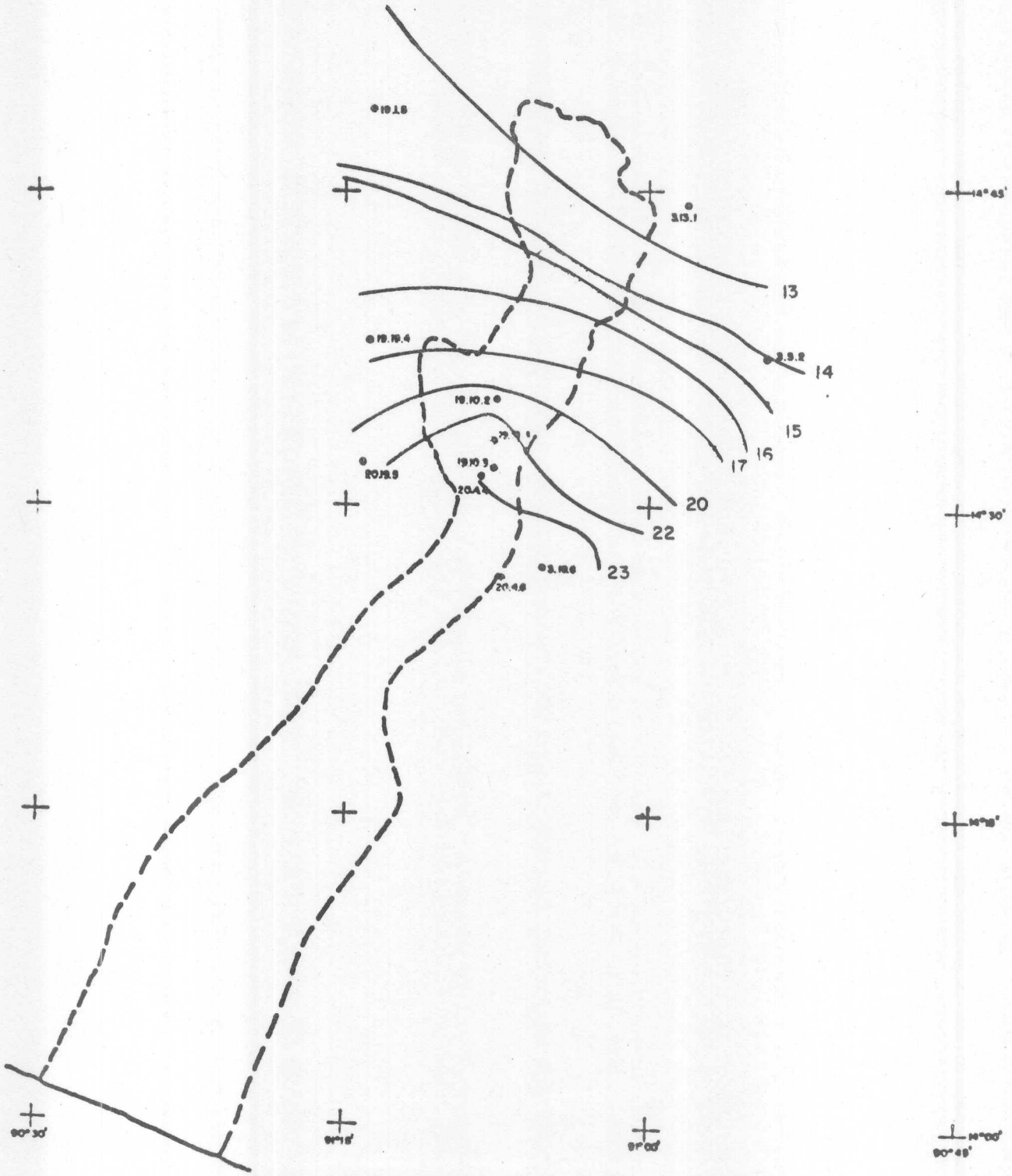
ISOTERMAS MEDIAS

MES: FEBRERO



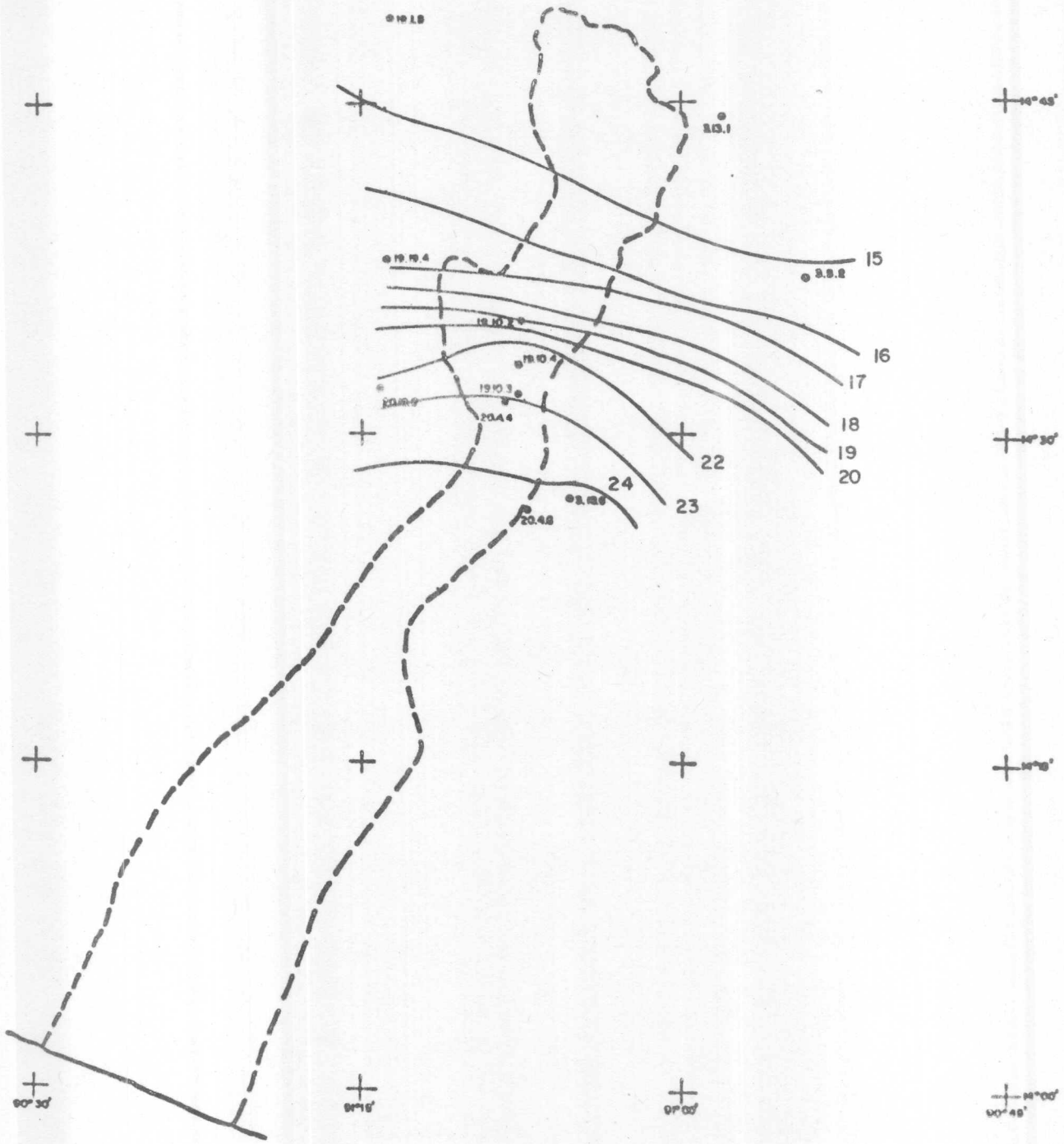
ISOTERMAS MEDIAS

MES : MARZO



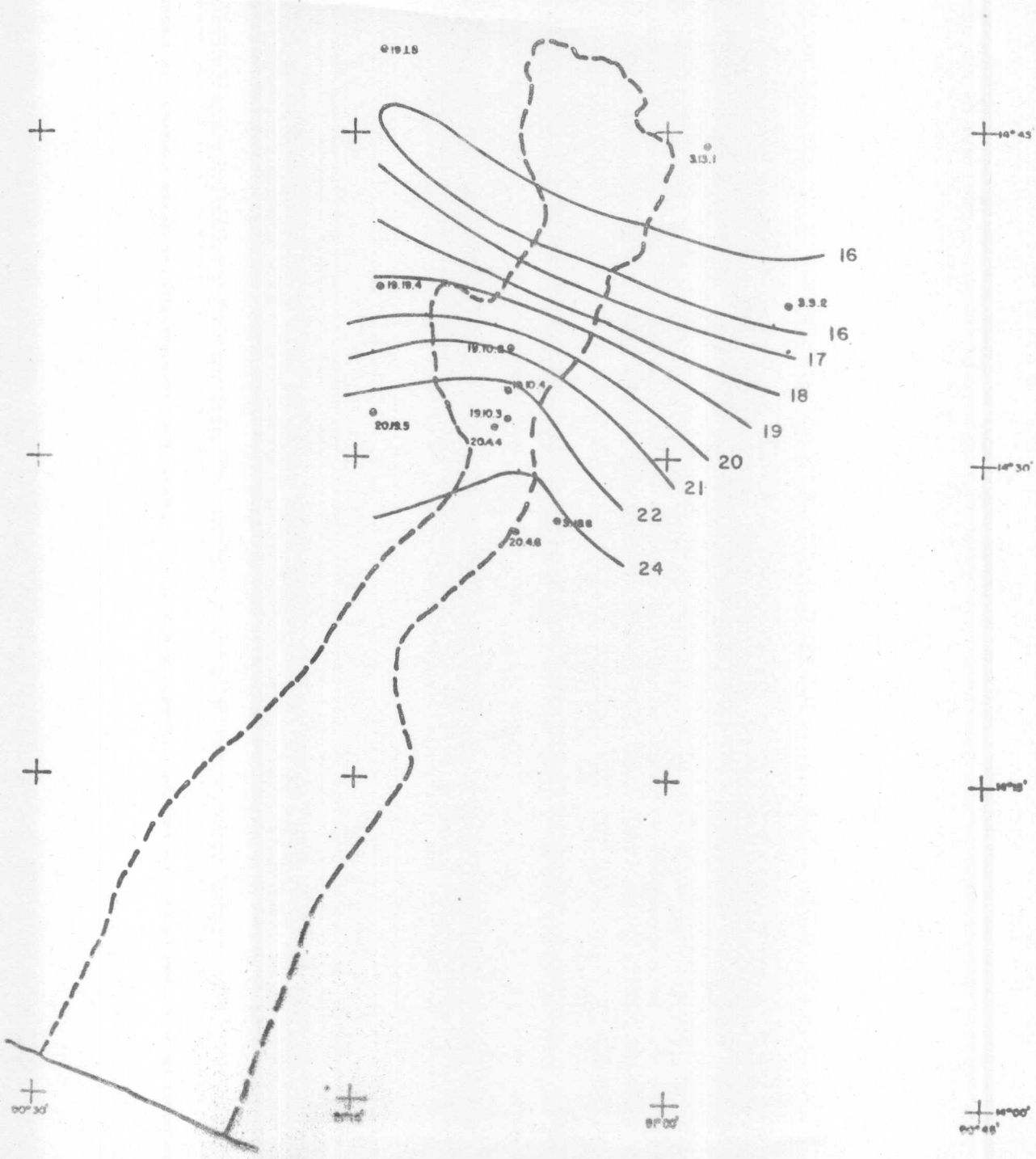
ISOTERMAS MEDIAS

MES : ABRIL



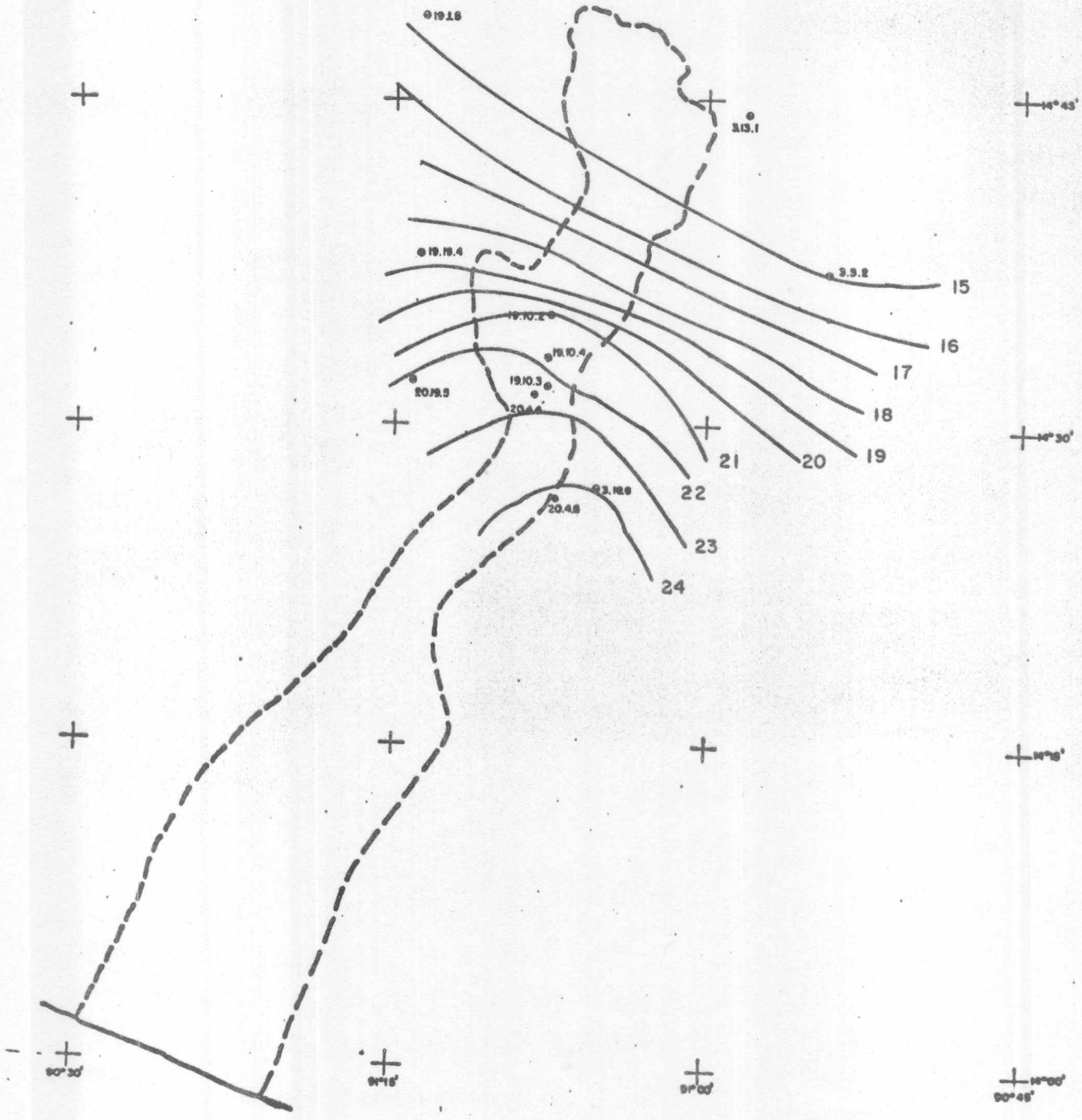
ISOTERMAS MEDIAS

MES: MAYO



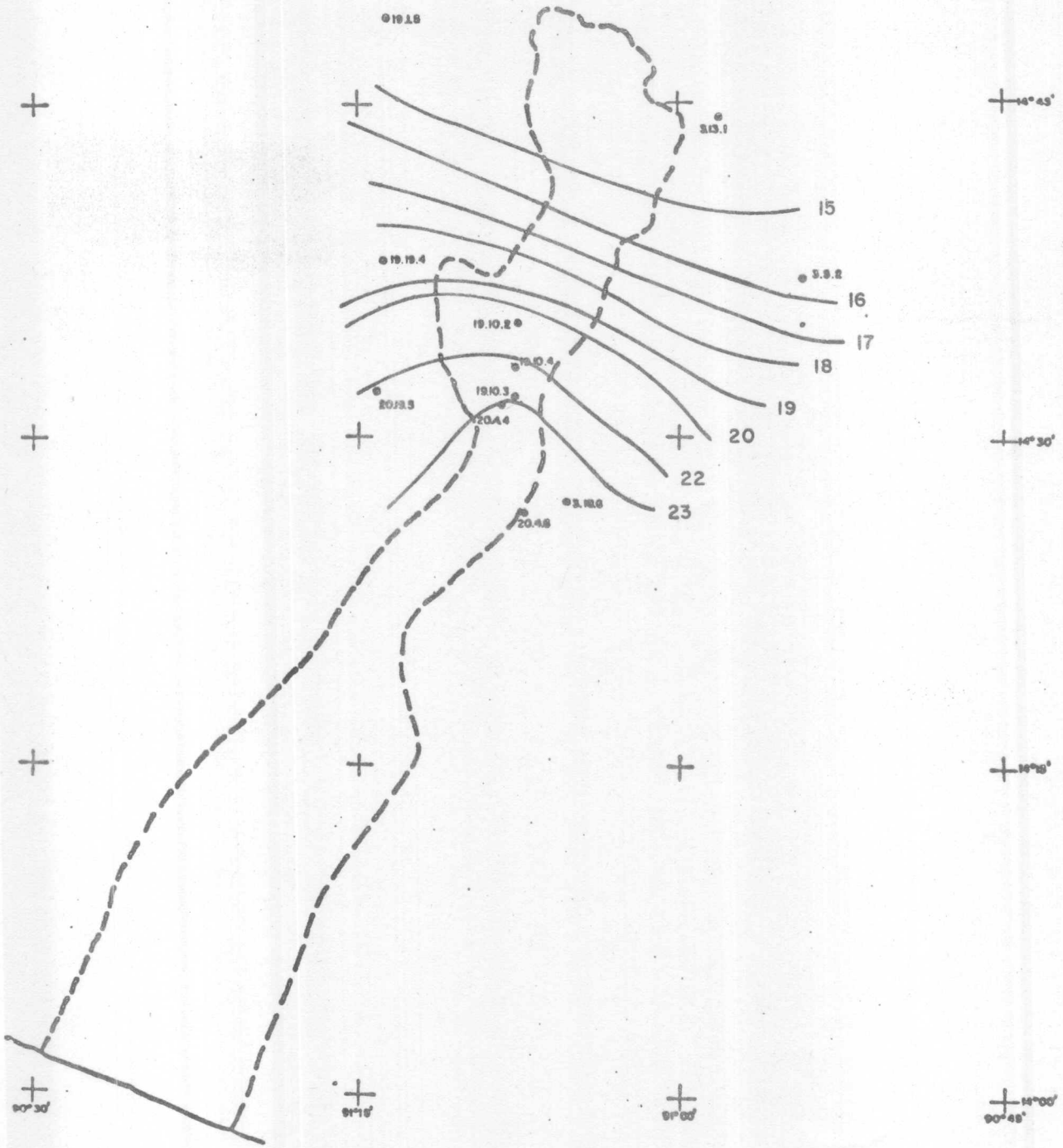
ISOTERMAS MEDIAS

MES : JUNIO



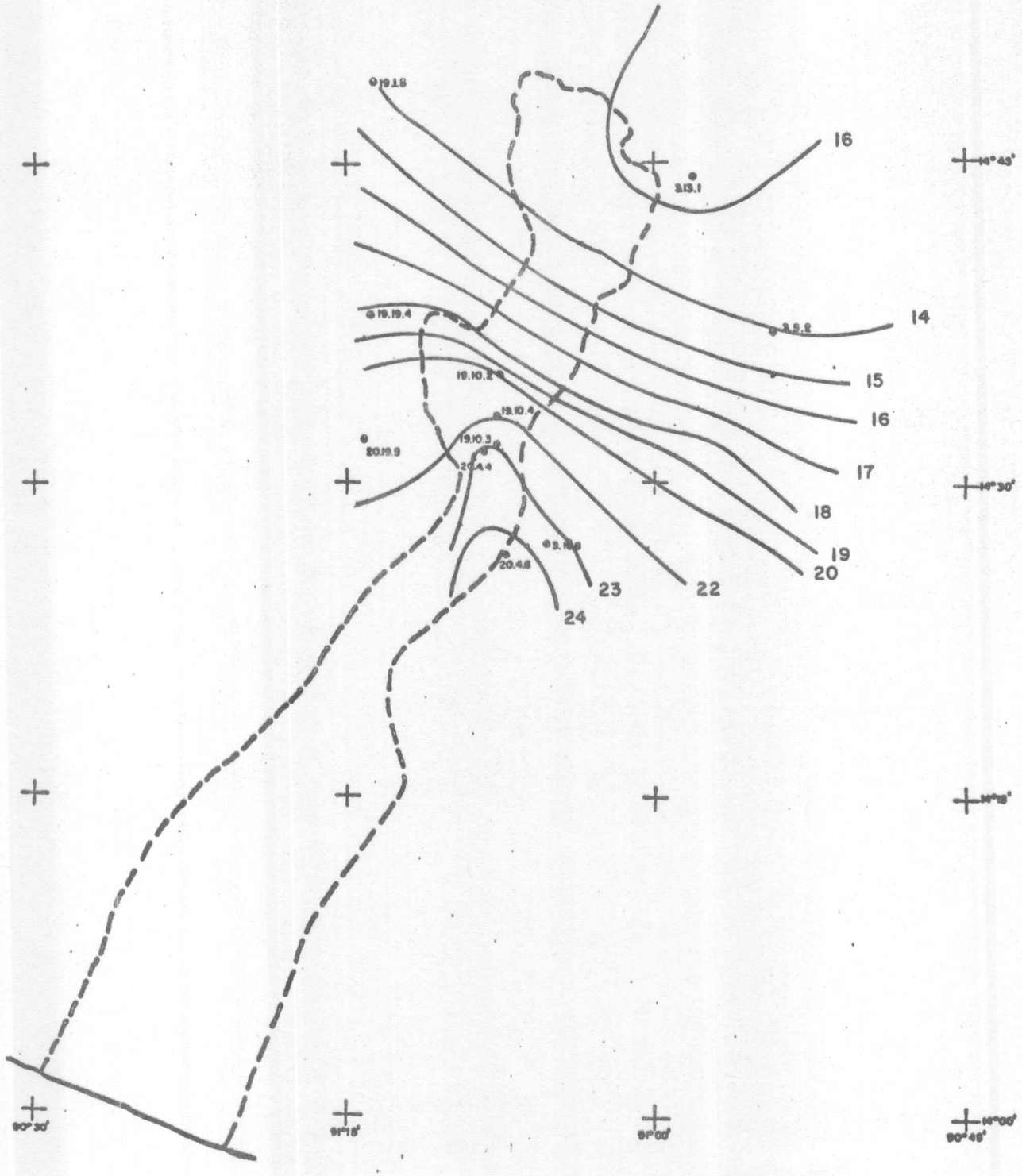
ISOTERMAS MEDIAS

MES: JULIO



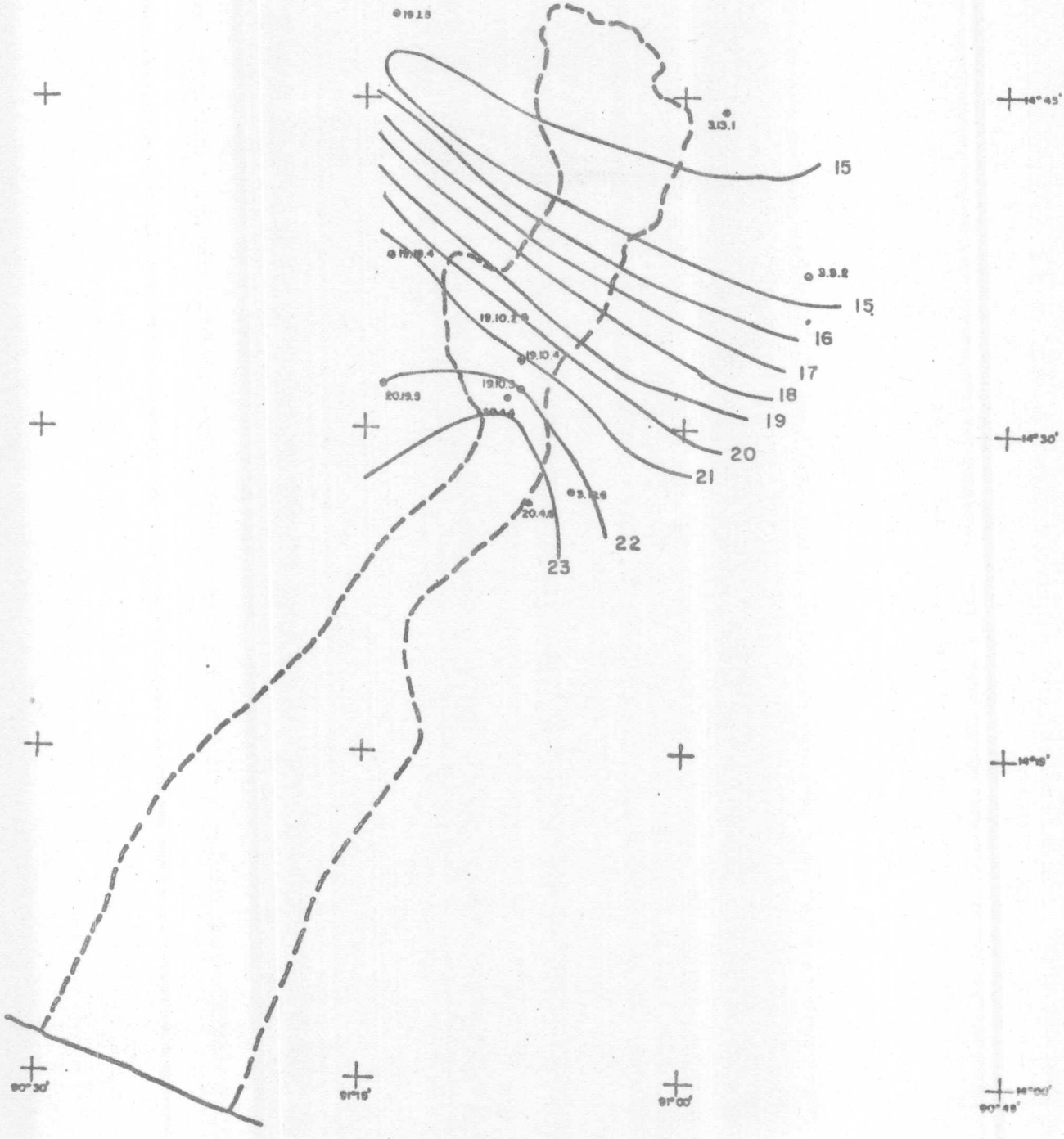
ISOTERMAS MEDIAS

MES: AGOSTO



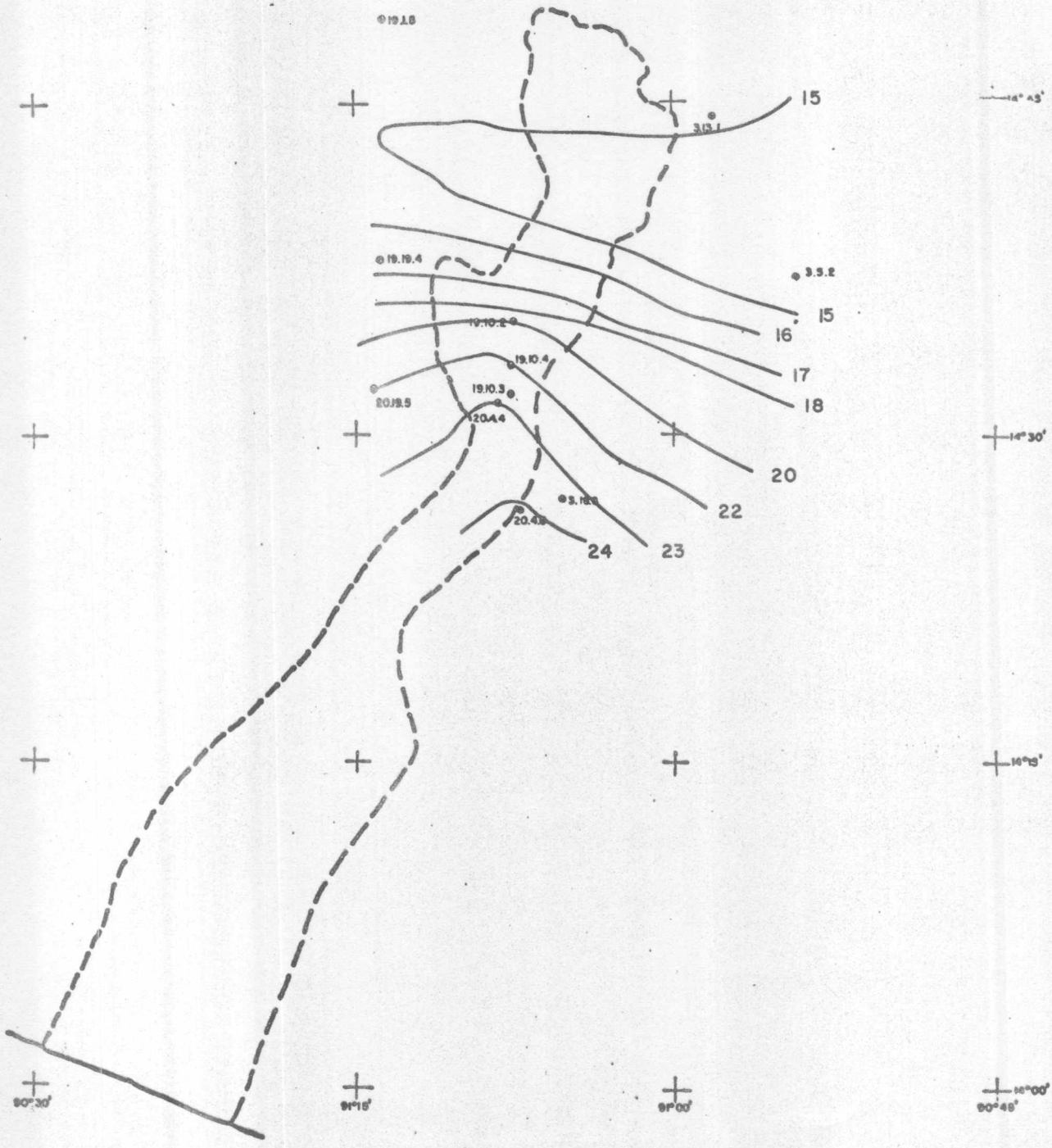
ISOTERMAS MEDIAS

MES: SEPTIEMBRE



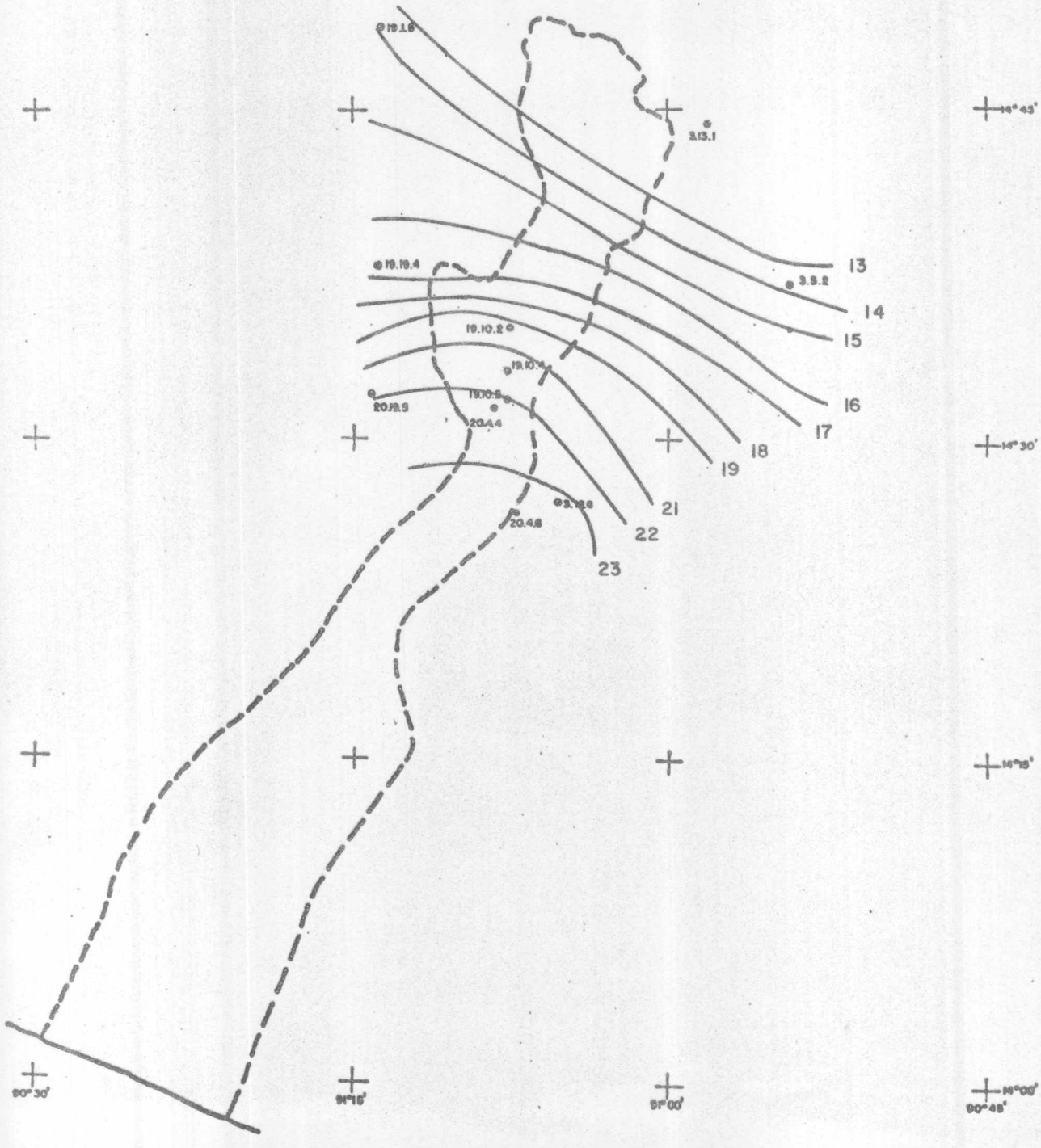
ISOTERMAS MEDIAS

MES: OCTUBRE



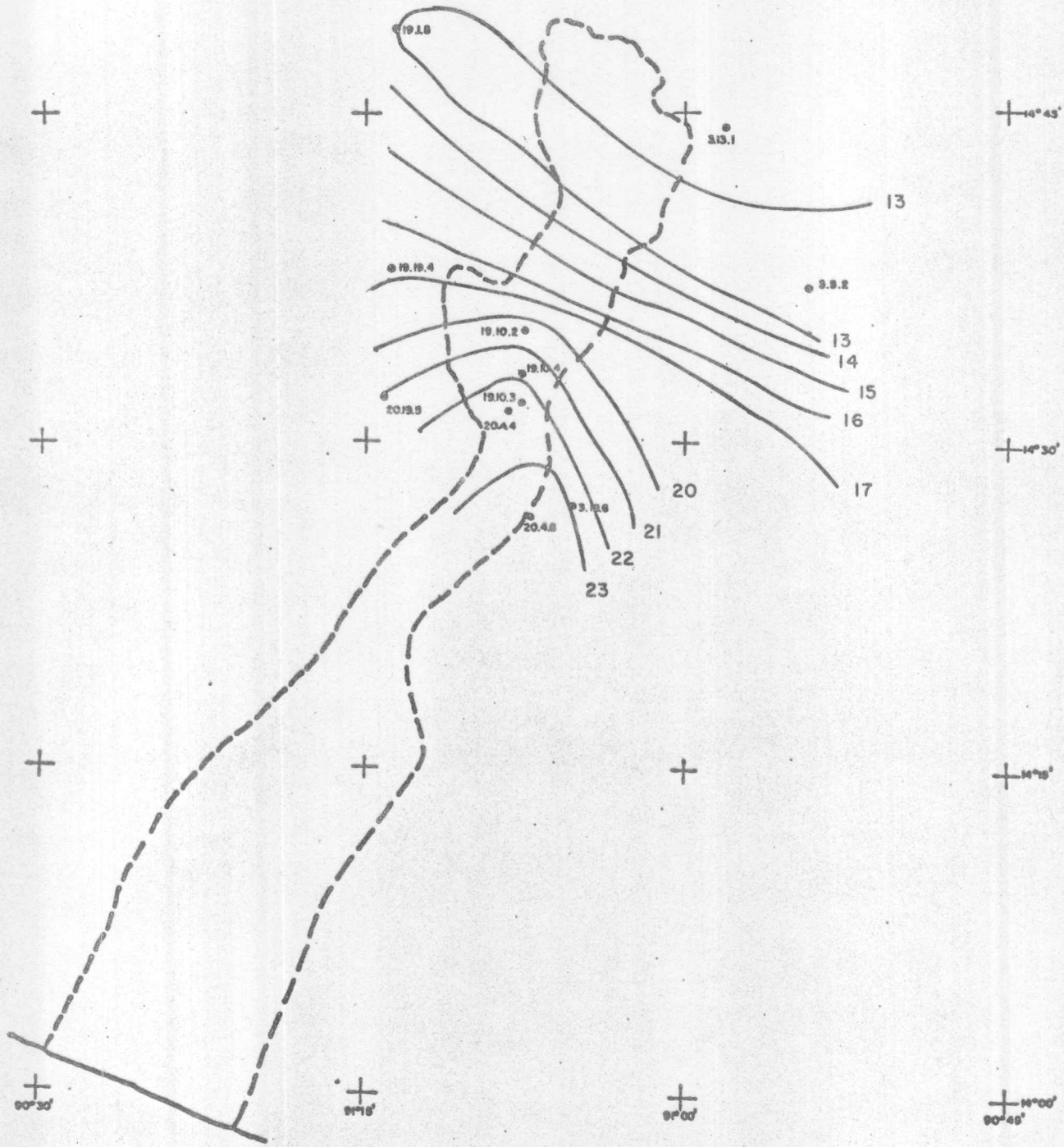
ISOTERMAS MEDIAS

MES: NOVIEMBRE



ISOTERMAS MEDIAS

MES: DICIEMBRE



ANALISIS DE ESCORRENTIA

El flujo en un río está controlado primordialmente por variaciones en la precipitación y escorrentía y los métodos para distribuir la escorrentía 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. Sabiendo, por concepto, que escorrentía es el agua que es retenida por varios procesos dentro de una cuenca y que fluye a través de la misma hasta ser eliminada por el proceso de la evapotranspiración, podemos decir que el camino seguido por una gota de agua, desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta llegar al cauce de una corriente es incierto. Es conveniente imaginar tres caminos principales: Escorrentía Superficial, Escorrentía subsuperficial y flujo de agua subterránea. El flujo de agua sobre la tierra o Escorrentía Superficial, corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal. La palabra canal significa cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente de agua en flujo turbulento durante una lluvia y durante un período corto, después de la terminación de ésta. Los canales dentro de una cuenca son, por lo general, muy numerosos y la distancia que el agua debe viajar como escorrentía superficial es relativamente corta, siendo raras veces mayor de algunas decenas de metros. Por esta razón, la escorrentía superficial llega al canal prontamente, y si ocurre en cantidad suficiente es un elemento importante en la formación de los valores pico de las crecientes. Sin embargo, la cantidad de escorrentía superficial puede ser pequeña, dado que el flujo superficial sobre un suelo permeable sólo puede tener lugar cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración. En lluvias

moderadas o de mediana magnitud, la escorrentía superficial puede provenir únicamente de las regiones impermeables de las cuencas o de la precipitación que cae directamente sobre las superficies de agua de la cuenca. Con excepción de las zonas urbanas, el total de área impermeable y de zonas con superficie de agua representa una pequeña fracción del área total considerada. De aquí que la escorrentía superficial sea un factor importante en las corrientes de agua y únicamente como resultado de lluvias de gran intensidad.

Una porción del agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra, puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Esta agua llamada escorrentía sub-superficial, se mueve más lentamente que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente.

La fracción del total de la escorrentía que se presenta como flujo sub-superficial, depende fundamentalmente de la geología de la cuenca. Una capa de suelo poco profunda que cubra una formación rocosa, un conglomerado cementado o tierra arada a pequeña profundidad, favorece la existencia de escorrentía Sub-superficial; mientras que los suelos uniformemente permeables favorecen la percolación hacia la zona de agua subterránea. A pesar de viajar más lentamente que la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial puede ser mayor en cantidad, especialmente en lluvias de intensidad moderada, razón por la cual puede ser éste el factor más importante en los ascensos menores de los hidrogramas.

Una parte de la precipitación puede percolarse hasta llegar al nivel freático. Este aumento en el agua subterranea puede descargarse eventualmente en las corrientes como flujo de agua subterránea (también llamado flujo base o descarga

de estiaje), si el nivel freático intersecta los cauces de las corrientes de la cuenca, la contribución del agua subterránea a las corrientes, no puede fluctuar rápidamente debido a la baja velocidad del flujo. En aglunas regiones se necesitan más de dos años para que el efecto de un aumento en el agua subterránea descargue en las corrientes.

Las cuencas con suelos superficiales permeables y depósitos grandes de agua subterránea afluente, muestran caudales altos sostenidos a lo largo del año, con una relación relativamente baja entre caudales de avenida y caudales medios. Las cuencas con suelos superficiales de baja permeabilidad o con volúmenes afluentes de agua subterránea, presentan relaciones más altas entre caudales pico y promedio.

Estaciones de aforo y análisis de la información obtenida

El estudio hidrológico de la cuenca del río Madre Vieja hubo de limitarse hasta la estación hidrológica "PALMIRA" ya que hasta este punto se tiene información de un período de tiempo, que arroje valores con un grado de aceptabilidad y confiabilidad por tal razón se tomaron pues las siguientes estaciones hidrológicas en la cuenca; Estación PANIBAJ; Estación VERTEDERO QUITZAYA, Estación VERTEDERO SANTA TERESA y Estación PALMIRA. Cada una de éstas se evaluaron y analizaron dentro del período de 1972 hasta 1978; totalizando un tiempo de registro contínuo de 6 años.

ESTACION	CLAVE	LONGITUD	LATITUD	MUNICIPIO DEPTO.	AREA DE DRENAJE - DENTRO DE LA CUENCA Km.^{2}
PANIBAJ	3.6.2	91°5'18"	14°40'80"	Patzún, Chimalt.	165.15
VERTEDERO QUITZAYA	19.10.4	91°7'28"	14°30'55"	Sn. Lucas Tolimán, SOLOLA	10.00
VERTEDERO STA. TERESA	19.10.5	91°7'12"	14°31'	Sn. Lucas Tolimán, SOLOLA	24.69
PALMIRA	20.4.1	91°8'28"	14°26'50"	Patulul, Such.	343.59

Para efectuar la evaluación y el análisis de la información generada por dichas estaciones hidrológicas, se elaboraron cuadros, resúmenes de cada una de ellas, en los cuales se han anotado los caudales medios diarios de los 6 años de registro y en base a ellos desarrollado distribuciones de frecuencia y curvas de duración de caudales - para cada caso particular, los cuales en ese orden se presentan a continuación.

ESTACION: PANIBAJ CLAVE: 3.6.2

Información de caudales medios diarios en M^3/seg de 6 años de registro

DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
1	0.88	1.25	1.23	1.01	3.49	2.33	1.2	0.74	0.82	0.75	0.88	0.78
2	0.9	1.00	1.38	1.03	1.67	2.16	1.13	0.86	0.84	0.72	0.82	0.81
3	0.92	1.28	1.34	0.94	1.52	2.01	1.08	0.89	0.82	0.73	0.72	0.80
4	0.92	1.37	1.35	0.88	1.52	2.00	1.04	0.86	0.82	0.84	0.78	0.79
5	0.91	1.38	1.34	0.95	1.6	2.02	0.96	0.85	0.91	0.8	0.78	0.79
6	0.86	1.41	1.3	0.97	1.5	1.97	0.94	0.86	0.91	0.81	0.81	0.79
7	0.87	1.27	1.15	0.98	1.48	2.02	1.03	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
8	0.89	1.17	1.38	1.00	1.51	1.98	1.05	0.87	0.84	0.81	0.80	0.79
9	0.93	1.42	1.37	1.03	1.53	1.79	1.02	0.71	0.82	0.80	0.79	0.80
10	0.9	1.27	1.33	0.97	1.60	1.64	1.00	0.84	0.82	0.79	0.78	0.78
11	0.99	1.35	1.23	0.96	1.61	1.64	1.00	0.85	0.82	0.78	0.80	0.77
12	0.95	1.21	1.25	0.95	1.76	1.5	0.98	0.85	0.89	0.81	0.85	0.78
13	1.02	1.18	1.31	1.09	1.7	1.5	0.96	0.85	0.79	0.81	0.82	0.78
14	0.96	1.19	1.11	1.00	1.64	1.38	0.96	0.85	0.82	0.81	0.81	0.78
15	1.02	1.2	1.02	1.12	1.55	1.52	0.94	0.83	0.82	0.80	0.81	0.81
16	0.99	1.19	1.06	1.08	1.58	1.49	0.95	0.82	0.81	0.79	0.79	0.83
17	1.05	1.34	1.06	1.00	1.58	1.54	0.95	0.84	0.82	0.78	0.77	0.84
18	1.02	1.35	1.08	0.91	1.69	1.67	0.96	0.85	0.82	0.80	0.80	0.82
19	0.99	1.2	1.08	1.13	1.82	1.67	0.96	0.87	0.80	0.89	0.81	0.82
20	0.91	1.33	1.11	1.26	2.57	1.46	0.92	0.87	0.78	1.00	0.81	0.81
21	1.00	1.36	1.152	1.18	3.38	1.27	0.93	0.85	0.81	0.98	0.80	0.80

22	1.1	1.72	1.15	1.18	3.18	1.27	0.94	0.83	0.82	0.98	0.80	0.8o
23	1.23	1.49	1.21	1.17	2.78	1.28	0.93	0.83	0.82	0.96	0.79	0.81
24	1.17	1.35	1.08	1.14	2.58	1.33	0.91	0.84	0.85	0.95	0.77	0.81
25	1.04	1.38	1.09	1.2	2.35	1.4	0.90	0.84	0.82	0.97	0.80	0.82
26	1.1	1.34	1.20	1.12	2.1	1.36	0.91	0.88	0.80	1.00	0.80	0.80
27	1.37	1.38	1.20	1.13	2.01	1.22	0.91	0.85	0.80	1.02	0.80	0.84
28	1.78	1.24	1.08	1.14	2.04	1.17	0.91	0.85	0.83	0.97	0.80	0.79
29	1.31	1.33	1.01	1.18	2.13	1.13	0.90	0.82	0.82		0.79	0.79
30	12.7	1.41	1.05	1.35	2.00	1.15	0.9	0.82	0.80		0.78	0.79
31	1.34		1.05	1.52		1.33		0.82	0.81		0.77	

Ordenamiento de los datos de caudales medios diarios con período de 6 años de registro de la estación Panibaj.

Caudal mínimo = 0.74 m^3/seg.

Caudal máximo = 3.49 m^3/seg.

Rango o amplitud: 3.49 - 0.74 = 2.75 m^3/seg.

No. de clases = 1 + 3.3 Log. (365)

= 1 + 3.3 (2.562293)

= 10

No. de clases = 10

Intervalo de clase = $\frac{2.75}{10}$ = 0.28

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %	Frecuencia relativa - acumulada
0.7-1.0	203	55.6	100
1. -1.3	77	21	44.4
1.3-1.6	52	14	23.4
1.6-1.9	13	4	9.44
1.9-2.2	12	3.4	5.44
2.2-2.5	2	0.5	2.04
2.5-2.8	3	0.8	1.54
2.8-3.2	1	0.27	0.74
3.2-3.4	1	0.27	0.47
3.4-3.7	1	0.27	0.27

Σ 365

Caudales medios mensuales, medio anual y volumen originado por los mismos en Estación PANIBAJ.

Caudal promedio máximo = 3.12 m^3/seg.

Caudal promedio mínimo = 0.87 m^3/seg.

Caudales promedio mensuales; y volúmenes respectivos

M E S	Caudal m^3/seg.	Volumen 10^6 m^3
Enero	0.83	2.22
Febrero	0.92	2.23
Marzo	0.77	2.06
Abril	0.8	2.07

Mayo	1.05	2.81
Junio	1.22	3.16
Julio	1.19	3.18
Agosto	1.09	2.92
Septiembre	1.98	5.13
Octubre	1.65	4.42
Noviembre	0.91	2.36
Diciembre	0.83	2.22

Clase	F	Xi	Fxi
0.7-1.0	203	0.85	172.55
1.0-1.3	77	1.15	88.55
1.3-1.6	52	1.45	75.4
1.6-1.9	13	1.75	22.75
1.9-2.2	12	2.05	24.6
2.2-2.5	2	2.35	4.7
2.5-2.8	3	2.65	7.95
2.8-3.2	1	3.0	3.0
3.2-3.4	1	3.3	3.3
3.4-3.7	1	$3.55\frac{3}{4}$	3.55

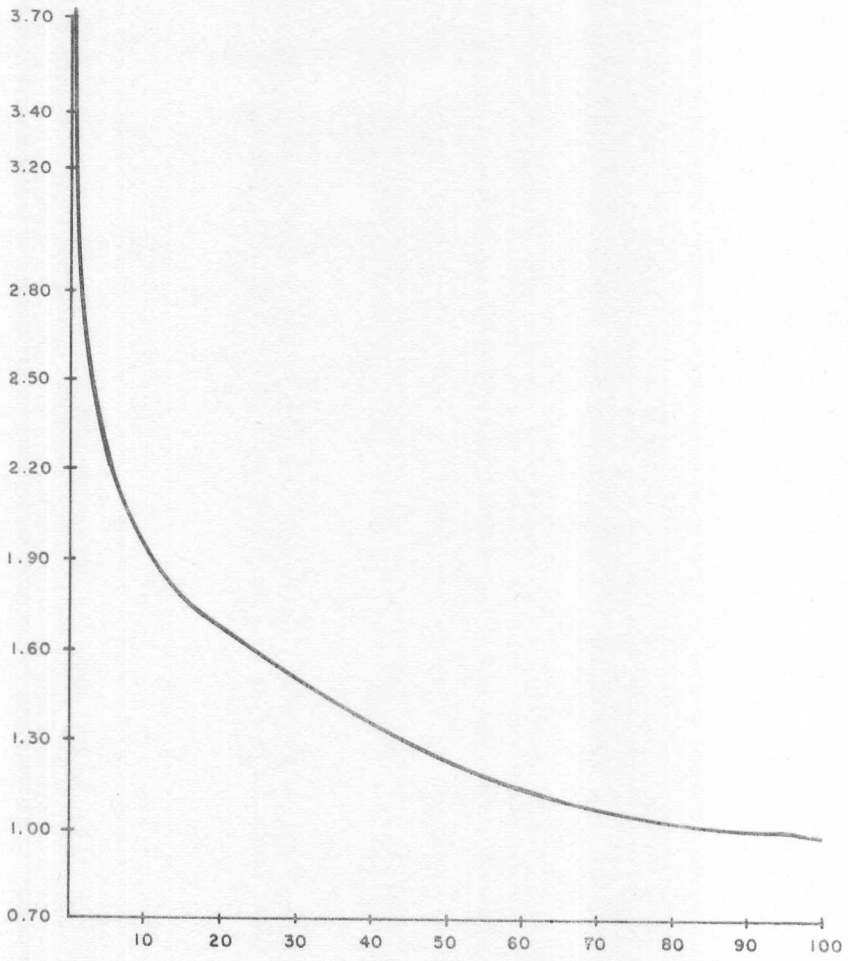
$$\sum f\,xi = 406.35$$

$$\text{Promedio anual} = \frac{\sum f\,xi}{f} = \frac{406.35}{365} = 1.1$$

$$1.1\ m^3/seg.$$

$$\text{Volumen } (10^6 m^3) \text{ anual} = 34.69$$

CURVA DE DURACION DE CAUDALES DE ESTACION PANIBAJ



ESTACION: Vertedero Quitzayá CLAVE: 19.10.4

Información de caudales medios diarios en m^3/seg de 6 años de registro

DIA	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
1	2.64	3.28	3.01	2.04	3.21	3.43	3.38	3.29	3.24	3.2	3.24	3.33
2	2.64	3.32	3.0	2.58	3.6	3.48	3.33	2.67	3.24	3.2	3.24	3.33
3	2.64	3.36	2.81	2.68	4.31	3.54	3.4	3.29	3.24	3.2	3.24	3.33
4	2.64	3.14	2.73	2.02	4.28	3.39	3.63	3.29	3.24	3.11	3.24	3.33
5	2.64	3.18	2.73	2.09	3.56	2.75	3.33	3.29	3.24	3.11	3.24	3.33
6	2.64	3.22	2.77	2.22	3.46	3.62	3.32	3.29	3.24	3.11	3.24	3.33
7	2.64	2.76	2.75	2.57	3.61	3.47	3.45	3.29	2.62	3.13	3.24	3.33
8	2.64	2.68	2.98	2.51	3.5	3.5	3.4	3.29	3.2	3.13	3.24	3.33
9	2.74	2.77	2.71	2.53	3.73	3.5	3.32	3.29	3.2	3.13	3.24	3.44
10	2.63	2.9	2.68	2.32	3.45	3.0	3.33	3.29	3.2	3.14	3.24	3.33
11	2.48	2.76	2.65	2.66	3.45	2.86	3.33	3.29	3.22	3.16	3.24	3.33
12	2.80	3.5	2.69	2.74	3.63	2.80	3.33	3.29	3.24	3.16	3.24	3.33
13	2.68	2.72	2.71	2.68	3.52	2.88	3.53	3.29	3.24	3.16	3.24	3.33
14	2.67	2.89	2.89	2.53	3.45	2.94	3.32	3.29	3.24	3.16	3.24	3.33
15	2.83	2.73	2.93	2.53	3.5	2.75	3.32	3.29	3.24	3.16	3.24	3.27
16	2.62	2.67	2.87	2.55	3.46	2.85	3.04	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
17	2.77	2.7	2.68	2.57	3.81	2.95	3.14	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
18	2.75	3.11	2.67	2.88	3.5	2.75	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
19	2.68	2.83	2.61	2.78	3.57	2.75	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
20	2.64	2.73	2.44	2.61	3.68	2.71	3.36	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
21	2.69	2.93	2.79	2.6	3.54	2.79	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
22	2.70	2.68	2.83	2.52	3.72	2.66	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
23	2.56	2.62	2.82	3.34	3.48	2.66	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33

24	2.64	2.89	3.08	3.28	3.26	2.66	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
25	2.63	3.21	2.72	3.43	3.28	2.66	3.29	3.29	3.24	3.16	3.28	3.33
26	2.65	2.75	2.68	3.22	3.65	2.66	3.29	3.29	3.24	3.2	3.33	3.33
27	2.85	2.73	2.62	3.02	3.58	2.63	3.29	3.29	3.2	3.2	3.33	3.33
28	2.71	2.71	2.66	3.22	3.49	2.63	3.29	3.29	3.2	3.2	3.11	3.33
29	2.80	2.87	2.6	3.27	3.19	2.93	3.91	3.29	3.2		3.33	3.33
30	2.64	2.98	2.58	2.53	3.19	2.70	3.91	3.29	3.2		3.33	3.33
31	2.06		2.57	2.46		2.7		3.29	3.2		3.33	

Ordenamiento de los datos de caudales medios diarios con período de 6 años de registro de la estación:

VERTEDERO DE QUITZAYA

Caudal mínimo: 2.02 m^3/seg.

Caudal máximo: 4.31 m^3/seg.

Rango o amplitud = 4.31 - 2.02 = 2.29

No. de clases = 1 + 3.3 log (365)

No. de clases = 10

Intervalo de clase = $\frac{2.29}{10}$ = 0.23 = 0.25

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Sta. Cruz Quitzayá

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia % relativa	Frecuencia relativa acumulada %
2.5-2.75	95	26	100
2.75-3.0	36	9.86	74.25
3.0-3.25	89	24.38	64.39
3.25-3.5	127	35	40.01
3.5-3.75	15	4.2	5.01
3.75-4.0	1	0.27	0.81
4.0-4.3	1	0.27	0.54
4.3-4.5	1	0.27	0.27

$\Sigma = 365$

Caudales medios mensuales, medio anual y volumen originado por los mismos en:

Estación Vertedero Quitzayá

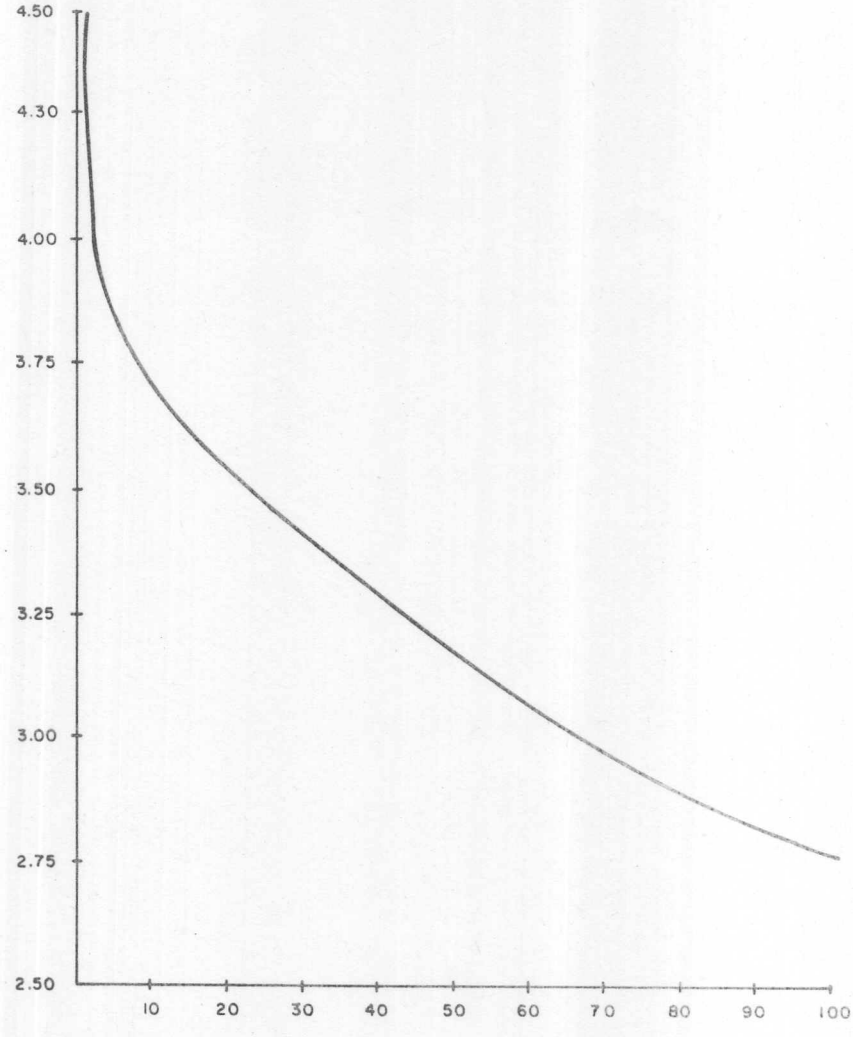
Caudal promedio máximo: 5.26 m^3/seg.

Caudal promedio mínimo: 2.5 m^3/seg.

Caudales promedio mensuales

Mes	Caudal en m^3/seg	Volumen 10^6 m^3
Enero	3.22	8.62
Febrero	3.16	7.65
Marzo	3.27	8.76
Abril	3.32	8.61
Mayo	2.67	7.15
Junio	2.99	7.75
Julio	2.75	7.36
Agosto	2.67	7.15
Septiembre	3.55	9.2
Octubre	2.95	7.9
Noviembre	3.37	8.74
Diciembre	3.27	8.76

CURVA DE DURACION DE CAUDALES DE VERTEDERO QUITZAYA



VERTEDERO SANTA TERESA CLAVE: 19.10.5

Información de caudales medios diarios en m^3/seg de 6 años de registro

DIA	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
1	1.98	2.06	2.36	2.22	2.3	2.14	2.01	2.07	2.03	2.03	2.03	2.03
2	1.85	2.12	2.23	2.18	2.32	2.2	2.07	2.07	2.03	2.03	2.03	2.03
3	1.98	2.16	2.1	2.25	2.3	2.1	2.08	2.06	2.03	2.03	2.03	2.03
4	1.98	2.1	2.2	2.22	2.22	2.34	2.08	2.05	2.03	2.03	2.02	2.03
5	1.98	2.1	2.2	2.34	2.3	2.1	2.07	2.05	2.03	2.03	2.02	2.13
6	1.98	2.2	2.2	2.27	2.24	2.04	2.07	2.05	2.03	2.03	2.02	2.03
7	1.98	2.21	2.23	2.03	2.19	2.1	2.1	2.05	2.03	2.03	2.02	2.03
8	1.98	1.85	2.25	2.18	2.24	2.07	2.1	2.05	2.03	2.03	2.02	2.02
9	2.00	2.15	2.2	2.23	2.23	2.13	2.07	2.05	2.03	2.03	2.02	2.04
10	1.98	2.2	2.2	2.3	2.38	2.4	2.07	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
11	2.00	2.12	2.18	2.23	2.17	2.03	2.01	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
12	1.98	2.12	2.18	2.35	2.17	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
13	1.99	2.2	2.2	2.31	2.2	2.1	2.1	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
14	1.98	2.2	2.26	2.24	2.2	2.06	2.07	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
15	1.98	2.3	2.17	2.25	2.18	2.05	2.07	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
16	2.00	2.13	2.3	2.25	2.22	2.08	2.13	2.05	2.03	2.01	2.02	2.1
17	2.01	2.13	2.3	2.28	2.23	2.05	2.13	2.05	2.03	2.01	2.02	2.03
18	2.07	2.13	2.2	2.3	2.18	2.04	2.11	2.05	2.03	2.01	2.02	2.04
19	2.03	2.13	2.16	2.27	2.14	2.03	2.06	2.05	2.03	2.01	2.03	2.03
20	2.00	2.2	2.2	2.25	2.3	2.05	2.1	2.05	2.03	2.01	2.03	2.02
21	2.02	2.34	2.4	2.22	2.2	2.07	2.1	2.05	2.03	2.04	2.03	2.03
22	2.01	2.34	2.2	2.2	2.3	2.02	2.07	2.05	2.03	2.04	2.03	2.03

23	2.04	2.3	2.23	2.23	2.15	2.01	2.07	2.05	2.03	2.04	2.03	2.04
24	2.05	2.33	2.32	2.25	2.15	2.1	2.07	2.05	2.03	2.02	2.02	2.1
25	2.02	2.3	2.2	2.3	2.086	2.01	2.07	2.05	2.03	2.01	2.02	2.2
26	2.02	2.4	2.2	2.18	2.1	2.01	2.07	2.05	2.03	2.03	2.03	2.2
27	2.1	2.25	2.18	2.4	2.05	2.01	2.07	2.05	2.03	2.02	2.03	2.04
28	2.1	2.25	2.2	2.15	2.13	2.01	2.07	2.05	2.03	2.03	2.14	2.1
29	2.1	2.25	2.18	2.13	2.11	2.07	2.08	2.05	2.03		2.06	2.03
30	2.1	2.31	2.17	2.2	2.15	2.12	2.07	2.15	2.03		2.03	2.03
31	2.15		2.2	2.2		2.08		2.05	2.03		2.03	

Caudales medios mensuales, medio anual y volumen originado por los mismos en Estación Vertedero Santa Teresa

Caudal promedio máximo: 2.81 m^3/seg

Caudal promedio mínimo: 1.76 m^3/seg

Caudales promedio mensuales

Mes	Caudal m^3/seg	Volumen 10^6 m^3
Enero	2.03	5.43
Febrero	2.02	4.89
Marzo	2.03	5.44
Abril	1.9	4.93
Mayo	1.98	5.3
Junio	2.19	5.67
Julio	2.27	6.08
Agosto	2.24	6.00
Septiembre	2.2	5.7
Octubre	2.08	5.57
Noviembre	2.08	5.39
Diciembre	2.06	5.52

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Vertedero Santa Teresa

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %	Frecuencia relativa acumulada %
1.89-1.99	14	4	100
1.99-2.01	25	7	95.85
2.01-2.07	180	49	28.85
2.07-2.13	37	10	39.85
2.13-2.19	25	6.85	29.85
2.19-2.25	51	13.97	23.0
2.25-2.31	19	5.2	9.03
2.31-2.37	9	2.46	3.83
2.37-2.43	5	1.37	1.37

$\Sigma = 365$

Cálculo del Promedio anual de la Estación Vertedero Sta. Teresa

Clase	f	xi	fxi
1.89-1.99	14	1.94	27.16
1.99-2.01	25	2.02	50.5
2.01-2.07	180	2.04	367.2
2.07-2.13	57	2.1	77.7
2.13-2.19	25	2.16	54.0
2.19-2.25	51	2.22	113.22
2.25-2.31	19	2.28	43.32
2.31-2.37	9	2.34	21.06
2.37-2.43	5	2.4	12

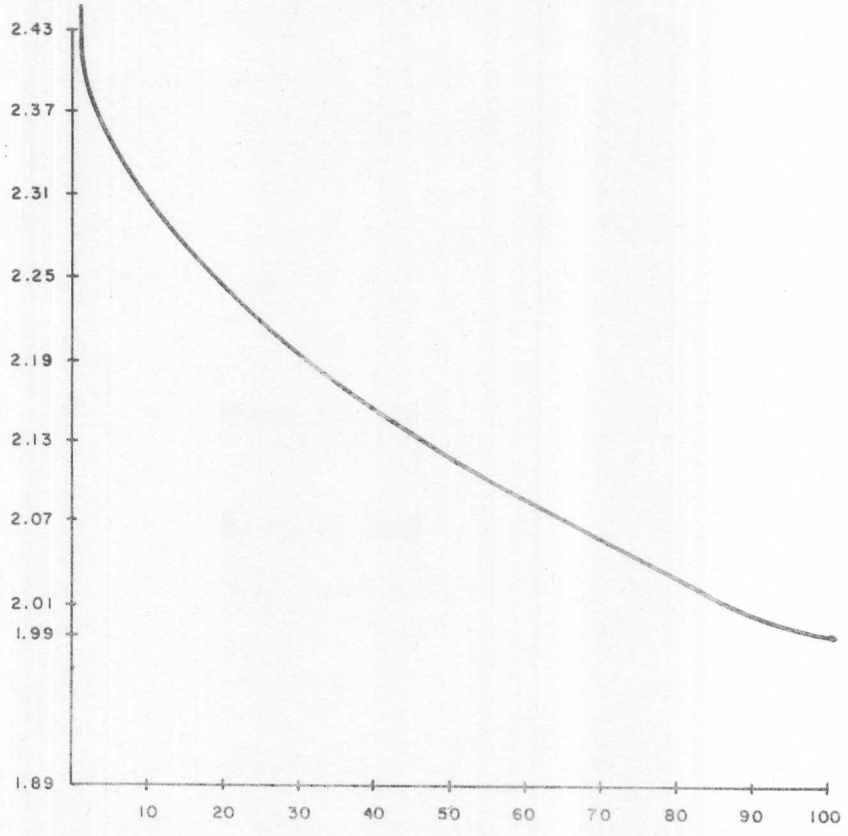
$\Sigma fxi = 766.16$

Caudal promedio anual $\frac{\Sigma fxi}{\Sigma f} = \frac{766.16}{365} = 2.1\ m^3/seg$

Volumen anual $(10^6\ m^3) = 66.22$

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

CURVA DE DURACION DE CAUDALES VERTEDERO STA. TERESA



PORCENTAJE DEL TIEMPO DURANTE EL CUAL EL CAUDAL INDICADO FUE IGUAL O MAYOR.

ESTACION: Palmira CLAVE: 20.4.1.

Información de caudales medios diarios en m^3/seg de 6 años de registro.

DIA	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
1	5.85	7.75	7.78	7.14	7.54	8.68	7.42	6.94	6.87	6.68	6.49	6.9
2	7.46	7.8	7.72	7.11	7.72	8.43	7.4	6.95	6.87	6.67	6.53	6.92
3	5.64	7.9	7.69	7.14	7.61	8.49	7.37	6.9	6.79	5.19	6.51	6.93
4	5.61	7.58	7.61	7.04	7.8	8.35	7.4	6.92	6.79	6.61	6.51	6.9
5	5.6	7.74	7.58	7.12	7.48	8.2	7.34	6.96	6.79	6.44	6.56	6.92
6	5.62	8.06	7.74	7.11	7.49	8.11	7.32	6.84	6.85	6.63	6.55	6.90
7	7.5	8.08	7.54	7.04	7.48	8.08	7.31	6.85	6.84	6.65	6.72	6.86
8	7.5	7.99	7.54	7.10	7.65	8.13	7.31	6.8	6.73	6.65	6.65	6.54
9	7.48	7.89	7.43	7.26	7.65	8.02	7.4	6.83	6.76	6.66	6.67	6.87
10	7.47	7.91	7.4	7.45	7.64	7.25	7.26	6.82	6.76	6.64	6.68	6.89
11	7.46	7.77	7.7	7.89	7.67	7.89	7.26	6.85	6.73	8.3	6.65	6.88
12	7.47	7.83	7.25	7.54	7.75	7.78	7.21	6.83	6.74	6.63	6.83	5.47
13	7.5	7.91	7.28	9.31	7.65	7.7	7.14	6.79	6.77	6.66	6.83	6.89
14	7.56	7.76	7.36	7.31	7.62	7.74	7.16	6.79	6.76	6.65	6.80	6.93
15	7.52	7.74	7.26	7.22	7.6	7.66	7.17	6.78	6.75	6.66	6.81	6.9
16	7.6	6.80	7.31	7.2	7.57	7.67	7.17	6.78	6.74	5.32	6.8	6.92
17	7.76	7.69	7.33	7.22	8.16	7.62	7.18	6.8	6.71	6.65	6.78	7.01
18	7.61	7.76	7.26	7.31	8.26	7.61	7.17	6.75	6.68	6.65	6.78	6.93
19	7.8	8.03	7.24	7.5	7.93	7.55	7.16	6.76	6.68	6.67	6.80	7.00
20	7.63	8.32	7.25	7.3	8.12	7.52	7.11	6.77	6.68	6.69	6.80	6.99
21	7.60	8.11	7.19	7.27	8.07	7.55	7.07	6.82	6.67	6.67	6.79	6.95
22	7.58	8.69	7.21	7.22	7.93	7.32	7.06	6.84	6.68	6.68	8.49	6.95

23	7.68	8.17	7.26	7.32	7.84	7.44	7.02	8.68	6.71	6.7	6.80	6.95
24	7.72	7.98	7.56	7.28	7.8	7.44	7.01	6.94	6.73	6.71	6.80	6.96
25	7.76	7.92	7.27	7.5	7.59	7.37	7.01	6.92	6.7	6.46	7.63	6.96
26	8.01	7.20	7.20	7.5	8.21	7.37	6.99	6.89	6.69	6.48	7.05	7.01
27	7.85	7.73	7.13	7.94	8.5	7.37	6.98	6.87	6.64	6.56	7.12	6.96
28	7.80	7.68	7.14	7.69	8.17	7.33	6.95	6.87	6.66	6.54	7.00	7.04
29	7.7	7.77	7.10	7.67	8.25	7.38	6.95	6.80	6.65		8.4	7.07
30	7.71	7.79	7.12	7.55	8.5	7.5	6.95	6.79	6.64		6.97	7.04
31	7.72		7.12	7.55		7.58		6.74	6.63		6.93	

Caudales medios mensuales, medio anual y volumen originado por los mismos en Estación Palmira.

Caudal promedio máximo: 9 m^3/seg

Caudal promedio mínimo: 6.83 m^3/seg

Caudales promedios mensuales

MES	Caudal en m^3/seg	Volumen 10^6 m^3
Enero	6.73	18.03
Febrero	6.59	15.94
Marzo	6.89	18.45
Abril	6.88	17.84
Mayo	7.32	19.6
Junio	7.85	20.35
Julio	7.6	20.36
Agosto	7.41	19.84
Septiembre	7.84	20.32
Octubre	7.75	20.76
Noviembre	6.34	17.99
Diciembre	6.9	18.48

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

ESTACION PALMIRA

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %	Frecuencia acumulada relativa
6.5-6.75	69	19	100
6.75-7.15	110	30	80.97
7.15-7.55	81	22.2	50.97
7.55-7.95	73	20	28.77
7.95-8.35	23	6.3	8.77
8.35-8.75	8	2.2	2.47
8.75-9.35	1	0.27	0.27

$\Sigma = 365$

Cálculo caudal promedio anual de la Estación Palmira

Clase	f	xi	fxi
6.5-6.75	69	6.63	457.47
6.75-7.15	110	6.95	764.5
7.15-7.55	81	7.35	595.35
7.55-7.95	73	7.75	565.75
7.95-8.35	23	8.3	190.90
8.35-8.75	8	8.55	68.4
8.75-9.35	1	9.05	9.05
	Σ=365		2651.42

Caudal promedio anual: $\frac{\Sigma fxi}{\Sigma f} = \frac{2651.42}{365} = 7.26\ m^3/seg.$

Volumen anual ($10^6\ m^3$) = 229

Ordenamiento de datos, caudales medios diarios promedio de 6 años de registro, estación: PALMIRA

Clave: 20.4.1 (utilizando fórmula de Sturger para el cálculo de número de clases)

Caudal mínimo: 5.19 m^3/seg

Caudal máximo: 9.31 m^3/seg

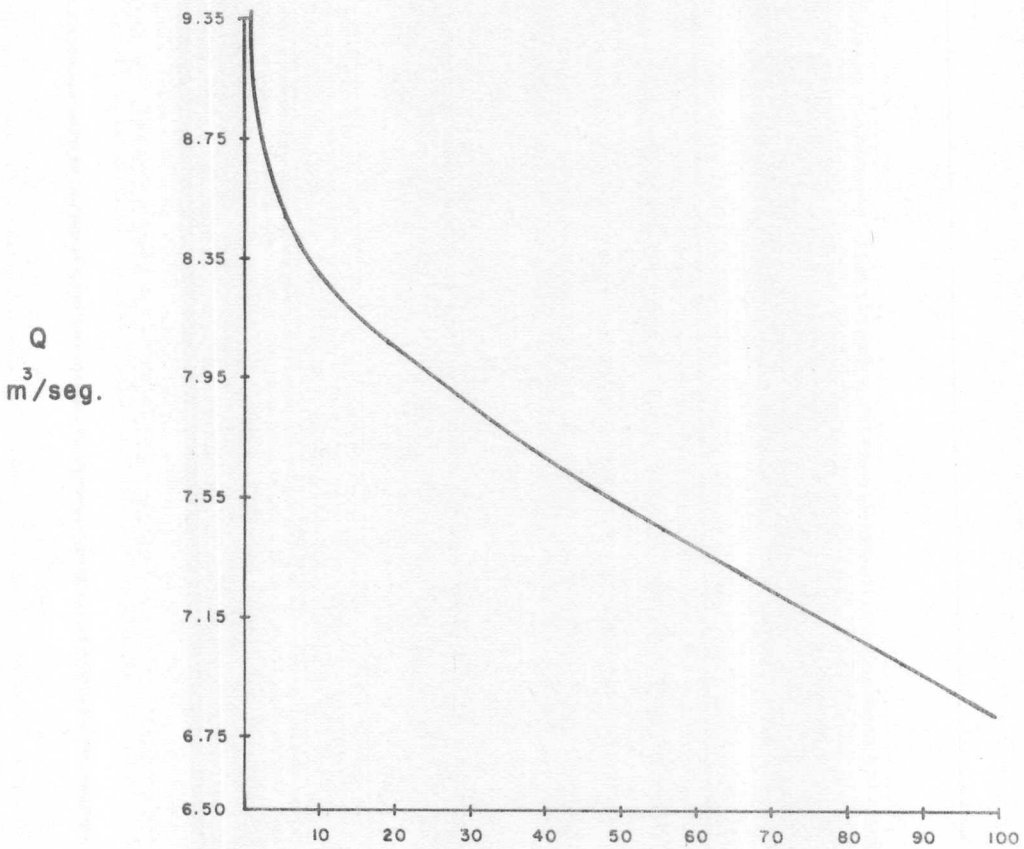
Rango o amplitud = 9.31 - 5.19 = 4.12

No. de clase: = 1 + 3.3 log (365)

No. de clases = 10

Intervalo de clase: $\frac{4.12}{10} = 0.41 = 0.4$

CURVA DE DURACION DE CAUDALES ESTACION PALMIRA



CAUDALES CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA "MADRE VIEJA"

ESTACION PANIBAJ (365 días)

1) Caudal característico de aguas bajas a 99% = 1.1 m^3/seg
2) Caudal característico de aguas bajas a 50% (180 días) = 1.2 m^2/ seg
3) Caudal característico de aguas altas a: 1.54 % (6 días) = 2.0 m^3/seg

VERTEDERO QUITZAYA

1) Caudal característico de aguas bajas a: 99% (365 días) = 2.75 m^3/seg
2) Caudal característico de aguas bajas a: 50% (180 días) = 3.33 m^3/ seg
3) Caudal característico de aguas altas a: 5% (18 días) = 3.78 m^3/seg.

ESTACION SANTA TERESA

1) Caudal característico de aguas bajas a 99% (365 días) = 1.99 m^3/seg
2) Caudal característico de aguas bajas a 50% (180 días) = 2.09 m^3/seg
3) Caudal característico de aguas altas a 5% (18 días) = 2.35 m^3/seg

ESTACION PALMIRA

1) Caudal característico de aguas bajas a 99% (365 días) = 6.75 m^3/seg
2) Caudal característico de aguas bajas a 50% (180 días) = 7.54 m^3/seg
3) Caudal característico de aguas altas a 5% (6 días) = 8.75 m^3/seg

EVAPOTRANSPIRACION

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

De la precipitación que cae en dirección a la superficie de la tierra, una parte se evpora antes de llegar al suelo. Sin embargo, debido a que el meteorólogo mide la precipitación a 1.5 mts. de la superficie del suelo, la evaporación que tiene lugar a partir de las gotas de lluvia no tiene importancia práctica excepto en la interpretación de la reflectividad del radar meteorológico como medida de la precipitación.

De manera similar, la evaporación en los océanos está por fuera del campo de interés directo, la precipitación captada por la cobertura vegetal (intercepción) se evapora eventualmente, y la cnatidad del agua que realmente llega a la superficie se ve por lo tanto, generalmente disminuida con respecto a la precipitación observada en una estación. Otros mecanismos de la evaporación, los cuales se considerarán en mayor detalle, son: La transpiración por las plantas y la evaporación del suelo, nieve y superficies de agua (lagos, embalses, ríos y depresiones).

En regiones áridas la evaporación que pueda esperarse es un elemento decisivo en el diseño de embalses.

La evaporación y transpiración (evapotranspiración) indican cambios en la humedad de la cuenca, y por lo tanto, a veces se usan para estimar la escorrentía producida por una tormenta en la preparación de predicciones sobre condiciones en ríos. Los valores estimados de estos factores se emplean también al determinar las necesidades de abastecimiento de aguas para proyectos de irrigación.

Evaporación: Los meteorólogos designan con el nombre de evaporación al conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso específicamente físico.

Los fenómenos de evaporación en superficie intervienen en el ciclo hidrológico - desde el momento en que las precipitaciones llegan a la superficie del suelo. La evaporación se verifica primero a partir del agua de lluvia que cubre la - delgada película de las hojas, los tallos y las ramas de todas las plantas o - que escurre sobre la superficie del suelo. El agua que impregna las capas superficiales del terreno, procede de lluvias recientes infiltradas a pequeña profundidad o que sube por capilaridad desde la capa freática.

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 su supervivencia se agrupa bajo el nombre de evapotranspiración el conjunto de los procesos de evaporación y transpiración. La altura de la lámina de agua así evapotranspirada en - una cuenca o vertiente durante un período determinado, es su evapotranspiración total en el curso de ese período.

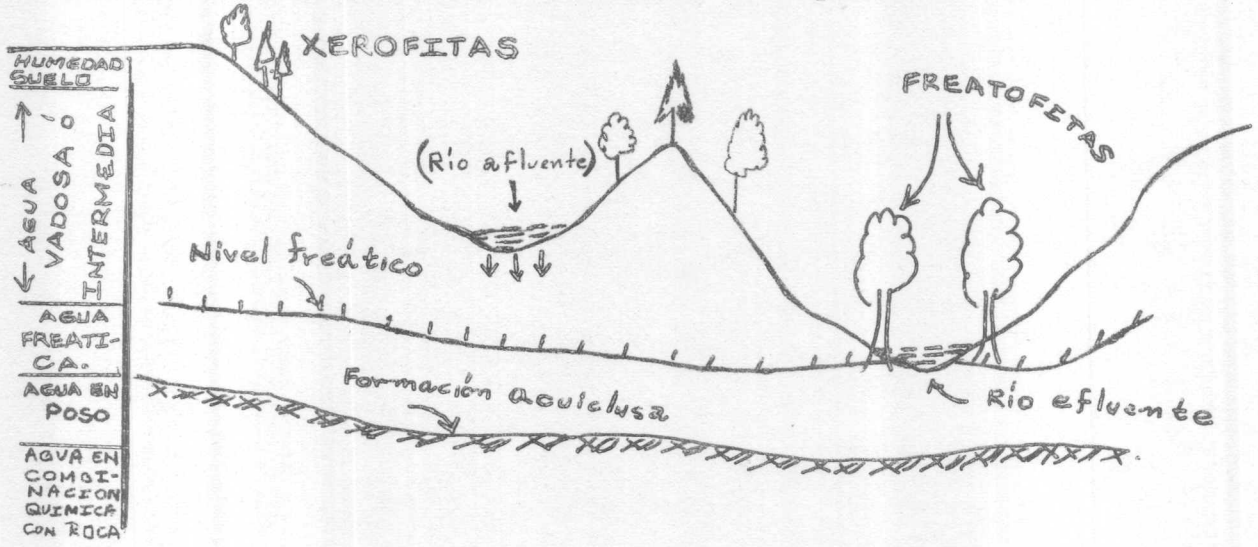
Si los volúmenes de agua "retenidas" en la cuenca son los mismos respectivamente, al comienzo y al final del período considerado, esta evaporación total es igual al déficit de escurrimiento de dicha cuenca. En esas condiciones, el déficit - de escurrimiento (D) relativo a un período determinado, es definido como la diferencia (expresada en altura de lámina de agua) entre las precipitaciones P caídas en la cuenca y el volumen de agua Q escurrido en la sección de la estación - de aforo correspondiente al curso de agua medido; pudiendose expresar por medio de una sencilla ecuación que podemos llamar Ecuación del Balance Hídrico.

$D = P - Q$. Esta magnitud que engloba todas las pérdidas del balance hidrológico

interviene frecuentemente en los cálculos prácticos de ingeniería.

Referente al agua que corre en flujo subterráneo, es de hacer notar que es - relativamente libre de contaminación y es particularmente útil para uso domés tico en pueblos pequeños y en granjas aisladas. En regiones áridas, el agua subterránea es frecuentemente la única fuente segura de abastecimiento para irrigación. Dado que las temperaturas del agua subterránea son relativamente bajas, grandes cantidades de ella se utilizan para enfriamiento en zonas cáli das.

Aparte de su uso directo, el agua del subsuelo representa también una fase muy importante del ciclo hidrológico, la mayor parte del flujo en corrientes perma nentes de agua proviene del agua subterránea, mientras que una gran parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie. De ese modo ningún examen, sobre agua superficial, puede ignorar las relaciones con los procesos subsuperficiales. Dado que el estado y movimiento del agua sub terránea están intimamente ligados con la estructura geológica del terreno, la compresión de los controles geológicos es un prerrequisito para el correcto entendimiento de los procesos de hidrología sub-superficial.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

El esquema anterior es una sección transversal de la parte superior de la corteza terrestre con una columna idealizada que muestra una clasificación común del agua subterránea las dos regiones principales están separadas por una superficie irregular llamada Nivel Freático o tabla de agua. La tabla de agua (en un acuífero inconfinado) es el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. Por encima del nivel freático está la zona vadosa en la cual los poros del suelo pueden contener agua o aire y por esta razón se llama también zona de aeración. En la zona freática por debajo de la tabla de agua, los intersticios están llenos de agua por lo cual esta zona también es llamada, Zona de Saturación. La zona freática puede extenderse a una profundidad considerable pero a medida que aumenta la profundidad, el peso de la sobrecarga tiende a cerrar los poros del suelo, de manera que es poca el agua que se encuentra a profundidades superiores a los 3 kilómetros.

Se encuentran a menudo zonas localmente saturadas que constituyen los llamados conos de agua emporchada, sobre lente o estratos de material impermeable. Algunas veces el agua subterránea se halla en una formación recubierta por un estrato impermeable, formando así un acuífero confinado o artesiano. Los acuíferos confinados se encuentran generalmente a presión debido al peso de sobrecarga y a la cabeza hidrostática. Si un pozo llega a penetrar a la capa confinante, el agua subirá hasta alcanzar el nivel piezométrico que es el equivalente artesiano de la tabla de agua. Si el nivel piezométrico se halla por encima de la superficie del terreno, el pozo descargará como un manantial.

HUMEDAD EN LA ZONA VADOSA

En la zona vadosa la humedad se reparte en tres regiones que a continuación se indican:

Región húmeda del suelo: Es aquella en la cual penetran las raíces de las plantas y está comprendida entre 0 y 10 metros a partir de la superficie. En esta zona el agua fluctúa de acuerdo con la tasa de extracción por las plantas entre los distintos períodos de lluvia.

Franja capilar está: En segundo término y comprende la región por encima del nivel freático, donde impera la tensión capilar que obliga el ascenso del agua. Esta franja varía en espesor desde unos centímetros hasta algunos metros de acuerdo al tamaño de los poros del suelo. Si el nivel freático está cerca de la superficie, la franja capilar y la zona de humedad del suelo pueden superponerse, sin embargo, en sitios donde la tabla de agua es profunda, aparece una región intermedia donde los niveles de humedad permanecen constantes y son iguales a la capacidad de campo del suelo y la roca del lugar.

Dado que la infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra ya diferencia de la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo una vez que el agua está en contacto con dicho suelo; el agua gravitacional penetrará a través de las intersticios más gruesos, mientras que los más pequeños tomarán agua por capilaridad. El agua gravitacional, en su trayecto de descenso, también es interceptada por intersticios capilares. A medida que los poros capilares de la superficie se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye. En suelos homógenos la infiltración disminuye gradualmente hasta que la zona de aeración es saturada. Normalmente el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que las capas superficiales. En este caso, la tasa de infiltración se

reduce a la tasa de percolación del estrato menos permeable.

La infiltración a partir de una lluvia se caracteriza por la formación de capas de agua muy delgadas en la superficie del suelo, que se extienden sobre áreas de considerable magnitud. Las cantidades de lluvia infiltradas son en general muy pequeñas (unos pocos centímetros por día) y raramente son capaces de saturar una profundidad considerable del suelo. Cuando la lluvia cesa, el agua gravitacional presente aún en el suelo continúa su trayectoria descendiente y es también interceptada por los intersticios capilares. Generalmente el agua infiltrada se distribuye dentro de las capas superiores del suelo, aportando muy poco al abastecimiento de agua subterránea, a menos que el suelo sea muy permeable o que la zona vadosa sea muy delgada.

Para irrigación y recarga artificial de agua subterránea, se hacen embalses a una profundidad considerable en áreas de extensión limitada, durante períodos largo. El objetivo de una operación de recarga es el de saturar el suelo hasta la capa freática. Bajo tales condiciones, la variación temporal de la tasa de la infiltración es compleja, con aumentos ocasionales superpuestos en una tendencia general descendente.

A continuación se adjuntan los cuadros que describen el Balance Hídrico de las estaciones que se encuentran dentro de la Cuenca del río Madre Vieja, las que poséen registro de temperatura y precipitación.

Estacion: SANTO TOMAS PERDIDO

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 150 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	67.5	48.2	33.9	30.4	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	103.5	
Var.H.	-36.0	-19.3	-14.4	-3.4	119.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-46.5	
E.Real	43.9	44.3	43.8	74.7	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	62.4	844.5
Deft.H	28.1	31.2	38.7	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	119.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1669.0
Escor.	40.8	20.4	10.2	5.1	6.2	222.8	234.8	218.9	348.0	316.6	163.4	81.7	1669.0
Ret.H.	108.4	68.7	44.1	35.5	156.2	372.8	384.8	368.9	498.0	466.6	313.4	185.2	
Cap.I.	82.5	101.8	116.1	119.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.5	466.4

Indice humedad: 173.1 Indice aridez: 12.4 Indice pluviosidad: 165.6

Retencion 200 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	109.9	85.4	65.5	60.5	187.4	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	151.4	
Var.H.	-41.5	-24.5	-19.9	-5.0	127.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-48.6	
E.Real	49.4	49.5	49.3	76.3	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	64.5	864.5
Deft.H	22.5	26.0	33.2	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	99.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	426.8	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1649.1
Escor.	40.8	20.4	10.2	5.1	2.5	214.7	230.7	216.9	347.0	316.1	163.1	81.6	1649.1
Ret.H.	150.7	105.8	75.7	65.6	190.0	414.7	430.7	416.9	547.0	516.1	363.1	233.0	
Cap.I.	90.1	114.6	134.5	139.5	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	539.9

Indice humedad: 171.0 Indice aridez: 10.3 Indice pluviosidad: 164.8

Retencion 250 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	154.9	126.6	102.3	96.0	223.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	200.1	
Var.H.	-45.2	-28.3	-24.2	-6.4	127.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-49.9	
E.Real	53.1	53.3	53.6	77.7	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	65.8	879.0
Deft.H	18.8	22.2	28.9	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	85.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	412.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1634.6
Escor.	40.7	20.4	10.2	5.1	2.5	207.4	227.1	215.1	346.1	315.6	162.9	81.4	1634.6
Ret.H.	195.6	146.9	112.5	101.1	225.5	457.4	477.1	465.1	596.1	565.6	412.9	281.6	
Cap.I.	95.1	123.4	147.7	154.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.9	597.1

Indice humedad: 169.5 Indice aridez: 8.8 Indice pluviosidad: 164.2

ESTACION: SANTO TOMAS PERDIDO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion	75 mm.												
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	15.2	7.8	3.8	3.1	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	35.7	
Var.H.	-20.5	-7.5	-3.9	-0.7	71.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-39.3	
E.Real	28.4	32.5	33.3	72.0	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	55.2	796.9
Deft.H	43.5	43.1	49.2	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	167.4
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	55.1	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1716.7
Escor.	40.9	20.5	10.2	5.1	30.1	234.7	240.8	221.9	349.5	317.3	163.7	81.9	1716.7
Ret.H.	56.1	28.2	14.1	8.2	105.1	309.7	315.8	296.9	424.5	392.3	238.7	117.6	
Cap.I.	59.8	67.2	71.2	71.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	309.4

Indice humedad: 178.0 Indice aridez: 17.4 Indice pluviosidad: 167.6

Retencion	100 mm.												
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	30.2	18.2	10.7	9.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	57.3	
Var.H.	-27.1	-12.0	-7.5	-1.6	90.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-42.7	
E.Real	35.0	37.0	36.9	72.9	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	58.6	815.8
Deft.H	36.9	38.5	45.6	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	148.4
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	36.1	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1697.7
Escor.	40.9	20.5	10.2	5.1	20.6	230.0	238.4	220.7	348.9	317.0	163.6	81.8	1697.7
Ret.H.	71.1	38.7	20.9	14.2	120.6	330.0	338.4	320.7	448.9	417.0	263.6	139.1	
Cap.I.	69.8	81.8	89.3	90.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.7	374.4

Indice humedad: 176.1 Indice aridez: 15.4 Indice pluviosidad: 166.8

Retencion	125 mm.												
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	48.0	32.0	21.0	18.4	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	80.1	
Var.H.	-32.1	-15.9	-11.1	-2.5	106.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.9	
E.Real	40.0	40.9	40.5	73.8	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	60.8	831.5
Deft.H	31.9	34.6	42.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	132.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1682.0
Escor.	40.9	20.4	10.2	5.1	12.8	226.0	236.4	219.7	348.4	316.8	163.5	81.7	1682.0
Ret.H.	88.9	52.5	31.2	23.5	137.8	351.0	361.4	344.7	473.4	441.8	288.5	161.8	
Cap.I.	77.0	93.0	104.0	106.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.9	425.5

Indice humedad: 174.4 Indice aridez: 13.8 Indice pluviosidad: 166.2

BALANCE HIDRICO MEDIO MENSUAL

Estacion: SANTO TOMAS PERDIDO — Años 1945 a 1970

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp.M.	20.7	20.9	21.4	21.6	21.5	21.0	21.5	21.4	20.7	20.6	20.8	20.7	21.1
Precp.	7.9	25.0	29.4	71.3	215.8	524.7	336.5	289.5	554.6	359.2	83.5	15.9	2513.3
Evapt.	71.9	75.5	82.5	87.3	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	71.5	964.3
D.=P-E	-64.0	-50.5	-53.1	-16.0	126.9	439.3	246.8	203.0	477.1	285.1	10.1	-55.6	1549.1

Retencion 25 mm.

P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	1.0	1.0	1.0	1.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	2.7	
Var.H.	-1.7	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.3	
E.Real	9.6	25.0	29.4	71.3	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	38.2	749.0
Deft.H	62.3	50.5	53.1	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	215.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	103.0	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1764.6
Escor.	41.0	20.5	10.3	5.1	54.0	246.7	246.8	224.9	351.0	318.1	164.1	82.1	1764.6
Ret.H.	42.0	21.5	11.3	6.1	79.0	271.7	271.8	249.9	376.0	343.1	189.1	84.8	
Cap.I.	24.0	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.3	118.3

Indice humedad: 183.0 Indice aridez: 22.3 Indice pluviosidad: 169.6

Retencion 50 mm.

P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	4.6	1.7	1.0	1.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	16.4	
Var.H.	-11.9	-2.9	-0.7	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.6	
E.Real	19.8	27.9	30.1	71.3	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	49.5	774.0
Deft.H	52.2	47.6	52.4	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	190.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	439.3	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1739.6
Escor.	41.0	20.5	10.2	5.1	41.5	240.4	243.6	223.3	350.2	317.7	163.9	82.0	1739.6
Ret.H.	45.5	22.2	11.2	6.1	91.5	290.4	293.6	273.3	400.2	367.7	213.9	98.4	
Cap.I.	45.4	48.3	49.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.6	225.3

Indice humedad: 180.4 Indice aridez: 19.7 Indice pluviosidad: 168.6

Estacion: SANTO TOMAS PERDIDO

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 300 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	201.3	170.1	142.5	135.1	262.1	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	249.2	
Var.H.	-47.9	-31.2	-27.6	-7.4	127.0	37.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-50.8	
E.Real	55.8	56.2	57.0	78.7	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	66.7	889.8
Deft.H	16.1	19.3	25.5	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	74.4
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	401.4	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1623.7
Escor.	40.7	20.3	10.2	5.1	2.5	202.0	224.4	213.7	345.4	315.3	162.7	81.4	1623.7
Ret.H.	242.0	190.5	152.7	140.2	264.6	502.0	524.4	513.7	645.4	615.3	462.7	330.6	
Cap.I.	98.7	129.9	157.5	164.9	37.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.8	639.6
Indice humedad: 168.4					Indice aridez:		7.7		Indice pluviosidad:			163.8	
Retencion 350 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	248.6	215.2	184.9	176.7	303.6	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	298.6	
Var.H.	-49.9	-33.4	-30.3	-8.3	127.0	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-51.5	
E.Real	57.8	58.4	59.7	79.6	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	67.4	898.3
Deft.H	14.1	17.1	22.8	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	65.9
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	393.0	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1615.3
Escor.	40.6	20.3	10.2	5.1	2.5	197.8	222.3	212.7	344.9	315.0	162.6	81.3	1615.3
Ret.H.	289.3	235.6	195.1	181.7	306.2	547.8	572.3	562.7	694.9	665.0	512.6	379.8	
Cap.I.	101.4	134.8	165.1	173.3	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.5	672.4
Indice humedad: 167.5					Indice aridez:		6.8		Indice pluviosidad:			163.4	
Retencion 400 mm.													
P.Pot.	119.7	170.2	223.3	239.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	
A.Alm.	296.6	261.4	228.9	219.9	346.9	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	348.0	
Var.H.	-51.5	-35.2	-32.5	-9.0	127.0	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-52.0	
E.Real	59.4	60.2	61.9	80.3	88.9	85.4	89.7	86.5	77.5	74.1	73.4	67.9	905.1
Deft.H	12.5	15.3	20.6	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	59.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	386.2	246.8	203.0	477.2	285.1	10.2	0.0	1608.5
Escor.	40.6	20.3	10.2	5.1	2.5	194.4	220.6	211.8	344.5	314.8	162.5	81.2	1608.5
Ret.H.	337.2	281.7	239.1	225.0	349.4	594.4	620.6	611.8	744.5	714.8	562.5	429.3	
Cap.I.	103.4	138.6	171.1	180.1	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0	698.3
Indice humedad: 166.8					Indice aridez:		6.1		Indice pluviosidad:			163.1	

Estacion: SANTA TERESA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 75 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	14.6	7.4	3.5	20.2	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	35.9	
Var.H.	-21.2	-7.2	-3.9	16.7	54.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-39.1	
E.Real	35.3	41.1	41.6	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	62.9	895.5
Deft.H	46.1	43.5	52.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	157.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	119.2	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	2003.9
Escor.	45.0	22.5	11.2	5.6	62.4	297.7	290.9	293.6	378.9	326.4	179.9	89.9	2003.9
Ret.H.	59.6	29.9	14.8	25.9	137.4	372.7	365.9	368.6	453.9	401.4	254.9	125.8	
Cap.I.	60.4	67.6	71.5	54.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	293.3

Indice humedad: 190.3 Indice aridez: 15.0 Indice pluviosidad: 181.3

Retencion 100 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	29.3	17.7	10.1	26.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	57.5	
Var.H.	-28.2	-11.7	-7.6	16.7	73.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-42.5	
E.Real	42.3	45.6	45.3	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	66.3	914.0
Deft.H	39.2	39.0	48.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	139.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	100.8	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1985.4
Escor.	44.9	22.5	11.2	5.6	53.2	293.0	288.6	292.4	378.3	326.1	179.7	89.9	1985.4
Ret.H.	74.3	40.1	21.3	32.4	153.2	393.0	388.6	392.4	478.3	426.1	279.7	147.4	
Cap.I.	70.7	82.3	89.9	73.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	358.6

Indice humedad: 188.5 Indice aridez: 13.2 Indice pluviosidad: 180.6

Retencion 125 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	46.8	31.2	20.0	36.7	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	80.3	
Var.H.	-33.4	-15.6	-11.3	16.7	88.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.7	
E.Real	47.5	49.5	49.0	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	68.5	929.1
Deft.H	33.9	35.0	44.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	124.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	85.7	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1970.3
Escor.	44.9	22.4	11.2	5.6	45.6	289.3	286.7	291.5	377.9	325.8	179.6	89.8	1970.3
Ret.H.	91.7	53.7	31.2	42.3	170.6	414.3	411.7	416.5	502.9	450.8	304.6	170.1	
Cap.I.	78.2	93.8	105.0	88.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.7	410.0

Indice humedad: 187.1 Indice aridez: 11.8 Indice pluviosidad: 180.0

Estacion: SANTA TERESA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 150 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	66.2	47.2	32.5	49.2	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	103.7	
Var.H.	-37.5	-19.0	-14.7	16.7	100.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-46.3	
E.Real	51.6	52.9	52.4	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	70.1	941.5
Deft.H	29.8	31.7	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	111.8
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	73.2	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1957.9
Escor.	44.9	22.4	11.2	5.6	39.4	286.2	285.1	290.7	377.5	325.6	179.5	89.7	1957.9
Ret.H.	111.1	69.7	43.8	54.9	189.4	436.2	435.1	440.7	527.5	475.6	329.5	193.5	
Cap.I.	83.8	102.8	117.5	100.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.3	451.1

Indice humedad: 185.9 Indice aridez: 10.6 Indice pluviosidad: 179.5

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 200 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	108.3	84.1	63.6	80.3	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	151.7	
Var.H.	-43.4	-24.2	-20.5	16.7	119.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-48.3	
E.Real	57.5	58.1	58.2	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	72.1	960.5
Deft.H	24.0	26.4	35.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	92.8
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	54.3	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1938.9
Escor.	44.8	22.4	11.2	5.6	29.9	281.4	282.8	289.5	376.9	325.3	179.4	89.7	1938.9
Ret.H.	153.1	106.5	74.8	85.9	229.9	481.4	482.8	489.5	576.9	525.3	379.4	241.3	
Cap.I.	91.7	115.9	136.4	119.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.3	512.1

Indice humedad: 184.1 Indice aridez: 8.8 Indice pluviosidad: 178.8

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 250 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	153.0	125.0	99.9	116.6	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	200.4	
Var.H.	-47.3	-28.1	-25.0	16.7	133.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-49.6	
E.Real	61.4	62.0	62.7	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	73.4	974.1
Deft.H	20.0	22.6	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	79.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1925.3
Escor.	44.8	22.4	11.2	5.6	23.1	278.0	281.1	288.7	376.4	325.1	179.2	89.6	1925.3
Ret.H.	197.9	147.4	111.1	122.2	273.1	528.0	531.1	538.7	626.4	575.1	429.2	290.0	
Cap.I.	97.0	125.0	150.1	133.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.6	555.0

Indice humedad: 182.8 Indice aridez: 7.5 Indice pluviosidad: 178.3

Estacion: SANTA TERESA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 300 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	199.3	168.3	139.7	156.4	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	249.5	
Var.H.	-50.2	-31.0	-28.6	16.7	143.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-50.5	
E.Real	64.3	64.9	66.3	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	74.3	984.3
Deft.H	17.2	19.7	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	68.9
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1915.1
Escor.	44.8	22.4	11.2	5.6	18.0	275.4	279.8	288.0	376.1	325.0	179.2	89.6	1915.1
Ret.H.	244.1	190.7	150.9	162.0	318.0	575.4	579.8	588.0	676.1	625.0	479.2	339.0	
Cap.I.	100.7	131.7	160.3	143.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.5	586.7
Indice humedad: 181.8					Indice aridez:		6.5		Indice pluviosidad:			177.9	
Retencion 350 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	246.5	213.3	181.8	198.5	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	298.8	
Var.H.	-52.3	-33.2	-31.5	16.7	151.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-51.2	
E.Real	66.4	67.1	69.2	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	75.0	992.2
Deft.H	15.0	17.4	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	61.0
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1907.2
Escor.	44.8	22.4	11.2	5.6	14.1	273.5	278.8	287.5	375.9	324.9	179.1	89.6	1907.2
Ret.H.	291.3	235.7	193.0	204.1	364.1	623.5	628.8	637.5	725.9	674.9	529.1	388.4	
Cap.I.	103.5	136.7	168.2	151.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.2	611.0
Indice humedad: 181.1					Indice aridez:		5.8		Indice pluviosidad:			177.6	
Retencion 400 mm.													
P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	294.4	259.3	225.5	242.2	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	348.3	
Var.H.	-54.0	-35.0	-33.8	16.7	157.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-51.7	
E.Real	68.1	68.9	71.5	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	75.5	998.5
Deft.H	13.4	15.6	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	54.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	1900.9
Escor.	44.8	22.4	11.2	5.6	10.9	271.9	278.0	287.1	375.7	324.8	179.1	89.5	1900.9
Ret.H.	339.1	281.7	236.7	247.8	410.9	671.9	678.0	687.1	775.7	724.8	579.1	437.8	
Cap.I.	105.6	140.7	174.5	157.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	630.2
Indice humedad: 180.5					Indice aridez:		5.2		Indice pluviosidad:			177.4	

BALANCE HIDRICO MEDIO MENSUAL

Estacion: SANTA TERESA — Años 1958 a 1970

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp.M.	22.2	22.3	22.9	22.9	22.4	22.0	22.4	22.4	21.9	21.8	21.8	22.0	22.3
Precp.	14.1	33.9	37.7	113.6	268.2	624.2	379.2	389.0	548.9	354.8	111.7	23.8	2899.1
Evapt.	81.4	84.6	93.6	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	79.1	1053.3
D.=P-E	-67.3	-50.7	-55.9	16.7	173.9	532.8	284.1	296.2	464.2	273.8	33.3	-55.3	1845.8

Retencion 25 mm.

P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	1.0	1.0	1.0	17.7	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	2.7	
Var.H.	-1.7	0.0	0.0	16.7	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.3	
E.Real	15.8	33.9	37.7	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	46.1	848.1
Deft.H	65.6	50.7	55.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.1	205.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	166.7	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	2051.3
Escor.	45.1	22.5	11.3	5.6	86.2	309.5	296.8	296.5	380.4	327.1	180.2	90.1	2051.3
Ret.H.	46.1	23.5	12.3	23.3	111.2	334.5	321.8	321.5	405.4	352.1	205.2	92.8	
Cap.I.	24.0	24.0	24.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.3	101.6

Indice humedad: 194.8 Indice aridez: 19.5 Indice pluviosidad: 183.1

Retencion 50 mm.

P.Pot.	122.7	173.3	229.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	
A.Alm.	4.3	1.6	1.0	17.7	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	16.5	
Var.H.	-12.2	-2.7	-0.6	16.7	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.5	
E.Real	26.3	36.6	38.3	96.9	94.3	91.4	95.1	92.8	84.7	81.0	78.4	57.3	873.1
Deft.H	55.1	47.9	55.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.9	180.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	141.7	532.9	284.1	296.3	464.2	273.8	33.4	0.0	2026.3
Escor.	45.0	22.5	11.3	5.6	73.7	303.3	293.7	295.0	379.6	326.7	180.0	90.0	2026.3
Ret.H.	49.3	24.1	12.3	23.3	123.7	353.3	343.7	345.0	429.6	376.7	230.0	106.5	
Cap.I.	45.7	48.4	49.0	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	208.9

Indice humedad: 192.4 Indice aridez: 17.1 Indice pluviosidad: 182.1

BALANCE HIDRICO MEDIO MENSUAL

Estacion: SANTA CRUZ QUIXAJA — Años 1945 a 1970

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp.M.	22.3	22.6	22.6	22.7	22.5	21.8	22.1	22.2	21.8	21.8	22.2	22.4	22.3
Precp.	12.9	25.4	34.3	94.5	248.8	523.8	346.5	313.2	544.9	569.7	94.7	24.3	2833.0
Evapt.	82.4	87.5	90.5	94.8	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	82.9	1052.0
D.=P-E	-69.5	-62.1	-56.2	-0.3	153.5	434.6	254.6	222.5	461.2	488.7	12.6	-58.6	1781.0

Retencion 25 mm.

P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	1.0	1.0	1.0	1.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	2.4	
Var.H.	-1.4	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.6	
E.Real	14.3	25.4	34.3	94.5	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	46.9	829.4
Deft.H	68.1	62.1	56.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	222.6
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	129.5	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	2003.8
Escor.	54.0	27.0	13.5	6.7	68.1	251.4	253.0	237.8	349.5	419.1	215.9	107.9	2003.8
Ret.H.	55.0	28.0	14.5	7.7	93.1	276.4	278.0	262.8	374.5	444.1	240.9	110.3	
Cap.I.	24.0	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	118.6

Indice humedad: 190.5 Indice aridez: 21.2 Indice pluviosidad: 177.8

Retencion 50 mm.

P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	3.9	1.1	1.0	1.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	15.5	
Var.H.	-11.6	-2.7	-0.1	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-34.5	
E.Real	24.5	28.1	34.4	94.5	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	58.8	854.4
Deft.H	57.8	59.4	56.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	197.6
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	104.5	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1978.8
Escor.	53.9	27.0	13.5	6.7	55.6	245.1	249.9	236.2	348.7	418.7	215.7	107.8	1978.8
Ret.H.	57.8	28.1	14.5	7.7	105.6	295.1	299.9	286.2	398.7	468.7	265.7	123.3	
Cap.I.	46.1	48.9	49.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.5	227.5

Indice humedad: 188.1 Indice aridez: 18.8 Indice pluviosidad: 176.8

Estacion: SANTA CRUZ QUIXAJA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion	75 mm.												
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	13.6	5.9	2.8	2.8	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	34.3	
Var.H.	-20.7	-7.7	-3.1	-0.0	72.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-40.7	
E.Real	33.6	33.1	37.4	94.5	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	65.0	877.6
Deft.H	48.7	54.4	53.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	174.4
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1955.6
Escor.	53.9	26.9	13.5	6.7	44.0	239.3	247.0	234.8	348.0	418.4	215.5	107.7	1955.6
Ret.H.	67.5	32.9	16.3	9.5	119.0	314.3	322.0	309.8	423.0	493.4	290.5	142.1	
Cap.I.	61.4	69.1	72.2	72.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.7	315.5

Indice humedad: 185.9 Indice aridez: 16.6 Indice pluviosidad: 175.9

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion	100 mm.												
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	27.8	14.9	8.5	8.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	55.7	
Var.H.	-27.9	-12.9	-6.4	-0.0	91.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.3	
E.Real	40.8	38.3	40.7	94.5	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	68.6	896.9
Deft.H	41.6	49.2	49.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	155.1
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1936.3
Escor.	53.8	26.9	13.5	6.7	34.4	234.5	244.6	233.6	347.4	418.1	215.3	107.7	1936.3
Ret.H.	81.6	41.9	22.0	15.2	134.4	334.5	344.6	333.6	447.4	518.1	315.3	163.3	
Cap.I.	72.2	85.1	91.5	91.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	384.6

Indice humedad: 184.1 Indice aridez: 14.7 Indice pluviosidad: 175.2

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion	125 mm.												
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	44.9	27.3	17.4	17.4	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	78.2	
Var.H.	-33.4	-17.6	-9.9	-0.0	107.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-46.8	
E.Real	46.3	43.0	44.2	94.5	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	71.1	913.0
Deft.H	36.1	44.5	46.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	139.0
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	45.9	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1920.2
Escor.	53.8	26.9	13.5	6.7	26.3	230.5	242.5	232.6	346.9	417.8	215.2	107.6	1920.2
Ret.H.	98.7	54.2	30.9	24.1	151.3	355.5	367.5	357.6	471.9	542.8	340.2	185.8	
Cap.I.	80.1	97.7	107.6	107.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8	439.8

Indice humedad: 182.5 Indice aridez: 13.2 Indice pluviosidad: 174.6

ESTACION* SANTA CRUZ QUIXAJA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 150 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	63.9	42.2	29.0	29.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	101.5	
Var.H.	-37.6	-21.7	-13.2	-0.1	121.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-48.5	
E.Real	50.5	47.1	47.5	94.6	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	72.8	926.4
Deft.H	31.8	40.4	43.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	125.6
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1906.8
Escor.	53.8	26.9	13.4	6.7	19.6	227.1	240.9	231.7	346.5	417.6	215.1	107.6	1906.8
Ret.H.	117.6	69.1	42.5	35.7	169.6	377.1	390.9	381.7	496.5	567.6	365.1	209.1	
Cap.I.	86.1	107.8	121.0	121.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-200.0	0.0	0.0	48.5	-153.5
Indice humedad: 181.3					Indice aridez: 11.9					Indice pluviosidad: 174.1			
Retencion 200 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	105.4	77.3	58.4	58.3	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	149.2	
Var.H.	-43.8	-28.1	-18.9	-0.1	141.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-50.8	
E.Real	56.7	53.5	53.2	94.6	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	75.1	947.1
Deft.H	25.7	34.0	37.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	104.9
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	434.6	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1886.1
Escor.	53.7	26.9	13.4	6.7	9.2	221.9	238.3	230.4	345.8	417.3	214.9	107.5	1886.1
Ret.H.	159.2	104.2	71.8	65.0	209.2	421.9	438.3	430.4	545.8	617.3	414.9	256.7	
Cap.I.	94.6	122.7	141.6	141.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.8	551.4
Indice humedad: 179.3					Indice aridez: 10.0					Indice pluviosidad: 173.3			
Retencion 250 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	149.8	116.8	93.3	93.2	246.7	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	197.8	
Var.H.	-48.0	-32.9	-23.5	-0.1	153.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-52.2	
E.Real	60.9	58.3	57.8	94.6	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	76.5	962.2
Deft.H	21.5	29.2	32.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	89.8
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	431.3	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1871.1
Escor.	53.7	26.9	13.4	6.7	3.4	217.3	236.0	229.3	345.2	417.0	214.8	107.4	1871.1
Ret.H.	203.5	143.7	106.8	99.9	250.1	467.3	486.0	479.3	595.2	667.0	464.8	305.2	
Cap.I.	100.2	133.2	156.7	156.8	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.2	602.3
Indice humedad: 177.9					Indice aridez: 8.5					Indice pluviosidad: 172.7			

Estacion: SANTA CRUZ QUIXAJA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 300 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	195.8	159.2	132.0	131.9	285.4	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	246.8	
Var.H.	-51.0	-36.6	-27.2	-0.1	153.5	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-53.2	
E.Real	63.9	62.0	61.5	94.6	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	77.5	973.6
Deft.H	18.5	25.5	29.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	78.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	420.0	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1859.7
Escor.	53.7	26.8	13.4	6.7	3.4	211.7	233.1	227.9	344.5	416.6	214.6	107.3	1859.7
Ret.H.	249.4	186.0	145.4	138.6	288.7	511.7	533.1	527.9	644.5	716.6	514.6	354.1	
Cap.I.	104.2	140.8	168.0	168.1	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.2	649.1
Indice humedad: 176.8					Indice aridez: 7.5				Indice pluviosidad: 172.3				
Retencion 350 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	242.8	203.3	173.1	173.0	326.5	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	296.1	
Var.H.	-53.3	-39.5	-30.1	-0.1	153.5	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-53.9	
E.Real	66.2	64.9	64.4	94.6	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	78.2	982.4
Deft.H	16.2	22.6	26.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	69.6
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	411.1	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1850.9
Escor.	53.6	26.8	13.4	6.7	3.4	207.2	230.9	226.8	344.0	416.4	214.5	107.2	1850.9
Ret.H.	296.4	230.1	186.5	179.7	329.9	557.2	580.9	576.8	694.0	766.4	564.5	403.3	
Cap.I.	107.2	146.7	176.9	177.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.9	685.3
Indice humedad: 175.9					Indice aridez: 6.6				Indice pluviosidad: 172.0				
Retencion 400 mm.													
P.Pot.	128.1	190.2	246.3	246.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	
A.Alm.	290.4	248.7	216.1	215.9	369.4	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	345.5	
Var.H.	-55.1	-41.8	-32.6	-0.2	153.5	30.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-54.5	
E.Real	68.0	67.2	66.9	94.7	95.3	89.2	91.9	90.7	83.7	81.0	82.1	78.8	989.5
Deft.H	14.4	20.3	23.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	62.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	404.0	254.6	222.6	461.2	488.7	12.6	0.0	1843.8
Escor.	53.6	26.8	13.4	6.7	3.3	203.7	229.2	225.9	343.5	416.1	214.4	107.2	1843.8
Ret.H.	344.0	275.5	229.5	222.6	372.8	603.7	629.2	625.9	743.5	816.1	614.4	452.7	
Cap.I.	109.6	151.3	183.9	184.1	30.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	714.0
Indice humedad: 175.3					Indice aridez: 5.9				Indice pluviosidad: 171.7				

BALANCE HIDRICO MEDIO MENSUAL

Estacion: LOS TARRALES — Años 1934 a 1970

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp.M.	22.4	22.7	23.2	23.6	23.6	23.5	23.6	23.5	22.5	23.0	22.7	22.5	23.1
Precp.	19.8	25.1	50.9	128.3	330.7	592.1	364.0	367.1	618.9	393.2	100.6	32.8	3023.5
Evapt.	80.9	86.2	94.6	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	81.5	1130.3
D.=P-E	-61.1	-61.1	-43.7	25.6	225.1	486.1	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	-48.7	1893.2

Retencion 25 mm.

P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	1.0	1.0	1.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	3.6	
Var.H.	-2.6	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.4	
E.Real	22.4	25.1	50.9	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	54.2	939.8
Deft.H	58.6	61.1	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3	190.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	1.7	225.1	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	2084.0
Escor.	46.0	23.0	11.5	6.6	115.9	301.0	279.2	271.8	401.3	351.9	183.9	92.0	2084.0
Ret.H.	47.0	24.0	12.5	31.6	140.9	326.0	304.2	296.8	426.3	376.9	208.9	95.5	
Cap.I.	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	93.4

Indice humedad: 184.4 Indice aridez: 16.9 Indice pluviosidad: 174.3

Retencion 50 mm.

P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	5.6	1.6	1.0	26.7	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	18.9	
Var.H.	-13.3	-3.9	-0.6	25.7	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-31.1	
E.Real	33.1	29.0	51.5	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	63.9	964.8
Deft.H	47.8	57.1	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6	165.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	201.8	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	2059.0
Escor.	45.9	23.0	11.5	5.7	103.8	295.0	276.2	270.3	400.5	351.5	183.8	91.9	2059.0
Ret.H.	51.5	24.6	12.5	32.4	153.8	345.0	326.2	320.3	450.5	401.5	233.8	110.8	
Cap.I.	44.4	48.4	49.0	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	196.2

Indice humedad: 182.2 Indice aridez: 14.6 Indice pluviosidad: 173.4

Estacion: LOS TARRALES

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion	75 mm.												
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	17.3	7.7	4.3	30.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	39.2	
Var.H.	-21.8	-9.7	-3.4	25.7	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-35.8	
E.Real	41.6	34.8	54.3	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	68.6	986.5
Deft.H	39.3	51.4	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	143.8
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	180.1	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	2037.3
Escor.	45.9	22.9	11.5	5.7	92.9	289.5	273.5	268.9	399.8	351.2	183.6	91.8	2037.3
Ret.H.	63.2	30.6	15.8	35.7	167.9	364.5	348.5	343.9	474.8	426.2	258.6	131.0	
Cap.I.	57.7	67.3	70.7	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.8	276.5

Indice humedad: 180.2 Indice aridez: 12.7 Indice pluviosidad: 172.6

Retencion	100 mm.												
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	33.4	18.1	11.7	37.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	61.5	
Var.H.	-28.1	-15.2	-6.4	25.7	62.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-38.5	
E.Real	47.9	40.3	57.3	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	71.3	1004.1
Deft.H	33.0	45.8	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	126.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	2019.7
Escor.	45.9	22.9	11.5	5.7	84.1	285.1	271.3	267.8	399.3	350.9	183.5	91.7	2019.7
Ret.H.	79.2	41.0	23.2	43.1	184.1	385.1	371.3	367.8	499.3	450.9	283.5	153.2	
Cap.I.	66.6	81.9	88.3	62.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.5	338.0

Indice humedad: 178.7 Indice aridez: 11.2 Indice pluviosidad: 172.0

Retencion	125 mm.												
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	51.9	31.9	22.5	48.1	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	84.7	
Var.H.	-32.7	-20.1	-9.4	25.7	76.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-40.3	
E.Real	52.5	45.2	60.3	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	73.1	1018.3
Deft.H	28.4	41.0	34.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	112.0
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	148.3	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	2005.5
Escor.	45.8	22.9	11.5	5.7	77.0	281.6	269.5	267.0	398.8	350.7	183.3	91.7	2005.5
Ret.H.	97.8	54.8	33.9	53.9	202.0	406.6	394.5	392.0	523.8	475.7	308.3	176.3	
Cap.I.	73.1	93.1	102.5	76.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	385.9

Indice humedad: 177.4 Indice aridez: 9.9 Indice pluviosidad: 171.5

Estacion: LOS TARRALES

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 150 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	72.1	48.0	35.9	61.6	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	108.4	
Var.H.	-36.3	-24.1	-12.1	25.7	88.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-41.6	
E.Real	56.1	49.2	63.0	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	74.4	1029.9
Deft.H	24.8	36.9	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	100.4
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	136.7	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1993.9
Escor.	45.8	22.9	11.5	5.7	71.2	278.7	268.1	266.2	398.5	350.5	183.3	91.6	1993.9
Ret.H.	117.9	70.9	47.3	67.3	221.2	428.7	418.1	416.2	548.5	500.5	333.3	200.1	
Cap.I.	77.9	102.0	114.1	88.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.6	424.0

Indice humedad: 176.4 Indice aridez: 8.9 Indice pluviosidad: 171.1

Retencion 200 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	115.5	85.1	68.4	94.1	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	156.8	
Var.H.	-41.3	-30.4	-16.7	25.7	105.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-43.2	
E.Real	61.1	55.5	67.6	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	76.0	1047.4
Deft.H	19.8	30.7	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	82.9
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	119.2	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1976.4
Escor.	45.8	22.9	11.4	5.7	62.5	274.3	265.9	265.1	397.9	350.2	183.1	91.6	1976.4
Ret.H.	161.3	108.0	79.9	99.8	262.5	474.3	465.9	465.1	597.9	550.2	383.1	248.3	
Cap.I.	84.5	114.9	131.6	105.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2	480.1

Indice humedad: 174.9 Indice aridez: 7.3 Indice pluviosidad: 170.5

Retencion 250 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	161.1	126.2	106.0	131.7	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	205.8	
Var.H.	-44.6	-34.9	-20.2	25.7	118.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.2	
E.Real	64.4	60.0	71.1	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	77.0	1059.8
Deft.H	16.5	26.1	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	70.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	106.8	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1964.0
Escor.	45.8	22.9	11.4	5.7	56.3	271.2	264.3	264.4	397.5	350.0	183.0	91.5	1964.0
Ret.H.	206.9	149.1	117.4	137.4	306.3	521.2	514.3	514.4	647.5	600.0	433.0	297.3	
Cap.I.	88.9	123.8	144.0	118.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.2	519.2

Indice humedad: 173.8 Indice aridez: 6.2 Indice pluviosidad: 170.0

Estacion: LOS TARRALES

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 300 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	208.0	169.7	146.7	172.4	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	255.1	
Var.H.	-47.0	-38.3	-23.0	25.7	127.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-44.9	
E.Real	66.8	63.4	73.9	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	77.7	1069.0
Deft.H	14.1	22.7	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	61.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	97.5	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1954.8
Escor.	45.7	22.9	11.4	5.7	51.6	268.9	263.2	263.8	397.2	349.9	182.9	91.5	1954.8
Ret.H.	253.8	192.6	158.2	178.1	351.6	568.9	563.2	563.8	697.2	649.9	482.9	346.5	
Cap.I.	92.0	130.3	153.3	127.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.9	548.0

Indice humedad: 172.9 Indice aridez: 5.4 Indice pluviosidad: 169.7

Retencion 350 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	255.7	214.8	189.6	215.3	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	304.5	
Var.H.	-48.8	-40.9	-25.2	25.7	134.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-45.5	
E.Real	68.6	66.0	76.1	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	78.3	1076.2
Deft.H	12.3	20.1	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	54.1
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	90.4	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1947.6
Escor.	45.7	22.9	11.4	5.7	48.1	267.1	262.3	263.3	397.0	349.8	182.9	91.4	1947.6
Ret.H.	301.5	237.7	201.0	221.0	398.1	617.1	612.3	613.3	747.0	699.8	532.9	396.0	
Cap.I.	94.3	135.2	160.4	134.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.5	570.0

Indice humedad: 172.3 Indice aridez: 4.8 Indice pluviosidad: 169.4

Retencion 400 mm.													
P.Pot.	109.8	170.9	214.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	
A.Alm.	304.0	260.9	234.0	259.6	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	354.2	
Var.H.	-50.2	-43.0	-27.0	25.7	140.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-45.8	
E.Real	70.0	68.1	77.9	102.7	105.6	106.0	106.6	102.7	88.2	90.7	84.6	78.6	1081.8
Deft.H	10.9	18.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	48.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	84.7	486.2	257.4	264.4	530.7	302.5	16.0	0.0	1942.0
Escor.	45.7	22.9	11.4	5.7	45.2	265.7	261.6	263.0	396.8	349.7	182.8	91.4	1942.0
Ret.H.	349.7	283.8	245.4	265.3	445.2	665.7	661.6	663.0	796.8	749.7	582.8	445.6	
Cap.I.	96.0	139.1	166.0	140.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	587.3

Indice humedad: 171.8 Indice aridez: 4.3 Indice pluviosidad: 169.2

BALANCE HIDRICO MEDIO MENSUAL

Estacion: LUISIANA — Años 1934 a 1970

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp.M.	22.8	23.9	24.6	24.9	24.8	24.4	23.7	24.8	24.6	24.2	24.1	23.8	24.2
Precp.	11.3	21.7	58.1	160.4	431.1	630.3	410.7	472.8	632.7	475.7	112.2	55.6	3472.6
Evapt.	81.3	96.3	108.6	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	92.1	1258.5
D.=P-E	-70.0	-74.6	-50.5	43.6	312.4	515.6	306.3	356.0	522.4	374.2	15.2	-36.5	2214.1

Retencion 25 mm.

P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	1.0	1.0	1.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	5.8	
Var.H.	-4.8	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-19.2	
E.Real	16.1	21.7	58.1	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	74.8	1050.8
Deft.H	65.2	74.6	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	207.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	19.7	312.5	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2422.1
Escor.	52.2	26.1	13.1	16.4	164.4	340.0	323.2	339.6	431.0	402.6	208.9	104.5	2422.1
Ret.H.	53.2	27.1	14.1	41.4	189.4	365.0	348.2	364.6	456.0	427.6	233.9	110.3	
Cap.I.	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.2	91.2

Indice humedad: 192.5 Indice aridez: 16.5 Indice pluviosidad: 182.6

Retencion 50 mm.

P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	5.9	1.3	1.0	44.7	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	24.1	
Var.H.	-18.1	-4.6	-0.3	43.7	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-25.9	
E.Real	29.4	26.3	58.4	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	81.5	1075.8
Deft.H	51.9	70.0	50.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	182.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	307.2	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2397.1
Escor.	52.2	26.1	13.1	6.5	156.8	336.3	321.3	338.7	430.6	402.4	208.8	104.4	2397.1
Ret.H.	58.1	27.4	14.1	51.2	206.8	386.3	371.3	388.7	480.6	452.4	258.8	128.5	
Cap.I.	44.1	48.7	49.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.9	173.0

Indice humedad: 190.5 Indice aridez: 14.5 Indice pluviosidad: 181.8

Estacion: LUISIANA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 75 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	18.1	6.7	3.4	47.1	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	46.1	
Var.H.	-28.0	-11.4	-3.3	43.7	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-28.9	
E.Real	39.3	33.1	61.4	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	84.5	1098.4
Deft.H	42.1	63.2	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	160.1
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	284.6	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2374.5
Escor.	52.2	26.1	13.0	6.5	145.5	330.6	318.5	337.3	429.9	402.0	208.6	104.3	2374.5
Ret.H.	70.3	32.8	16.5	53.6	220.5	405.6	393.5	412.3	504.9	477.0	283.6	150.4	
Cap.I.	56.9	68.3	71.6	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	253.6

Indice humedad: 188.7 Indice aridez: 12.7 Indice pluviosidad: 181.0

Retencion 100 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	34.5	16.3	9.9	53.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	69.4	
Var.H.	-34.9	-18.1	-6.5	43.7	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.6	
E.Real	46.2	39.8	64.6	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	86.2	1116.9
Deft.H	35.1	56.5	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	141.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	266.0	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2355.9
Escor.	52.1	26.1	13.0	6.5	136.3	326.0	316.1	336.1	429.3	401.7	208.5	104.2	2355.9
Ret.H.	86.6	42.4	22.9	60.1	236.3	426.0	416.1	436.1	529.3	501.7	308.5	173.6	
Cap.I.	65.5	83.7	90.1	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.6	316.4

Indice humedad: 187.2 Indice aridez: 11.2 Indice pluviosidad: 180.5

Retencion 125 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	53.3	29.3	19.6	63.3	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	93.3	
Var.H.	-40.0	-23.9	-9.8	43.7	61.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-31.7	
E.Real	51.3	45.6	67.9	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	87.3	1132.2
Deft.H	30.0	50.6	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	126.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	250.7	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2340.7
Escor.	52.1	26.0	13.0	6.5	128.6	322.2	314.2	335.1	428.8	401.5	208.4	104.2	2340.7
Ret.H.	105.4	55.4	32.6	69.8	253.6	447.2	439.2	460.1	553.8	526.5	333.4	197.5	
Cap.I.	71.7	95.7	105.4	61.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.7	366.2

Indice humedad: 186.0 Indice aridez: 10.0 Indice pluviosidad: 180.0

Estacion: LUISIANA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 150 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	73.7	44.8	32.0	75.7	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	117.6	
Var.H.	-43.9	-28.9	-12.8	43.7	74.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-32.4	
E.Real	55.2	50.6	70.9	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	88.0	1144.8
Deft.H	26.2	45.7	37.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	113.7
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	238.2	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2328.1
Escor.	52.1	26.0	13.0	6.5	122.3	319.0	312.7	334.4	428.4	401.3	208.3	104.1	2328.1
Ret.H.	125.8	70.9	45.0	82.2	272.3	469.0	462.7	484.4	578.4	551.3	358.3	221.7	
Cap.I.	76.3	105.2	118.0	74.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.4	406.2

Indice humedad: 185.0 Indice aridez: 9.0 Indice pluviosidad: 179.6

Retencion 200 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	117.4	80.9	62.8	106.5	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	166.6	
Var.H.	-49.2	-36.5	-18.1	43.7	93.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.4	
E.Real	60.5	58.2	76.2	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	89.0	1164.0
Deft.H	20.8	38.0	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	94.5
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	218.9	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2308.9
Escor.	52.0	26.0	13.0	6.5	112.7	314.2	310.3	333.2	427.8	401.0	208.1	104.1	2308.9
Ret.H.	169.4	106.9	75.8	113.0	312.7	514.2	510.3	533.2	627.8	601.0	408.1	270.7	
Cap.I.	82.6	119.1	137.2	93.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	465.9

Indice humedad: 183.5 Indice aridez: 7.5 Indice pluviosidad: 179.0

Retencion 250 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	163.2	121.1	99.0	142.6	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	216.0	
Var.H.	-52.8	-42.1	-22.2	43.7	107.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-34.0	
E.Real	64.1	63.8	80.3	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	89.6	1177.8
Deft.H	17.3	32.5	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	80.6
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	205.1	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2295.0
Escor.	52.0	26.0	13.0	6.5	105.8	310.7	308.5	332.3	427.4	400.8	208.0	104.0	2295.0
Ret.H.	215.2	147.1	112.0	149.1	355.8	560.7	558.5	582.3	677.4	650.8	458.0	320.0	
Cap.I.	86.8	128.9	151.0	107.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	508.0

Indice humedad: 182.4 Indice aridez: 6.4 Indice pluviosidad: 178.5

Estacion: LUISIANA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Retencion 300 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	210.3	164.0	138.6	182.3	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	265.6	
Var.H.	-55.3	-46.3	-25.4	43.7	117.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-34.4	
E.Real	66.6	68.0	83.5	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	90.0	1188.2
Deft.H	14.7	28.3	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	70.3
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	194.7	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2284.7
Escor.	52.0	26.0	13.0	6.5	100.6	308.1	307.2	331.6	427.1	400.6	207.9	104.0	2284.7
Ret.H.	262.3	190.0	151.6	188.8	400.6	608.1	607.2	631.6	727.1	700.6	507.9	369.6	
Cap.I.	89.7	136.0	161.4	117.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.4	539.2

Indice humedad: 181.5 Indice aridez: 5.6 Indice pluviosidad: 178.2

Retencion 350 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	258.1	208.6	180.5	224.2	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	315.3	
Var.H.	-57.2	-49.5	-28.1	43.7	125.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-34.7	
E.Real	68.5	71.2	86.2	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	90.3	1196.3
Deft.H	12.9	25.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	62.2
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	186.7	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2276.6
Escor.	52.0	26.0	13.0	6.5	96.6	306.1	306.2	331.1	426.8	400.5	207.9	103.9	2276.6
Ret.H.	310.1	234.6	193.5	230.7	446.6	656.1	656.2	681.1	776.8	750.5	557.9	419.2	
Cap.I.	91.9	141.4	169.5	125.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.7	563.2

Indice humedad: 180.9 Indice aridez: 4.9 Indice pluviosidad: 177.9

Retencion 400 mm.													
P.Pot.	106.6	181.1	231.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	
A.Alm.	306.5	254.3	224.1	267.8	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	365.1	
Var.H.	-58.6	-52.1	-30.2	43.7	132.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-34.9	
E.Real	69.9	73.8	88.3	116.8	118.7	114.7	104.4	116.8	110.3	101.5	97.0	90.5	1202.7
Deft.H	11.4	22.5	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	55.8
Exc.H	0.0	0.0	0.0	0.0	180.3	515.7	306.3	356.1	522.5	374.2	15.2	0.0	2270.2
Escor.	52.0	26.0	13.0	6.5	93.4	304.5	305.4	330.7	426.6	400.4	207.8	103.9	2270.2
Ret.H.	358.4	280.3	237.1	274.3	493.4	704.5	705.4	730.7	826.6	800.4	607.8	469.0	
Cap.I.	93.5	145.7	175.9	132.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9	582.2

Indice humedad: 180.4 Indice aridez: 4.4 Indice pluviosidad: 177.7

CONSIDERACIONES

1) De acuerdo al estudio efectuado para determinar la precipitación media en la cuenca del río "Madre Vieja" y a través de los distintos métodos, se puede afirmar que la varianza de los resultados obtenidos se debe, - en parte, a la exclusión de algunas estaciones que por presentar dificultad en la técnica del método fue necesario prescindirlas.

2) La red de estaciones meteorológicas en la Cuenca del río Madre Vieja, - en su status actual no permite la conveniente aplicación del método de Thiessen para el cálculo de precipitación, ya que se presenta dificultad en determinar el área que se incluye en los polígonos para el caso de estaciones muy cercanas.

3) Según el análisis de escorrentía (caudales) hasta la estación Palmira y atendiendo la presencia de zonas altas (norte de la cuenca) y zonas bajas (sur de la misma), se asume que el arrastre de sólidos, por parte - del flujo pluvial, es considerable favoreciendo el enriquecimiento del horizonte A de los suelos bajos (zona de Suchitepéquez) a través de deposiciones y al mismo tiempo la incesante erosión a nivel de cárcava de la zona alta (Chimaltenango y Sololá).

4) Dentro del análisis hidrológico general vale hacer mención a la imposibilidad de haber desarrollado los respectivos hidrogramas correspondientes a cada una de las estaciones localizadas dentro de la cuenca, por - causa que las estaciones en mención, no poseen pluviógrafos (aparatos - indispensables para efectuar el análisis de crecidas, que a la vez son determinantes en la confección de los hidrogramas, considerando a éstos últimos como representaciones gráficas que siguen un orden cronológico de la variación del caudal.

5) Para efectuar cualquier tipo de estudio, específicamente el hidrológico, es necesario implementar más aparatos registradores y cuantificadores de los diversos meteoros a las estaciones existentes en la región, así como aumentar en la medida de lo posible, las estaciones meteorológicas e hidrológicas en el contexto general de la cuenca; tal es el caso de la cuenca del río Madre Vieja.

6) Para satisfacer las exigencias que implica un estudio integral de la cuenca del río Madre Vieja y por medio del cual se obtendrá una completa y útil información en todo sentido de esa región, se recomienda llevar a cabo los estudios: Morfométrico y Socioeconómico de la Cuenca.

El presente trabajo fue desarrollado para cumplir con los objetivos siguientes:

A. Objetivos generales:

A.1 Coadyuvar al enriquecimiento de la información que involucra al recurso hídrico del país.

A.2 Aportar a través del presente trabajo, una de las fases que integrará el estudio completo de la Cuenca del río Madre Vieja. Para que a partir de ello y de acuerdo al interés que identifique a esa región, exista una orientación valedera que permita la ejecución de trabajos así como la inversión de recursos al mínimo riesgo significativo.

B. Objetivos específicos:

B.1 Análisis de los parámetros meteorológicos que definen el comportamiento hidrológico de la cuenca.

B.2 Estudio estocástico de la hidrología de la cuenca para cuantificar sus características climatológicas.

B.3 Cuantificación de los valores característicos de la fase de escorrentía en la parte superior de la cuenca del río "Madre Vieja.

BIBLIOGRAFIA

1.- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA. INSTITUTO DE METEOROLOGIA. DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTOS. Manual de instrumentos para el observador meteorológico. Cuba, 1976. 193.

2.- GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres por ciclones tropicales en la República de Guatemala. Guatemala, 1977. 256 p.

3.- _____. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. DEPARTAMENTO DE AGUA SUPERFICIAL. Estudio integral de los recursos hidráulicos del Departamento de Escuintla. Guatemala, 1974. 163 p.

4.- _____. INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA y ADECUACION DE TIERRAS. Desarrollo de un índice para estudios de sequías. Guatemala, s.f. 24 p.

5.- LINSLEY KOHLER, P. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Bogotá, Mc Graw - Hill, s.f. 386 p.

6.- López Choc, F. Estudio hidrológico básico de la cuenca del río María Linda. Tesis (Ing. Civil) Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1962. 64 p.

7.- MANUAL DE INSTRUCCIONES DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS. Tegucigalpa, Honduras, Publicación No. 185. 1977. 131 p.

8.- POLANCO ESTRADA G. Balance preliminar de aguas en la ciudad de Guatemala. Tesis (Ing. Civil) Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1973. 152 p.

9.- REMENIERAS, G. Tratado de hidrología aplicada. 2 ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1974. 515 p.

10.- RETALLACK, B.J. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clave IV. Trad. por: Jacobo López de Rego. s.l. Organización Meteorológica Mundial No. 266. V. 2 357 p.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA
Ciudad Universitaria, Zona 12.
Apartado Postal No. 1545
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....
Asunto .....
.....

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

"IMPRIMASE"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DECANO

DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.
D E C A N O