

O.
T(238)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"ESTIMACION DEL DEFICIT DE AGUA EN LA
CUENCA DEL RIO POLOCHIC"



Guatemala, noviembre de 1975

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

RECTOR DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Dr. Roberto Valdeavellano P.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano:	Ing. Agr. Carlos Estrada C.
Vocal Primero:	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Vocal Segundo:	Ing. Agr. Ronaldo Prado R.
Vocal Tercero:	Ing. Agr. Carlos Aldana
Vocal Cuarto:	Br. Julio Romeo Alvarez M.
Vocal Quinto:	P. A. Victor Manuel de León.
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres Grajeda.

TRIBUNAL QUE EFECTUO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO.

Decano:	Ing. Agr. Carlos Estrada C.
Examinador:	Ing. Agr. Salvador Castillo
Examinador:	Ing. Agr. Sergio Morales
Examinador:	Ing. Agr. Astolfo Fumagalli
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres G.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De acuerdo a las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presentar a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado "ESTIMACION DEL DEFICIT DE AGUA EN LA CUENCA DEL RIO POLOCHIC".

Con el propósito de llenar con él, el último requisito para optar al título de INGENIERO AGRONOMO,

Atentamente.


(f) Carlos Wohlers Vega

Guatemala 3 de noviembre de 1975

Señor Ing.
Carlos F. Estrada C.
Decano de la Facultad de Agronomía
Presente.

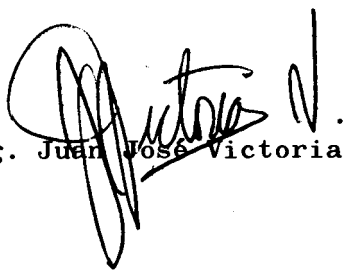
Señor Decano:

En cumplimiento de la designación que se sirviera hacer para asesorar al P.A Carlos Arturo Woblers Vega en la elaboración de su trabajo de tesis titulado ESTIMACION DEL DEFICIT DE AGUA EN LA CUENCA DEL RIO POLOCHIC", tengo el agrado de comunicar a usted que he cumplido con ese mandato.

Considerando que dicho trabajo llena a cabalidad los requisitos para ser aceptado como tesis de grado.

Sin otro particular me suscribo de usted

Atentamente



Ing. Juan José Victoria

AGRADECIMIENTO

En esta forma quiero patentizar mi agradecimiento a mi amigo y asesor Ing. Juan José Victoria quien de una manera desinteresada colaboró en la realización del presente trabajo.

Va par él, mi agradecimiento distinguido.

ACTO QUE DEDICO

A mi Abuelita:

Adelina Vda. de Vega

A mis Padres:

Carlos Wohlers Rivas y América
América Vega de Wohlers.

A mi Esposa:

Thelma Liliam Soto

A mi Hijo:

Carlos A. Wohlers Soto

A mis Hermanos:

Erick Roberto
Lilian Janet
María Elena de Sierra.

TESIS QUE DEDICO

A la Facultad de Agronomía

Al Instituto Técnico de Agricultura.

A los Agricultores del Valle del Polochic.

CONTENIDO

	Página
Capítulo I Introducción	1
Capítulo II Revisión de Literatura	3
Capítulo III Antecedentes	17
Capítulo IV Principios Básicos	41
Capítulo V Metodología Aplicada y Resultados	51
Capítulo VI Conclusiones y Recomen- daciones	83
Capítulo VII Bibliografía	89

CAPITULO I

INTRODUCCION

La cuenca del río Polochic se encuentra ubicada en la parte Norte del país, teniendo como divisoria de aguas a la Sierra de las Minas en la parte sur y en la parte norte a la región Karstica del municipio de Senahú.

Posee la cuenca una condición topográfica de relieve pronunciado en la parte original, y a medida que aumenta el cauce del río se van formando tierra de aluvión ricas en agricultura y ganadería, siendo una reserva potencial para el país.

Por lo tanto siendo esta zona rica en recursos naturales y por no haber sido mayormente estudiada se pensó en la determinación del comportamiento del ciclo hidrológico.

El objetivo primordial del presente estudio es pues determinar el comportamiento energético del ciclo hidrológico y determinar con los datos que se tienen las necesidades existentes en dicha región para aumentar el uso potencial del recurso tierra en su desarrollo

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Ciclo Hidrológico:

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, de ahí, que es un buen punto de partida para su estudio.

El ciclo hidrológico se hace visible empezando con la evaporación del agua de los océanos. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. La precipitación que cae sobre el terreno se dispersa de varias maneras: La mayor parte es retenida temporalmente en el suelo, en las proximidades al lugar de caída y finalmente, devuelta a la atmósfera por evaporación y por transpiración de las plantas. Parte del agua se abre camino por la superficie hasta los cauces de los arroyos y ríos, mientras que el resto penetra más en el terreno para formar las reservas de agua subterráneas como las superficiales descienden hacia las costas más bajas y eventualmente pueden verter en el océano. No obstante, cantidades importantes de aguas superficiales y subterráneas retornan a la atmósfera por evaporación y transpiración antes de llegar a los océanos. (7).

Uno de los rasgos más importantes del ciclo hidrológico consiste en la ganancia neta de flujo en sentido meridiano de una latitud a la otra. La precipitación media excede a la evaporación dentro de una estrecha zona limitada entre los 5 grados y 10 grados N. Para compensar esta pérdida, la atmósfera transporta vapor acuoso

desde los trópicos hacia el Ecuador, principalmente por medio de los vientos alisios, los cuales tienen una componente dirigida hacia el Ecuador precisamente en sus capas inferiores que son las más ricas en humedad. La precipitación también excede a la evaporación en las zonas templadas de ambos hemisferios, por encima de los 40 ó 45 grados de latitud. En las latitudes medias y altas, la atmósfera transporta vapor acuoso en dirección a los polos. Aquí el intercambio tiene lugar por medio de ciclos y anticiclones o sea de grandes torbellinos de aire de eje vertical. Para la tierra tomada en conjunto la evaporación total media debe compensar a la precipitación; por consiguiente, en los trópicos la evaporación debe exceder de modo considerable a la precipitación. Este intercambio se relaciona con las características de la circulación general atmosférica.

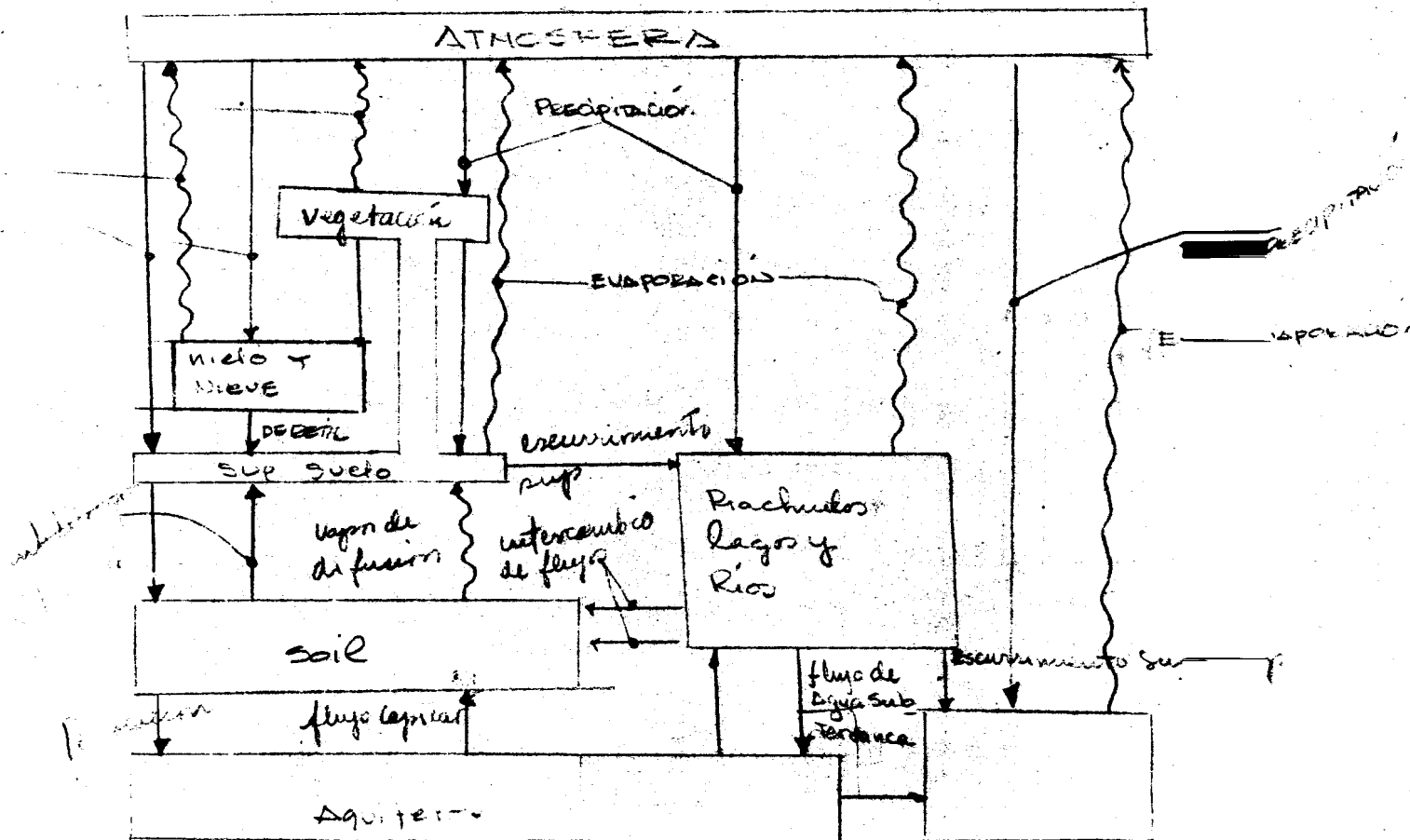
Parece verosímil que un ciclo semejante se observaría aún cuando la tierra estuviese cubierta por el océano.

Se presentan nuevas complicaciones por la existencia de las superficies sólidas. Sobre los continentes toda el agua procede sólo de la precipitación por lo tanto la evapotranspiración (suma de la evaporación y de la transpiración) no puede ser mayor que la misma precipitación.

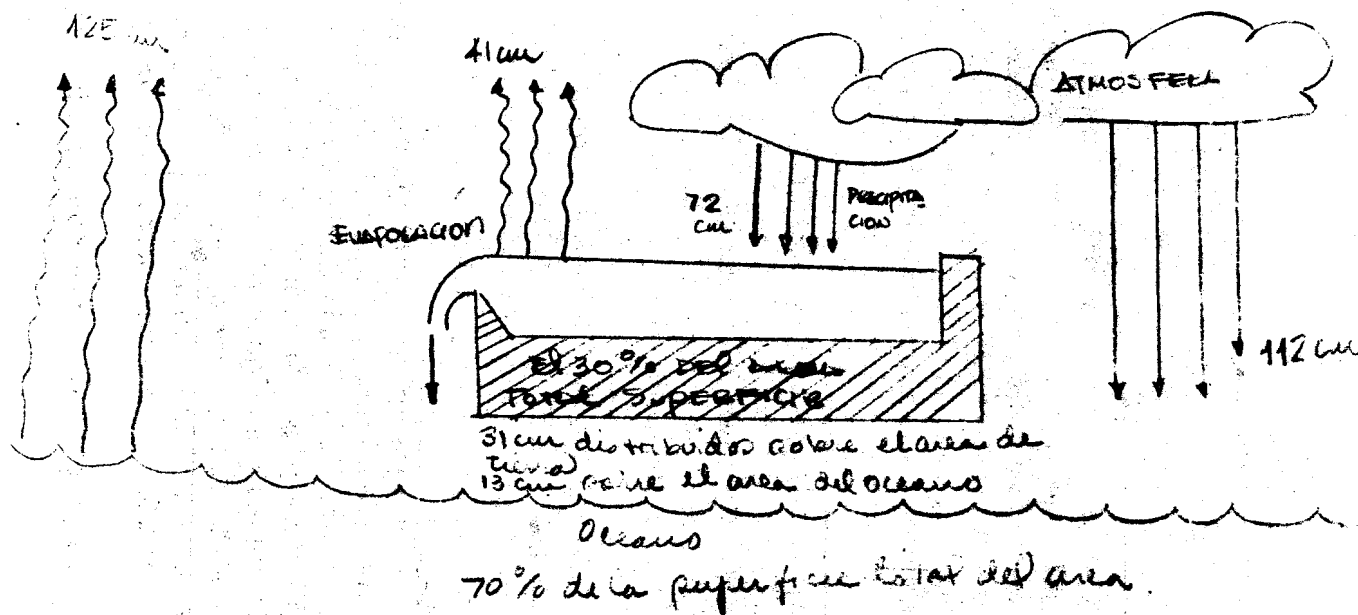
Su fase atmosférica se relaciona estrechamente con el ciclo de las masas de aire; en las latitudes medias del hemisferio norte la precipitación, procede, sobre todo, del aire marítimo, que se desplaza hacia el norte y el este por encima de los continentes. Según las estadísticas, las precipitaciones de dichas masas, de aire ex

ceden con mucho a la evapotranspiración dentro de ellas recíprocamente, las masas de aire frías y secas tienden a moverse hacia el sur y el este desde los continentes hacia los océanos. Dentro de estas masas de aire continentales la evapotranspiración sobrepasa mucho a la precipitación sobre todo en invierno estos hechos unidos a la extraordinaria movilidad de la atmósfera y del vapor acuoso incorporado a la misma hacen suponer que tan sólo una pequeña fracción de agua evaporada o transpirada a través de una superficie continental vuelve a precipitarse sobre el mismo continente. (2)

PRESENTACION DEL CICLO HIDROLOGICO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA
INGENIERIA (gráfica número 1) (3)



DISPOSICION DE LA PRECIPITACION GLOBAL ANUAL (gráfica No 27 (3))



2.2 Precipitación

Aún cuando el vapor de agua en la atmósfera es un factor necesario para su formación no es el único.

Para que tenga lugar la precipitación se requiere al gún mecanismo que enfrie el aire lo suficiente para origi nar la condensación de los núcleos pero, generalmente, éstos están presentes en la atmósfera en cantidades ade cuadas. El enfriamiento a gran escala, preciso para cantidades de precipitación apreciables se logra por as censión de masas de aire en la atmósfera.

Clasificación de la Precipitación:

La precipitación pluvial es un fenómeno complejo, sin embargo según su origen ha llegado a clasificarse en tres grupos importantes:

a- Precipitación Ciclónica: Resulta de la elevación del aire convergente en un área de baja presión o ciclón. La mayoría de las borrascas en regiones llanas son de es te tipo.

b- Precipitación por Convección: Está causada por la elevación natural del aire más ligero y cálido, rodeado de zonas de aire más denso y frío. La diferencia de temperatura puede provenir del desigual calentamiento de la superficie, desigual enfriamiento de la parte superior de la capa de aire o elevación mecánica cuando el aire se ve forzado a pasar sobre una masa de aire más densa y fría o sobre una barrera de montañas.

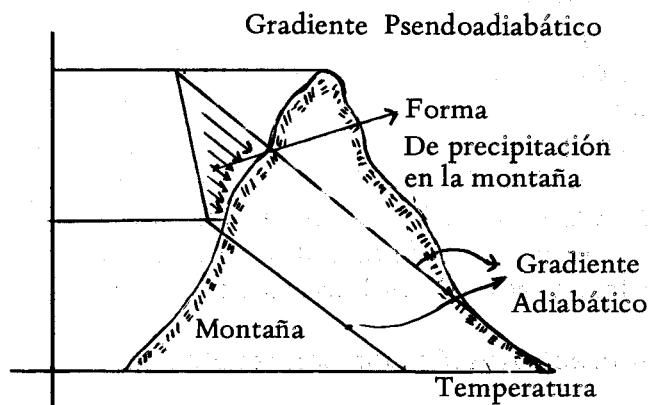
La precipitación por convección es esporádica y su

intensidad puede oscilar desde ligeros chaparrones hasta turbiones.

c- Precipitación Orográfica: Proviene de la elevación mecánica sobre barreras montañosas. En terreno abrupto de influencia orográfica es tan marcada que las características de la precipitación media anual.

Por otra parte en la naturaleza los efectos de estos varios tipos de enfriamiento están a menudo recíprocamente relacionados y la precipitación resultante no puede identificarse con ninguno de los tipos. (7). Sin embargo, para el presente estudio se le da un mayor peso a que la mayoría de lluvias existentes sean del tipo orográfico. En general, el fenómeno consiste en el enfriamiento, primero siguiendo el gradiente adiabático hasta la saturación. Posteriormente, si la ascensión persiste, el enfriamiento es según el gradiente pseudoadiabático, con la consecuente pérdida de humedad. Las masas de aire, al iniciar el descenso al otro lado de la barrera montañosa, lo hacen siguiendo el ciclo adiabático llegando las masas de aire más cálidas y secas, como se muestra en la gráfica No. 3

Gráfica No. 3



Ejemplo de este fenómeno en Guatemala se presenta en la Sierra de las Minas. El valle del río Polochic recibe una buena parte de la humedad de las masas de aire provenientes de N. E., presentándose un clima más-seco y cálido en el valle del río Motagua.

2.3 Evaporación total o Evapotranspiración o Uso Consuntivo:

Al estudiar el balance hidrológico de una área, sólo interesa, por regla general, la evaporación total (evapotranspiración o uso consuntivo), es decir el cambio de estado líquido al estado gaseoso del agua que se encuentra en el suelo, nieve, hielo, vegetación y otros superficies, más la transpiración.

Evaporación:

Aunque existe un intercambio continuo de moléculas de agua a la atmósfera y viceversa la definición se refiere exclusivamente a la cantidad de vapor que pasa a la atmósfera.

Factores Meteorológicos que rigen el proceso de Evaporación:

- 1- Radiación solar: Es sin duda el factor más importante y varía según: latitud, estación del año, hora del día, estado del cielo.
- 2- Temperatura del aire
- 3- Presión del vapor

4- Velocidad del viento

5- Presión atmosférica

Transpiración:

Sólo diminutas porciones del agua absorbida por las raíces de las plantas quedan en los tejidos de las mismas, virtualmente toda se devuelve a la atmósfera en forma de vapor por el proceso de transpiración (7). Su importancia estriba en que es el mecanismo principal de retorno a la atmósfera de la precipitación que cae sobre el terreno.

Factores Meteorológicos que afectan la transpiración: Estos factores son los mismos que afectan a la evaporación pero con cierta modalidad. Queda aumentada la importancia de la radiación solar puesto que la velocidad del movimiento de agua dentro de la planta depende la luz solar tanto la transpiración como el crecimiento de la planta están estrechamente relacionados con la radiación recibida. Así es que mientras que del 75 al 90% de la evaporación diaria del suelo ocurre entre la salida y puesta del sol el 95% de la transpiración diaria tiene lugar durante las horas luz del día (7).

Evapotranspiración Potencial:

Se define como la evapotranspiración que tendría lugar si hubiera siempre un suministro adecuado de humedad (7).

Existen numerosos métodos para estimar la evapotranspiración potencial. Estos métodos pueden ser di-

rectos e indirectos.

- 1- Métodos Directos. Son aquellos en los cuales los resultados se obtienen en forma directa, por medio de aparatos o bien los factores que rigen la variable a determinar, son medibles.

Entre los métodos directos tenemos:

- a- Método Lisimétrico
- b- Método de Integración
- c- Método Gravimétrico en parcelas experimentales.
- d- Método de entrada y salida de agua
- e- Método Micrometeorológico.
 - e. 1 Método Aerodinámico
 - e. 2 Método del Balance de energía
 - e. 3 Método Combinado.

- 2- Métodos Indirectos: Son aquellos métodos en los cuales se han desarrollado varias técnicas empíricas para su cálculo, partiendo de los datos climatológicos y de latitud (duración de la insolación - posible) disponibles.

Entre los métodos indirectos tenemos:

- a- Método de Penman
- b- Método de Thornthwaite

c- Método de Blaney-Marin

d- Método de Blaney-Cridle

e- Método de Turc

f- Método de Jensen y Haise

g- Método de Hargraves

h- Método de Bouchet

En este estudio se investiga fundamentalmente:

d- Método del Balance Hídrico: Para determinar la e vapotranspiración media de una cuenca; suponiendo que podamos determinar la entrada de agua y por otra parte los datos de afluencia de salida, excepto el valor de la evapotranspiración. Es factible determinar esta última por medio del principio de conservación de masa en la cuenca.

La precisión del cálculo por balance hídrico descansa entre otros factores, en los intervalos de tiempo considerados. Por regla general la evapotranspiración anual media puede calcularse con precisión por diferencia entre los promedios de precipitación de períodos largos y caudales puesto que el cambio en el almacenamiento durante un largo período de años carece de importancia (7).

Es posible que estos cálculos pueden resultar defectuosos, teniéndose el error en los datos de precipitación o bien en los registros de caudales o bien puede de

berse a corrientes subterráneas afluyentes o efluyentes de la cuenca. El método del balance hídrico puede aplicarse también a períodos cortos de tiempo.

e- Método de Turc: Este método determina el déficit o la evapotranspiración en una forma indirecta, y es especialmente considerado para:

- 1- El grado de aplicabilidad de esa fórmula
- 2- Comparar las estimaciones de la misma con relaciones obtenidas en base a los datos recabados.

Dicha fórmula fue desarrollada haciendo un análisis exhaustivo del balance hídrico, llegándose a determinar que:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)^2}}$$

Donde:

D = Déficit anual en milímetros o evapotranspiración

P = Precipitación media anual en milímetros

L = Coeficiente que depende de la temperatura media anual T_m en grados centígrados

$$L = 300 + 25 T_m + 0.05 T_m^3$$

CAPITULO III

ANTECEDENTES

Con el objetivo de conocer y analizar los resultados de otros trabajos realizados en Guatemala, se hizo necesario la revisión bibliográfica existente. A continuación se presenta un enlistado de dichos trabajos.

3.1 Búcaro Gustavo hizo estudios de balance Hídrico en base a datos climáticos de los Distritos de Riego: San Jerónimo, Asunción Mita, Laguna del Hoyo, Catarina y Fragua. (como tesis, requisito previo a optar el título de Ing. Agrónomo.

El método usado por él en la determinación del Déficit de agua fue el publicado en la "Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and water Balance", de Thornthwaite y Mather. Para esto fue necesario calcular la evapotranspiración potencial de cada uno de los Distritos por los métodos indirectos de Thornthwaite y Blaney-cridle, comparándolo con la evaporación registrada en tanque evaporímetro tipo A y seleccionando, de acuerdo a esta comparación, el más ajustado en el Distrito estudiado. Con datos de Precipitación Mensual se procedió a elaborar el programa citado para el cálculo electrónico del Balance Hídrico.

Búcaro en sus resultados y conclusiones agrupa 3 tipos de Balance Hídrico que son:

1- Balance deficitario: La Fragua

- 2- Balance con períodos definidos de excesos y déficit San Jerónimo, Asunción Mita, La Ceibita.
- 3- Balance con un período prolongado de excesos: Catarina.

Resumiendo después en sus recomendaciones le da un gran peso al Balance Hídrico al decir textualmente en su recomendación número 4.

"Se recomienda a los Técnicos que trabajen en Distritos de Riego utilizar los datos que proporciona el Balance Hídrico y para fines de trabajo y operación inmediatos, practicar el Balance Hídrico diario".

El Balance Hídrico diario consiste en la utilización de datos meteorológicos que sus autores denominan "Balance Versatil de Humedad del suelo". (Bair y Robertson) y puede utilizarse en cualquier cultivo, tipo de suelo y condiciones meteorológicas. El sistema utiliza la siguiente fórmula.

$$ER_i = \sum_{j=1}^n k_j \frac{S'_j (i-1)}{S_j} Z_j \quad EP$$

Donde:

ER_i = Evapotranspiración real para el día i para finalizar en la mañana del día $i + 1$

k_j = Coeficiente que tiene en cuenta las características de las plantas y el suelo en cada una de las zonas de 1 a j . $S'_j (i-1)$ Agua disponible en

cada una de las zonas de 1 a j a la finalización del día (i - j) es decir en la mañana del día de observación.

SJ = Capacidad de agua útil de cada una de las zonas - de 1 a j

Zj = Factor de ajuste para diferentes curvas de desecamiento de suelos.

EPi = Evapotranspiración potencial del día i

W = Factor de ajuste que tiene en cuenta la demanda atmosférica EP respecto A la relación ER/Ep.

EP = Promedio de la EP del mes o la estación. Los coeficientes R expresan la cantidad de agua por ciento de la evatranspiración extraída por las raíces de las plantas en las diferentes zonas durante la estación de crecimiento.

Estos coeficientes deben ser determinados o estudiados de manera que representen el sistema radicular más probable en esas condiciones ambientales. Se supone que en coeficientes suman 1 en cada sub-período de desarrollo del cultivo. Esto significa que si durante el día no existe la limitación de agua $E_r = EP$.

Un cultivo bien desarrollado a medida que el suelo se va secando desde arriba va utilizando el agua renaciente en las zonas inferiores más húmedas por lo cual los coeficientes de las zonas distribuidas proporcional-

mente más abajo reflejan la propiedad de las raíces de extraer agua en la profundidad a que ésta se encuentre.

Los métodos empleados, en el estudio, se ajustan a la realidad puesto que los resultados obtenidos, son iguales a las condiciones existentes durante el año en dichas unidades de riego.

3.2- González Hernández, Oscar realizó estudios de "Estimación de requerimientos de riego en Guatemala", como requisito previo a obtener el grado de Maestro en Ciencias en la Escuela Nac. de Agricultura, Chapingo México.

El objetivo del trabajo antes mencionado es la determinación de una metodología que permitiera estimar la evapotranspiración potencial, utilizando datos climáticos disponibles, para luego estimar mediante un balance hídrico los requerimientos potenciales de riego y poder regionalizar las zonas de riego de acuerdo a sus necesidades potenciales.

La metodología antes mencionada consistió en estimar la evapotranspiración potencial por medio de las fórmulas propuestas por Blaney-cridle, Hargreaves y Thornthwaite. Por no contar con datos reales de evapotranspiración potencial para poder evaluar el error de la estimación obtenida en la aplicación de dichas fórmulas; se tomó la evapotranspiración medida en tanque tipo A como un indicador para evaluar dicho error. A través de un análisis de correlación entre los datos calculados por las diferentes fórmulas y los registros de evaporación se determinó que el factor "f" propuesto por Blaney-cridle modificándolo con el uso del porcentaje de luz solar real

registrado en heliógrafo, proporcionó resultados con mayor correlación total que los demás: A este factor se le llama " f_2 ". A continuación se presenta el valor de " f ", y posteriormente el " f_2 ".

Tomando el por ciento de horas de luz solar mensual.

$$f_1 = (0,457t + 8,13) P_1$$

f_1 = Factor propuesto por Blaney-criddle

t = Temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$

P_1 = Por ciento de horas de luz solar mensual.

Calculado teóricamente.

Luego después se calculó el factor f_2 en base al por ciento de luz solar real, a través de los registros de insolación en heliógrafo.

$$f_2 = (0,457t + 8,13) P_2$$

Donde f_2 factor propuesto por Blaney-criddle modificado.

t = Temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$.

P_2 = Por ciento de luz solar mensual real calculado a través de las horas de insolación mensual. Debido a que existían únicamente 12 estaciones meteorológicas en Guatemala, con registros de insolación en heliógrafos se determinó un modelo que permita

estimar el porcentaje de luz solar y poder aplicar la metodología para la estimación de la evapotranspiración en un mayor número de estaciones; el modelo es el siguiente:

a- Para la época seca,

$$P2 = 14.19 - 0.072 \text{ HR}$$

b- Para la época húmeda

$$P2 = 4.468 + 0.11 \text{ Tm}$$

Donde:

P2 y P2 % de luz solar estimado

HR = % de humedad relativa media

Tm = Temperatura máxima media mensual en C^o

Por otra parte, se consideró que en áreas tropicales el factor K para modificar la evaporación en tanque evaporímetro tipo A es un buen estimador de la evapotranspiración potencial. Dicho factor varía de 0.7-0.8 en estas áreas y se tomó un valor promedio de 0.75.

En tal forma que:

$$\text{ETP} = 0.75 \text{ Ev}$$

En contra parte de esto se analizó la correlación - que existía entre el factor f_2 y la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; para las 2 épocas existentes:

la época húmeda y la seca. Para esto usó el programa de computadora STEPWISE DEL STATISTICAL ANALYSIS AYSYSTEM, obteniéndose los siguientes modelos:

a- Para la época seca (noviembre - abril)

$$EV = 9.965 + 0.86 f_2$$

Con estos dos modelos de evaporación se calculó la evapotranspiración potencial en base a la fórmula,

$$ETP = 0.75 EV$$

Como resultado final al aplicar la anterior metodología para los requerimientos potenciales de riego en Guatemala estimados a través del Balance Hídrico entre la evapotranspiración potencial y la precipitación efectiva, permitió clasificar cinco zonas de acuerdo a sus necesidades de riego potencial.

a- Zona con requerimientos de riego máximo (600 mm) localizada en el oriente y sur oriente del país que constituye aproximadamente un 7% del área total, con un período seco comprendido entre los meses de agosto a mayo.

b- Zonas con requerimientos potenciales de riego entre 500 y 600 mm, localizada en la parte central del país, con un área que representa aproximadamente el 11% del área total, con un período seco comprendido entre los meses de noviembre a mayo.

c- Zona con requerimientos potenciales entre 300 y 500 mm, localizada en su mayor parte en el altiplano del país, representando aproximadamente el 21% del área to

tal, con un período seco que va de noviembre a abril.

d- Zona con requerimientos potenciales de riego entre 100 y 300 mm, localizada en la parte sur, sur occidental y norte del país, con un área que comprende aproximadamente el 45% del área total, el período seco está comprendido entre los meses de diciembre-mayo.

En esta zona se puede desarrollar cultivos en la época seca con aplicación de riegos complementarios.

e- Zona con requerimientos potenciales de riego menores de 100 mm, localizados en la parte nor occidental del país, con un período seco de dos meses, mayo y abril y donde el riego no es necesario; esta zona equivale aproximadamente al 16% del área total.

La correlación encontrada entre las fórmulas de evapotranspiración potencial tratados y el tanque evaporímetro tipo A para la época seca y húmeda, se adoptan muy bien a la realidad, ya que las clasificaciones obtenidas de 5 zonas de acuerdo a sus requerimientos de riego, son los que actualmente son considerados.

3.3- López Choc, Fernando en su estudio Hidrológico Básico de la cuenca del Río María Linda, define dentro de un balance Hidrológico de una cuenca, la evapotranspiración y la infiltración representan la parte del volumen total de lluvia que no se transforma inmediatamente en escorrentía superficial, aunque la segunda influya en caudales posteriores o agua abajo en forma de aportes de agua subterránea o nacimientos de ríos.

Posteriormente menciona un cálculo en base a los

datos de temperatura y presipitación medios observados en la región.

Los valores anuales son los siguientes:

Sub cuenca río Michatoya (hasta estación Jurúm)

EVT = 950 mm

Sub cuenca río Aguacapa

EVT = 1130 mm

Cuenca total del río María Linda

EVT = 1247 mm

Como es de observar estos y otros estudios básicos de cuencas de ríos tienen como objetivos primordiales recopilar información básica para estudios posteriores.

3.4 Alberto Arturo Minera B. Realizó estudios en el tema titulado "COMPARACION DE METODOS PARA PRONOSTICAR EVAPOTRANSPIRACION EN GUATEMALA". Como requisito previo a optar el título de Ing. Agr. en la Facultad de Agronomía de la USAC.

El objetivo primordial del trabajo fue determinar la evapotranspiración potencial por medio de métodos indirectos en base a parámetros climática y luego correlacionarla con el método del tanque evaporímetro tipo A.

La Metodología fue la siguiente: Seleccionando las

estaciones, aquellas que tuvieran mayor número de parámetros. El número de estaciones seleccionadas fueron 53 clasificándolas en varios tipos así:

<u>Estación</u>	<u>Número de Estaciones</u>	<u>Parametros Tomados</u>
Tipo A	7	Precipitación media en mm. Temperatura media en C° Humedad relativa en % Evaporación en mm Insolación en total de horas mensuales o promedio de horas luz al mes. Viento en Km/hora.
Tipo B	17	Precipitación media en mm Temperatura media en C° Humedad relativa en % Evaporación en mm Insolación en total horas mensuales o promedio de horas luz al mes Viento en Km/hora
Tipo C	29	Precipitación en mm Temperatura en C°

Nuevamente realizó una nueva selección tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- 1- Que tuvieran evaporímetro de tanque tipo A
- 2- Que tuvieran el mayor número de parámetros climáticos, principalmente: Temperatura media, precipitación, humedad relativa, insolación, evaporación y viento.

Luego se seleccionaron las fórmulas en base a los datos anteriores y las fórmulas fueron:

- 1- Thornthwaite
- 2- Blaney Criddle
- 3- Hargreaves
- 4- Christiansen

Los resultados de la evapotranspiración se plotearon en curvas comparándola con la evaporación en tanque evaporímetro tipo A. Los resultados fueron los siguientes.

a- **Thornthwaite:**

En la época seca que va generalmente de los meses de noviembre a abril, sus resultados son muy inferiores a la evaporación directa, en la época húmeda que va de el mes de mayo a octubre, tiende a representarse la curva de la ETP superior a la evaporación directa, la diferencia en la época húmeda es menos marcada que en la época seca.

Blaney Griddle

En la época seca, en climas templados se presenta inferior a la curva de evaporación, en ésta misma época en climas cálidos, húmedos y secos se presenta superior a la curva de evaporación directa, en época húmeda los valores de ETP tanto para climas templados como para climas cálidos se presenta superior a la curva de evaporación directa, siendo la diferencia muy marcada.

c- Hargreaves:

En época seca valores inferiores a la evaporación directa, en la húmeda valores superiores a la evaporación directa.

d- Christiansen

En época seca valores inferiores a la evaporación directa.

La curva de evapotranspiración potencial y la curva de evaporación directa siguen una misma tendencia a lo largo de todo el período. En algunas gráficas en la época húmeda pasa a ser superior a la evaporación directa, pero es la fórmula que más se aproxima.

Por último correlacionó los resultados de las fórmulas de la zona sur occidental del país, con la del tanque evaporímetro tipo A.

La que mayor le correlacionó fue la fórmula de Christiansen dando un coeficiente de correlación de 0.992

y su modelo estadístico es:

$$Y = 9.67 + 0.8875 X$$

Siendo:

X = La variable del tanque evaporímetro

Y = La variable dependiente de X

Comentarios: El trabajo realizado llevaba un caminamiento muy interesante, pero no fue terminado, faltando determinar en las zonas con más requerimiento de riego que formula de los tratados correlacionaba más con el tanque evaporímetro tipo y su modelo estadístico.

3.5 Estrada Polanco, Godofredo. Realizo estudios titulados como "Balance Preliminar de Aguas en la ciudad de Guatemala", como requisito previo a optar el título de Ing. Civil en la Facultad de Ingeniería de la USAC.

El objetivo primordial fue determinar el volumen de escurrimiento en las diferentes subcuencas de la ciudad capital delimitadas por condiciones topográficas.

El procedimiento consistió en recopilación de parámetros climatológicos, tales como precipitación, temperatura, velocidad, media del viento, humedad relativa media, valores medios de radiación etc.

La precipitación media fue determinada por el método de las Isoyetas. La temperatura media fue definida por el método de las Isotermas.

Con los parámetros reunidos, procedió a determinar la evapotranspiración potencial por medio de las fórmulas siguientes:

- a- Fórmula de Blaney-criddle
- b- Fórmula de Thornthwaite
- c- Fórmula de Turc
- d- Fórmula de Christiansen y Hargreaves.

Luego después procedió con el siguiente razonamiento: "Estos valores obtenidos por fórmula experimentados en regiones diferentes a la del presente estudio y ~~por~~ no tener un criterio exacto del cual de las fórmulas se adopta más a la evapotranspiración efectiva en las subcuencas estudiadas, se tomará un promedio de los valores obtenidos para su estimación" es decir:

$$e = \frac{+ a + b + c + d}{4}$$

Con estos datos procedió a hacer el Balance para cada una de las subcuencas consideradas así:

PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION=ESCURRIMIENTO
MEDIA DE LA SUBCUENCA.

Pero tomando en consideración que el Balance fue realizado en una condición urbana tuvo un mayor número de factores, pero el principio fue el mismo.

Quedando en la siguiente forma:

$$Ve = VP + Vam + Vacm + Vscv + Vae - Vnscv$$

Ve = Volumen escurrido

Vp = Volumen agua precipitada

Vam= Volumen agua municipal

Vacm= Volumen de agua de la compañía Mariscal

Vscv= Volumen de agua subcuencas vecinas

Vac= Volumen de agua evapotranspirada

Vhscv= Volumen de agua hacia subcuencas vecinas.

Comentarios:

En el cálculo de la evapotranspiración potencial , que fue un promedio de los resultados obtenidos por las fórmulas empleadas me parece que debió hacerse una corelación entre el tanque evaporímetro tipo A y los resultados de las fórmulas con el fin de evaluar el error de la estimación obtenida en la aplicación de dichas fórmulas y determinar la que presenta mayor correlación.

3.6 Hernando Neira y Orlandino Arteaga Toledo:

Fueron autores del trabajo "Estudio Hidrológico - del Río Cahabón" como programa investigativo del departamento de planeamiento unidad de estudios básicos del

Instituto Nacional de Electrificación.

Este estudio fue completo, más sin embargo se resumirá la concerniente a la parte con relación directa con el presente tema, es decir nos referimos al Balance Hidrológico.

La metodología del trabajo fue la siguiente:

Se delimitó la cuenca hasta la estación Cahaboncito, estimando un área de $2,626.65 \text{ km}^2$. Este valor puede variar con las estimaciones de otros estudios, debido a lo impreciso y difícil de definir la divisoria de aguas en regiones cuya geología corresponde a calizas karstificadas, como es el caso algunas zonas de la cuenca en mención.

A continuación hicieron un análisis de consistencia el que consistió de la información pluviométrica seleccionando un período de estudio de 1956-72.

Para determinar consistencia de los registros se utilizó el método de las dobles masas, el cual fue aplicado entre grupos seleccionados de estaciones como patrón comparativo y por pares de estaciones entre sí. Las parejas cotejadas en el primer cálculo dieron por resultado en todos los casos un ajuste bastante bueno y sin quiebres aparentes.

En el segundo chequeo y considerando zonas de lluvia comparativamente similares se agruparon contra una de las otras estaciones, obteniéndose muy buenos ajustes.

En conclusión desucen del análisis de consistencia: Que todas las estaciones contempladas anteriormente resultaron homogeniás, lo cual indica que los datos son confiables según dobles masas.

Posteriormente se determinó la precipitación media de la cuenca por medio de los 3 métodos:

- 1- Precipitación promedio dando el valor 2845 mm
- 2- Polígonos de Thissen dando un valor de 3016 mm
- 3- Métodos de las Isoyetas dando un valor de 2997,5 mm

Para determinar cual de los 3 métodos era más aceptado se le dio más peso al de las Isoyetas dando un valor adoptado de 300 mm.

El número de subcuencas fueron 5.

En el análisis de los registros, por ser la estación Chajcar la que dispone de mayor número de registro (10 años) y Cahaboncito solo 4 años, se buscó el coeficiente de correlación entre los registros de estas dos estaciones.

Utilizando la ecuación del coeficiente de correlación dado en el análisis de estadística de Gauss; el valor de 0.90.

Para rellenar los caudales de Cahaboncito se utilizó el ajuste de las dobles masas encontrándose la ecuación de regresión.

$$Q \text{ Cahaboncito} = 6.77 Q \text{ Chajcar}$$

Luego calculó la evaporación real mediante un balance.

$$E = P - Q.$$

En el caso estudiado utilizando los datos de precipitación media y el caudal de la estación Cahaboncito tenemos.

$$E = 3000 - 2190 = 810 \text{ mm}$$

Posteriormente se aplicaron las fórmulas indirectas para determinar la evaporación potencial siendo estas.

- 1- Fórmula de Hargreaves (la presente fórmula sólo pudo ser calculada en la estación Sasis por tener registros disponibles y estar en el centro de la cuenca.

Dando un valor de evaporación potencial de 1050 mm/año.

La evaporación fue calculada por:

- 1- Hargreaves dando un valor de 1421 mm/ de año evapotranspiración potencial
- 2- La fórmula de Turc.

Para la cual teniendo un valor de 3000 mm de precipitación media. Y como temperatura media de la

cuenca tomaron la de Sasis por ser una estación representativa dando un valor:

$$E_{VT} = 1250 \text{ mm/año actual}$$

- 3- La fórmula de Thornthwaite da un valor de vapo-transpiración potencial de 1058 mm/año.

Posteriormente concluyen en usar el resultado obtenido por la fórmula de Hargreaves ya que toma en cuenta la radiación extraterrestre, la humedad relativa, la velocidad del viento y la elevación sobre el nivel del mar, es decir por contar con un mayor número de factores.

Posteriormente determinan los requerimientos de riego para la cuenca del Río Cahabón y deducen que teóricamente se necesita riego en los meses de marzo y abril dando el índice de humedad está ligeramente por debajo de 1.

Prácticamente dada la situación de humedad esta necesidad no se presenta en la cuenca del río Cahabón.

Comentarios:

Cuando fue determinado el Déficit por Balance Hídrico, éste se ve afectado por condiciones geológicas - de calizas Karstificadas.

Por consiguiente creo conveniente la decisión to-mada de calcular la evapotranspiración potencial por el Método Hargreaves.

Este estudio es una buena base para estudios posteriores.

3.7 Walter Gerardo Guinea M., realizó el trabajo titulado "Estudio Integral de los Recursos de Agua de la Cuenca del Río Polochic." Como tesis requisito previo a graduarse de Ingeniero Civil en la USAC.

La metodología empleada en el presente trabajo consistió en determinar la precipitación de la cuenca seleccionando un número de 29 estaciones que se encontraran dentro y fuera de la cuenca. La estadística considerada va de 1959-1973 o sean 15 años. Para la verificación y corrección de los registros utilizaron el método de las Dobles Acumulaciones. En la selección de la estación base de un grupo de estaciones se tomó aquella que tuviera mayor número de años de registro y menor coeficiente de variación.

En la determinación de la precipitación media se utilizaron los métodos de los Polígonos de Thiessen y el de las Isoyetas, dando un valor de:

Precipitación promedio del año húmedo = 2686.47mm
Precipitación promedio del año medio = 2447.47 mm
Precipitación promedio del año seco = 2109.54 mm

Aplicando el método de Thiessen obtuvo para el año medio 2600 mm como puede verse esta clasificación de año húmedo, seco y medio está basado en el criterio de Thorntwaite que dice "Año seco es aquel determinado por el registro que está por debajo del 20 % del valor tomado como promedio y viceversa para el año húmedo."

Posteriormente se estudiaron curvas de duración de caudales, el coeficiente de correlación y la ecuación de correlación existen entre las estaciones hidrométricas de Panzos y Telemán, siendo:

Coeficiente de Correlación = 0.991

Ecuación de correlación = $Q_{\text{Panzos}} = 1.46 Q_{\text{Telemán}}$.

Para el cálculo de la evaporación y evapotranspiración se utilizaron métodos directos e indirectos, pero por carecer de mayor información meteorológica sólo fueron aplicados en la estación Panzos PHC.

Los resultados y métodos aplicados fueron los siguientes:

Evaporación Real o Déficit de Escorrentía = 830.5 mm/año.

Evaporación Potencial según Hargreaves = 855.6 mm/año.

Evapotranspiración Potencial:

Mediante las fórmulas de Evt = $810 + 46 T_m = 2011.52$ mm/año.

Mediante las fórmulas de Blaney Criddle = 2016.6 mm/año.

Mediante las fórmulas de Turc = 1500.3 mm/año.

Mediante la fórmula de Thornthwaite = 1552.4 mm/año.

Mediante la relación evapotranspiración-altura = 1813.59 mm/año.

Mediante la fórmula de Christiansen-Hargreaves = 1051.0 mm/año.

Posteriormente fue determinado el requerimiento de riego en base a la relación de humedad disponible definiéndose ésta como la relación entre la precipitación caída en el mes y su respectiva evapotranspiración. Para el efecto fueron usados los registros de la estación Panzos PHC y la evapotranspiración calculada por medio de la fórmula de Blaney-Criddle por considerarse una de las más confiables. Como resultados de lo anteriormente expuesto determina que la cuenca del río Polochic necesitará de riego en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Noviembre y Diciembre por tener un índice de humedad menor que 1.

Posteriormente realizó un estudio de caudales en cálculo de crecidas, curva de regulación de los mismos, con fines de aprovechamiento hidroeléctrico, que por carecer de importancia para el presente trabajo no se entrará en detalle.

Conclusiones personales: Del presente trabajo se puede deducir para estudios posteriores de embalse, que el caudal del río Polochic posee muy poca variación en comparación con los demás ríos de Guatemala, cuyos índices de variabilidad oscilan entre el 60-40 %.

Al calcular la evaporación y evapotranspiración solamente en base a una estación meteorológico, nunca será representativa de toda la cuenca. Considerando necesario aumentar la red de estaciones tipo A.

Al determinar no recomendable tratar de elaborar - un proyecto para fines de riego por contar con muy pocos meses de humedad disponible menor que 1, habría que estudiar la rentabilidad que se tendría con el riego, pues de todos es sabido la fuerte producción de granos básicos existente en el fértil valle, aumentándose éstos o bien incrementando nuevos cultivos a la zona mediante el riego.

La fórmula de Turc, resultado de un exhaustivo estudio del Balance Hídrico en otras regiones tiene al aplicarse en el presente estudio una diferencia del 80.65% con el Balance Hídrico aplicado en la cuenca, considerando que existe un error en cualquiera de los dos cálculos.

CAPITULO IV

PRINCIPIOS BASICOS

4.1 COMPLETACION DE REGISTROS HIDROMETEOROLOGICOS:

Sucede con frecuencia en hidrología, que los registros de las estaciones no son continuos, o por otro lado no son de longitud deseada. Por esta razón se han desarrollado métodos estadísticos y no estadísticos, que permiten superar estas dificultades.

Para realizar un trabajo de la naturaleza del presente, es necesario contar con información "Consistente" desde el punto de vista estadístico, es decir sin sesgo de ninguna naturaleza. Por ejemplo: al comparar parámetros estadísticos, cualquiera de estaciones con registros de diferente longitud, se incurre en error si ambos no se analizan para un período de registro común. El procedimiento correcto es, por lo tanto comparar los parámetros estadísticos para el período de registro más corto; o bien extender el registro más corto mediante los métodos que a continuación se mencionan y posteriormente comparar los parámetros en cuestión.

a) Métodos de las Correlaciones:

Muy a menudo se encuentran en la vida diaria, que existe una relación entre dos o más fenómenos tales como, pesos de hombres adultos dependen de su altura, etc. En este caso se tratará de establecer la relación entre variables que interesen

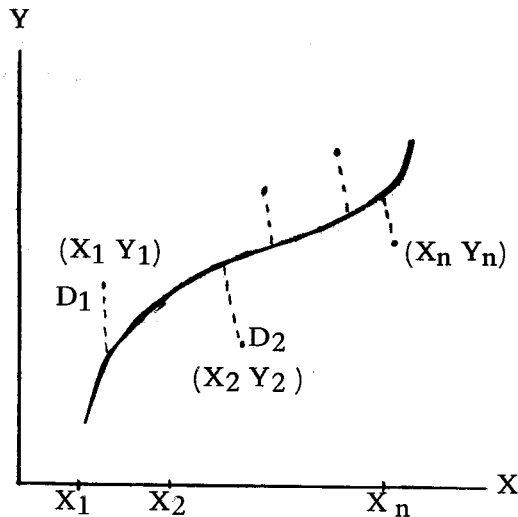
con el objetivo de medir esa relación. Al dibujar estas variables en un sistema de coordenadas rectangulares y ajustarles una curva, el resultado depende del juicio individual. Para evitar esto, se emplea el método de los mínimos cuadrados, es decir se pretende que:

$$D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_n^2 \text{ es mínimo}$$

Siendo D la diferencia entre el punto y la curva.

A continuación se presenta una gráfica para que sea más ilustrativo.

Gráfica No. 4



En el presente trabajo las variables fueron:

Precipitaciones medias Anuales de estación vecina con período de registro completo.	Precipitaciones me- dias Anuales de estación ve- cina con período de re- gistro incompleto.
Temperaturas medias Anuales de estación vecina con período de registro completo	Temperaturas medias Anuales de estación ve- cina con período de re- gistros incompletos.
Precipitaciones medias Anuales de estación represen- tativa de la subcuenca, con período de registros comple- tos.	Caudales medios Anuales de estación hi- drométrica vecina con período de registros in- completos.

En este caso se utilizan únicamente correlación li-
near simple que relaciona las variables con ecuaciones-
de forma:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Donde las constantes a_0 y a_1 se calculan me-
diante las ecuaciones: (12)

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Ya determinada esta curva de ajuste por mínimos -

cuadrados, se pueden estimar el valor de una variable Y correspondiente a un valor de una variable X, la curva resultante es llamada "Curva de regresión".

Para determinar la bondad del ajuste de la recta de regresión, se utiliza el coeficiente de correlación, que se define como la razón de la variación explicada a la variación total. (12)

$$\text{Coeficiente de correlación} = \pm \sqrt{\frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}}$$

$$\sqrt{\frac{(Y_{\text{est}} - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2}}$$

Siendo la variación no explicada: $(Y - Y_{\text{est}})$

Por lo tanto el coeficiente de correlación puede tener valor de 1, si toda la variación es explicada, ahora bien, si existe variación no explicada puede tener valor menor que 1 hasta llegar a 0. En este caso, el coeficiente de correlación mínimo aceptable debe ser: (9)

$$\geq \frac{1}{\sqrt{N - 2}}$$

Donde N es el número de pares de elementos considerados.

Error estandard de estimación: Es una medida de

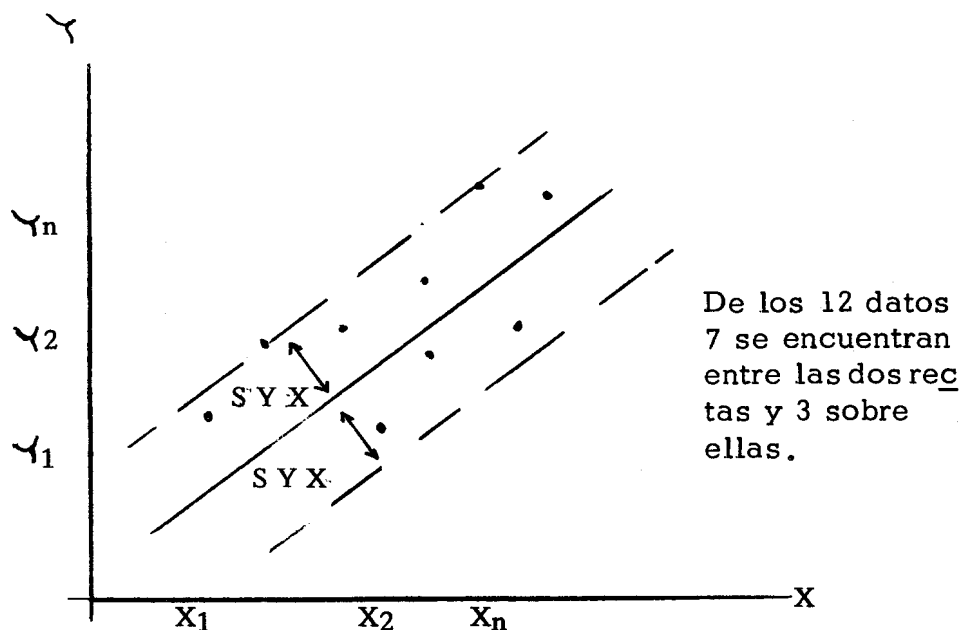
la dispersión alrededor de la curva de regresión, en el caso de ser una recta de regresión, si $Y_{est.}$ representa el valor de Y estimado en la ecuación:

$Y = a_0 + a_1 X$ para valores de X dados la recta de regresión de Y sobre X viene dado por la cantidad. (12)

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_{est.})^2}{N}}$$

Donde S_{yx} es el error estándar de estimación.

Por ejemplo: (Gráfica No. 5.)



b) **Método de las Dobles Masas:**

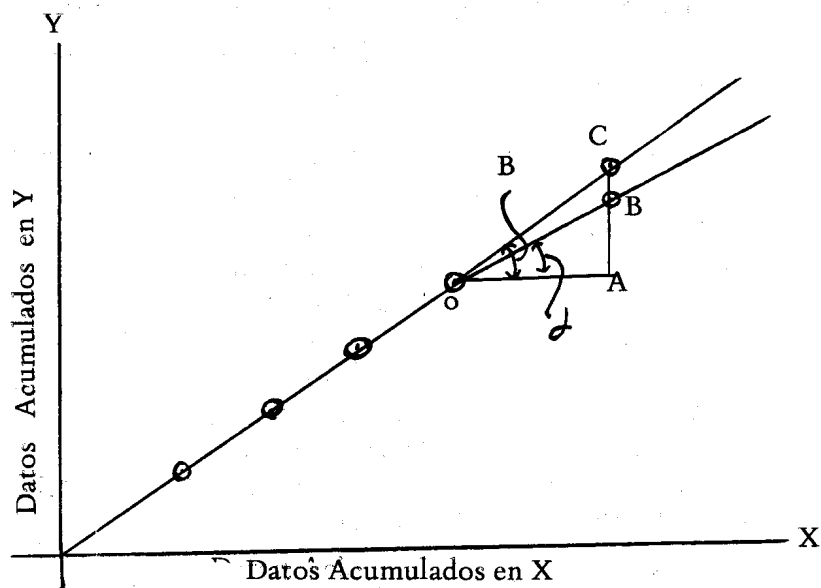
Este método fue utilizado para determinar la veracidad de los datos de precipitación y temperaturas medias anuales y posteriormente para la completación de datos de precipitación y temperatura media anual.

En el eje X se ponen los valores acumulados de la estación base o grupo de estaciones y en el eje Y los valores acumulados de la estación a corregir o a extender.

La estación o grupo de estaciones base deben ser vecinas y con registro completo para el período considerado.

El principio del método consiste en que si los registros de la estación a comparar están correctos, deberá ser posible unir todos los puntos por medio de una recta. Si se presentan variaciones de pendientes muy marcadas, se considera que los registros de la estación no son aceptables y por lo tanto habrá que efectuar una corrección, tal como se muestra en la figura a continuación:

(gráfica No. 6)



$$\text{Tg. A} = AB/OA$$

$$\text{Tg. B} = AC/OA$$

$$OA = AB/\text{Tg. A}$$

$$OA = AC/\text{Tg. B}$$

$$AB/\text{Tg. A} = AC/\text{Tg. B}$$

$$\therefore AB \times \text{Tg. B} / \text{Tg. A} = AC$$

c) Proporcionalidades:

Este método es una forma muy simple de extender registros y que se utiliza cuando no existe información suficiente como para emplear un método más adecuado.

Simplemente consiste en asumir que la relación existente entre dos parámetros para un período concurrente, se presentan para períodos más largos. Por ejemplo se tienen registros de caudales anuales en una estación hidrométrica con una longitud de registro de m años y se desea estimar el caudal medio de n años (donde $n > m$). La forma más simple de hacerlo utilizando este procedimiento es el tomar los registros de una estación con por lo menos n años de longitud y utilizar estos en la forma siguiente:

Si: $\bar{Q}_m$, es el promedio de m años de registros de caudales en la estación considerada.

$\bar{P}_m$, es el promedio durante el período concurrente del parámetro considerado en la estación con por lo menos n años.

$\bar{P}_n$, es el promedio del parámetro en mención para n años.

Entonces el valor estimado de $\bar{Q}_n$ es:

$$\bar{Q}_n = \frac{\bar{P}_m}{\bar{P}_n} * \bar{Q}_m$$

4.2 CORRELACION LINEAL MULTIPLE:

Se define como el grado de relación lineal existente entre tres o más variables, y los principios son análogos a los tratados en la correlación simple.

La ecuación de regresión se usa para estimar la variable dependiente por ejemplo:

X_1 a partir de las variables independientes X_2, X_3 etc. En el caso de 3 variables, la ecuación de X_1 en función de X_2, X_3 es la siguiente (12).

$$X = B_{1.23} + b_{12.3} x_2 + b_{13.2} x_3$$

Con esta ecuación se resuelve simultáneamente el sistema de ecuaciones normales:

$$x_1 = b_{12.3} N + b_{12.3} x_2 + b_{13.2} x_3$$

$$x_1 x_2 = b_{1.23} x_2 + b_{12.3} x_2^2 + b_{13.2} x_2 x_3$$

$$x_1 x_3 = b_{1.23} x_3 + b_{12.3} x_2 x_3 + b_{13.2} x_3^2$$

El coeficiente de correlación r_{12}, r_{13} y r_{23} y puede escribirse como: (12).

$$r_{1.23} = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2 r_{12} r_{13} r_{23}}{1 - r_{23}^2}}$$

Cuando tiende a 1 el coeficiente, es mejor la relación entre variables. Si tiende a 0 la relación li-

real es peor.

Error estandar de estimación múltiple. Este puede definirse en términos de los coeficientes de correlación r_{12} , r_{13} , y r_{23} , y puede calcularse por medio de: (12).

$$S_{1,23} = S_1 \sqrt{\frac{1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}}$$

CAPITULO V

METODOLOGIA APLICADA Y RESULTADOS

5.1 GENERALEDADES:

Teniendo en mente que la meta de este trabajo es presentar una metodología aplicable en nuestro medio para estimar el déficit; se procedió a recopilar la información disponible del área en estudio.

La información básica recopilada fue la siguiente:

- a) Mapas topográficos, escala 1:50,000
- b) Registros de caudales medios mensuales de las estaciones dentro de la cuenca.
- c) Registro de lluvia mensual
- d) Registros de temperatura media mensual.

5.2 PROCESAMIENTO PRIMARIO:

5.2.1 El procedimiento primario se inició con la delimitación de la cuenca del río Polochic. Esto se hizo de acuerdo a los principios básicos de divisoria de aguas.

Posteriormente, se procedió a la limitación de subcuencas, dentro de la cuenca principal tomando como criterio para la división, el número y ubicación de las estaciones hidrométricas que operan en la cuenca. Debido a este criterio, se consideró la cuenca hasta la estación Panzós.

El área de cada una de las subcuencas es la siguiente:

Subcuenca	Area (Km ²)
Chilascó	76.33
Matucuy	868.33
Cucaujá	66.92
Telemán	1509.38
Trece Aguas	6.00
Boca Nueva	169.32
Panzós	2129.26

Los datos obtenidos fueron comparados con los de los boletines del Comité Coördinador de Hidrología y Meteorología. En general, existen pocas diferencias entre los valores aquí calculados y los de los boletines hidrológicos. Es necesario mencionar, sin embargo, que representaron problemas al definir la divisoria superficial entre las cuencas de los ríos Polochic y Cahabón debido a que en la región la geología corresponde a calizas Karstificadas.

5.2.2 De los registros de caudales mensuales se calcularon los caudales anuales.

En resumen de caudales medios anuales se presenta en la tabla No. 1.

En resumen de caudales medios anuales se presenta en la tabla No. 1.

5.2.3 Se estableció la ubicación y se recopiló y proceso la información de estaciones meteorológicas dentro de la cuenca. Además se incluyeron las estaciones que se encuentran fuera de la

cuenca en regiones con características climáticas semejantes a las del área en estudio.

Las estaciones meteorológicas consideradas son las siguientes:

<u>CODIGO</u>	<u>NOMBRE</u>
01.01.02	Planta Agua Potable
01.01.07	Sta. Margarita
01.01.08	Cobán P H C
01.03.07	Chajcar
01.03.11	Sasis
01.07.01	Cabañas
01.07.02	Constancia
01.07.09	Saquijá
01.07.10	Panzos P H C
01.07.11	Cahaboncito
01.10.01	Zona Vial 7
01.11.04	San Juan
01.11.05	Seamay
01.11.08	Volcán
01.11.09	Sepamac
01.11.10 P	Mocca
01.11.11	Los Alpes
01.14.01	La Argentina
01.14.05	Esperanza
02.06.03	San Rafael Chilascó

Los registros meteorológicos existentes para la -
cuenca del río Polochic se reducen a: Lluvia y
temperatura media.

La longitud de los registros se presentan en los cro

nogramas No. 1 y No. 2 respectivamente.

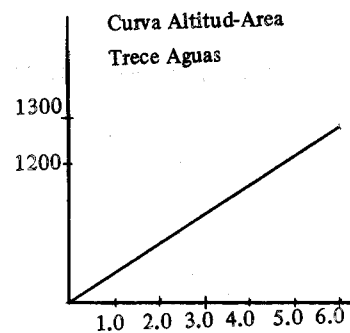
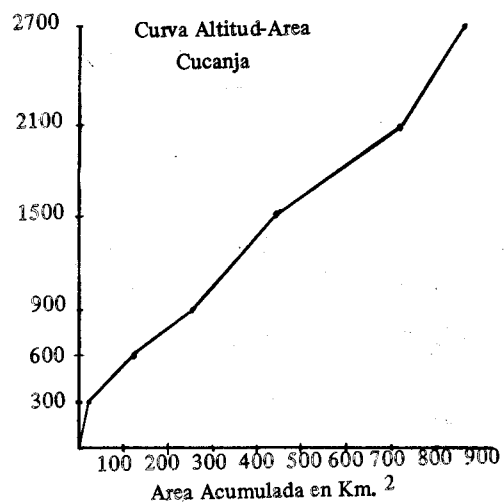
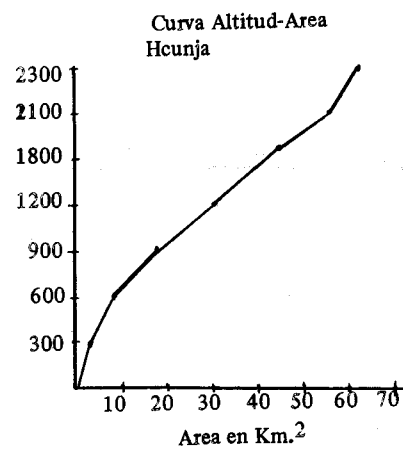
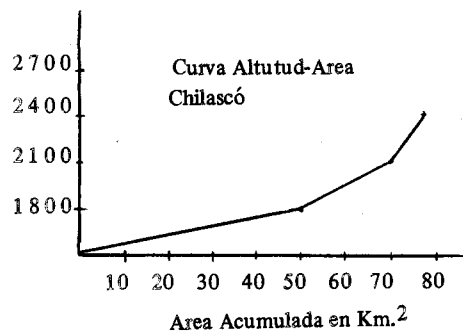
Basados en los registros disponibles, se seleccionó el período comprendido de 1960-1975 para estimar el Déficit de escurrimiento.

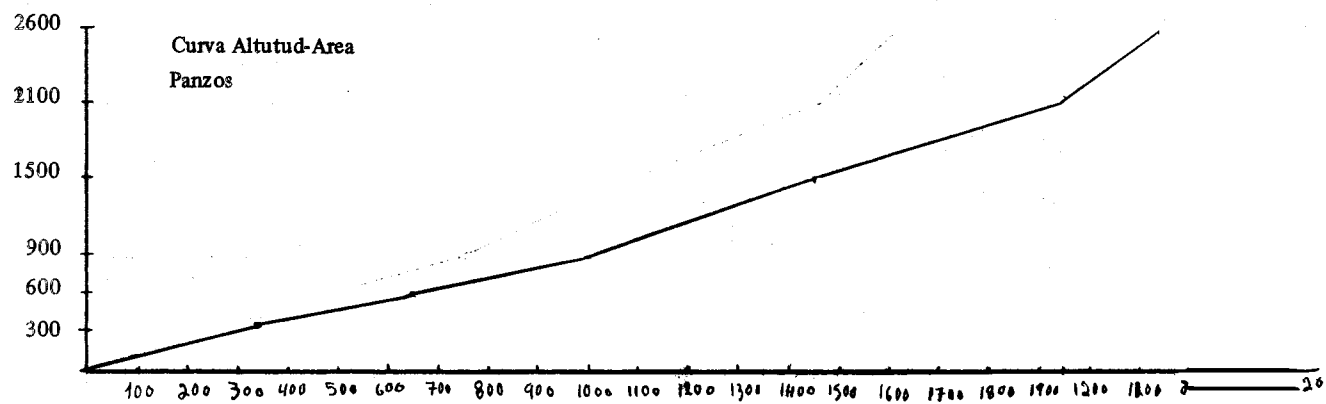
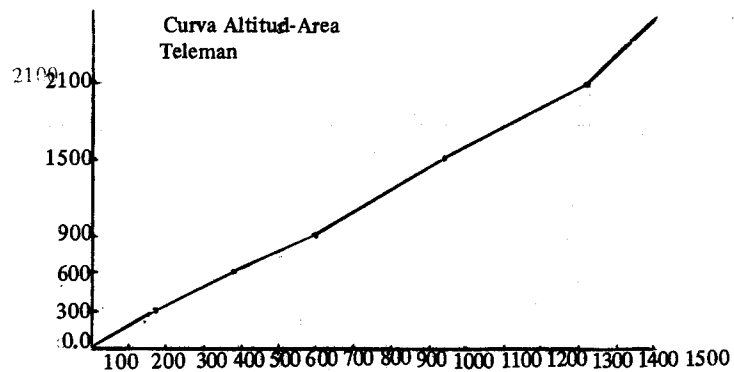
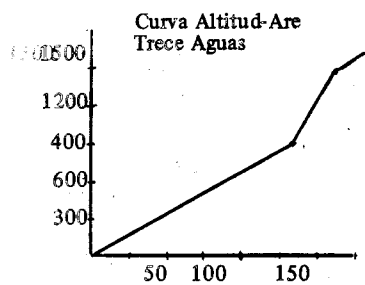
El resumen de los registros de lluvia anual se presentan en la tabla No. 2 y el de la temperatura media anual en la tabla No. 3.

5.3 DETERMINACION DE PARAMETROS MOREOMETRICOS:

Dada la limitación de información se procedió a calcular parámetros morfométricos de cada una de las subcuencas. Los parámetros determinados, además del área fueron: altura media y pendiente media de cada una de las subcuencas.

En la gráfica No. 7 se presentan los valores de área-altura para cada una de las subcuencas. En la tabla No. 4 se presentan los valores de H para cada subcuenca; la tabla No. 5 contiene un resumen de los valores de pendiente media para cada subcuenca. Se considera pendiente media, en este caso la pendiente correspondiente al cauce más largo de la cuenca.





5.4 PROCESAMIENTO DE REGISTROS METEOROLÓGICOS:

Con fines comparativos, se extendieron y completaron registros meteorológicos por diferentes métodos así:

- a) Lluvia y temperatura, ajustando rectas por mínimos cuadrados de la forma:

$$a.1) Y = A + BX$$

$$a.2) Y = CX$$

Además por el método de las dobles masas

- b) Caudales medios, ajustando rectas de la forma:

$$B.1) Y = A + BX$$

$$b.2) Y = CX$$

Y por el método de proporcionalidades.

Las tablas No. 6 y No. 7 presentan el resumen de datos registrados y completados de cada una de las estaciones meteorológicas consideradas, y la tabla No. 8 de las estaciones hidrométricas.

5.5 DETERMINACION DE PARAMETROS CLIMATICOS MEDIOS DE LAS SUBCUENCAS.

5.5.1 Precipitación Media Anual de las Subcuencas.

- a) Método de la Media aritmética: Este método

do da buenas estimaciones en terreno llano si los pluviómetros están uniformemente distribuidos y las cantidades recojidas individualmente no difieren mucho de la media.

En la tabla No. 9 se presentan los resultados obtenidos por este método.

- b) Método de los Polígonos de Thiessen: Este método consiste en colocar las estaciones y unir las por triangulaciones. Las perpendiculares en los puntos medios forman polígonos alrededor de cada estación. Los lados de cada polígono son los límites de área efectiva asignada a la estación.

La mayor limitación del método de Thiessen es su falta de flexibilidad, requiriéndose un diagrama Thiessen nuevo; cada vez que se produce un cambio a la red pluviométrica. Por otra parte el método supone simplemente una variación lineal de precipitación entre estaciones y asigna cada segmento de área a la estación más próxima (7). Tiene la de ser fácil de aplicar en una misma red.

En la tabla No. 10 se presentan los resultados obtenidos por este método.

- c) Método de las Isoyetas: La precipitación media de una zona se calcula multiplicando la precipitación media entre isoyetas sucesivas (normalmente se toma, la media de los valores consecutivos) por el área entre iso

yetas, sumando dichos productos, y dividiendo por el área total). Este es el método más preciso para promediar la precipitación media sobre un área, pero tiene la desventaja de ser laborioso.

En la tabla No. 11 se presentan los resultados obtenidos por el presente método.

5.5.2 Determinación de la temperatura media de cada una de las subcuencas: Con los datos extendidos a 15 años de cada una de las estaciones y promediadas se procedió a determinar la temperatura media de cada subcuenca por el método de las isothermas. En la tabla No. 12 se presentan los resultados obtenidos.

5.6 BALANCE HIDRICO.

5.5.1 Método del Déficit de Escorrentía: Con los datos de caudales medios anuales en metros cúbicos/segundo extendidos en el período de 15 años y promediados, en cada estación hidrométrica; se transformaron a mm/año aplicando la fórmula siguiente:

$$Q \text{ (mm/año)} = Q \text{ (m}^3\text{/seg)} \times \frac{31543}{\text{área (km}^2\text{)}}$$

La transformación anterior fue aplicada solamente a los caudales medios anuales para el período de 15 años promediados, obtenidos por la forma $Y = A + BX$.

Para la aplicación del método, fue necesario con-

tar con la precipitación media de cada una de las subcuencas, obtenidas por el método de las isoyetas; los cuales fueron trazados en base a los registros de precipitación media anual extendida en el período de 15 años, obtenidos por la forma $Y=A+BX$.

Con estos dos parámetros en cada subcuenca se aplicó la ecuación siguiente para la determinación del Déficit de Escorrentía.

$$\text{PRECIPITACION} - \text{CAUDALES} = \text{DEFICIT DE ESCORRENTIA}$$

Los resultados se presentan en la tabla No. 13

5.6.2 Cálculo por el Método de Turc: Con el fin de comparar los resultados obtenidos en el método del Déficit de Escorrentía se procedió a estimarse el Balance Hídrico por el presente método. El procedimiento fue el siguiente: con los datos de temperatura media anual obtenida por el período de 15 años en cada una de las subcuencas y con los datos de precipitación media anual obtenida en igual forma, se aplicó la fórmula de Turc. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla No. 14. En la misma tabla se presentan las variaciones en % con los valores de Déficit de escorrentía obtenidos.

5.7 ESTIMACION DEL DEFICIT DE ESCORRENTIA EN BASE A LOS PARAMETROS DISPONIBLES.

Con la información recabada y procesada, se pro-

cedió a obtener correlaciones múltiples entre el Déficit y los parámetros calculados con los propósitos:

- a) Establecer el grado de dependencia o relación entre las variables.
- b) Obtención de ecuaciones aplicables en la zona bajo estudio.

Para lo anterior se utilizó un programa de computadora que ejecuta correlaciones lineales múltiples por pasos (Stepwise Multiple linear regresión).

Las variables consideradas son las siguientes:

$\bar{Q}$ Caudal medio anual en mm/año

$\bar{P}$ Precipitación media anual mm/año

$\bar{D}$ Déficit de escorrentía medio anual en mm/año.

$\bar{T}$ Temperatura media anual en Grados Centígrados.

$\bar{S}$ Pendiente media en %

$\bar{H}$ Altura media en metros .

a. - Grado de dependencia o relación entre variables.

Cuadro de coeficientes de correlación lineal
entre variables estudiadas.

	$\bar{P}$	$\bar{Q}$	$\bar{D}$	$\bar{T}$	$\bar{H}$	$\bar{S}$
$\bar{P}$	1.0	0.75	0.49	0.86	-0.90	0.21
$\bar{Q}$	0.75	1.0	-0.21	0.50	-0.54	0.56
$\bar{D}$	0.49	-0.21	1.0	-0.47	-0.61	-0.42
$\bar{T}$	0.86	0.50	-0.47	1.0	-0.80	0.31
$\bar{H}$	-0.90	-0.54	-0.61	-0.80	1.0	0.68
$\bar{S}$	0.21	0.56	-0.42	0.31	0.18	1.0

Cuadro de coeficientes de correlación
logarítmicas entre variables estudiadas.

	$\bar{P}$	$\bar{Q}$	$\bar{D}$	$\bar{T}$	$\bar{H}$	$\bar{S}$
$\bar{P}$	1.0	0.67	0.47	0.89	-0.86	0.34
$\bar{Q}$	0.67	1.0	-0.32	0.56	-0.51	0.62
$\bar{D}$	0.47	-0.32	1.0	0.37	-0.52	-0.38
$\bar{T}$	0.89	0.56	0.37	1.0	-0.72	0.43
$\bar{H}$	-0.86	-0.51	-0.52	-0.72	1.0	0.14
$\bar{S}$	0.34	0.62	-0.38	0.43	0.14	1.0

- b). - Obtención de ecuaciones aplicables en la zona bajo estudio.

El déficit de escorrentía fue determinado en función de tres variables, debido a que existe una limitante la cual es, que el número de observaciones N debe ser mayor que $M+2$ donde M es el número de variables. En el presente trabajo el número de observaciones fueron 6 debido a que fue eliminado Trece Aguas y el número de variables 6. Permitiendo solamente usar 3 variables para darnos el valor de $3 + 2$ menor que 6.

Los resultados fueron los siguientes: para la forma lineal:

	Coeficiente correlación	Error estándar de estimación	Fórmula encontrada.
$\bar{D} = f(\bar{H}, \bar{Q})$	0.8915	317.98	$\bar{D} = 3934.5244 - 1.128755 \bar{H} - 0.581583 \bar{Q}$
$\bar{D} = f(\bar{S}, \bar{Q})$	0.4244	635.50	$\bar{D} = 1676.055 - 61.052589 \bar{S} + 0.029068 \bar{Q}$
$\bar{D} = f(\bar{H}, \bar{S})$	0.6916	506.9288	$\bar{D} = 2610.87207 - 0.608401 \bar{H} - 44.5833 \bar{S}$
$\bar{D} = f(\bar{H}, \bar{P})$	0.6309	544.5735	$\bar{D} = 3512.078125 - 1.003 \bar{H} - 0.227671 \bar{P}$

	Coeficiente correlación	Error estandar dard de esti mación	Fórmula encontrada.
--	----------------------------	--	---------------------

$\bar{D}=f(\bar{P}, \bar{T})$	0,4921	609.3	$\bar{D}=593.3454+0.213$ $167\bar{P}+58.187698 \bar{T}$
-------------------------------	--------	-------	--

Para la forma logarítmica

$\bar{D}=f(\bar{H}, \bar{Q})$	0.8592	0.1498	$\log_{10} \bar{D}=9.453646-$ 1.2768 $53 \log . \bar{H}-0.75043$ $\log . \bar{Q}$
$\bar{D}=f(\bar{H}, \bar{T})$	0.522	0.2498	$\log_{10} \bar{D}=5.420453 -$ 0.7230 $\log . \bar{H}-0.043928 \log . \bar{T}$
$\bar{D}=f(\bar{H}, \bar{S})$	0.6916	0.2325	$\log_{10} \bar{D}=5.495896-$ 0.6558 $\log . \bar{H}-0.400944 \log . \bar{P}$
$\bar{D}=f(\bar{H}, \bar{P})$	0.5236	0.2495	$\log_{10} \bar{D}=4.5388 -$ 0.62029 $\log . \bar{H}+0.145168 \log . \bar{P}$
$\bar{D}=f(\bar{P}, \bar{T})$	0.4821	0.256	$\log_{10} \bar{D}=0.786252 +$ $1.231298 \log . \bar{P}$ $-1.442909 \log . \bar{T}$

CAUDALES MEDIOS ANUALES TABLA No. 1

Número	Estación	60-61	61-62	63-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75
01.07.02	Panzos										28.9285	31.5547	45.1728	47.551	57.31.50	
01.07.04	Bola Nueva										14.3576	11.647	11.7047	14.7816		
01.07.03	Tolemán										58.63	44.1571	43.7377	48.0596	40.1828	
01.07.05	Matucuy												34.0893	40.1577	36.9618	
01.14.01	Cucanja														4.4804	
02.01.01	Chilascó				1.10	1.048	1.9392	2.0508	2.1242	2.0378	2.15	1.7093	1.467	2.0473	1.284	
01.11.01	Trece Aguas									2.7273	2.0224	2.0929				

CRONOGRAMA No. 1

LONGITUD DE LOS REGISTROS DE LLUVIA ANUAL EN mm.

Número	Nombre	34-35	39-40	49-50	59-60	69-70	74-75
01.01.01	Sub.Est.Cobán			XXXXXXXXXXXXX			
01.01.02	Planta Agua Pot.				XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.01.03	Chimay				XXXXXXXXXX		
01.01.07	Sta. Margarita				XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.01.08	Cobán PHC					XXXXXXXXXXXXXXX	
01.03.03	Chiacam				XXXXXXXXXX		
01.03.07	San Vicente				XXXXXXXXXXXXXX		
01.03.10	Xicacao				XXXXXXXXXX		
01.05.01	Sn.Agustín Chixoy					XXXXXXXXXXXXXXX	
01.07.01	Cabañas				XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.07.09	Saquijá					XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
01.07.10	Panzós					XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
01.11.05	Seamay				XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.11.06	Sepocuité	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX					
01.07.12	Papalha					XXXXXXXXXX	
01.11.07	Trece Aguas	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		XXXXXXXXXXXXXX			
01.11.08	Volcán				XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.11.10	Mocca	XX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
01.14.01	Argentina				XX		
01.14.04	La Concepción						

TABLA No. 2
REGISTROS DE PRECIPITACION ANUAL

Número	Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75
01.01.02	Planta Agua Pot.	2044.1	2824.0	2242.0	2422.0	1951.0	2060.5	2215.0	2310.1	2274.7	2394.9	2788.0	2558.3	1899.50	1841.0	2073.2
01.01.07	Sta. Margarita	1889.0	2710.2	2246.5	2425.5	2223.0	1993.0	2448.0	2176.0	2235.0	2453.0	2582.0	2522.0	1761.5	2024.0	2235.0
01.03.07	Chajcar	2905.0	2656.0	3838.0	3219.0	2591.0	2556.0	3363.0	2917.0	3223.0	3076.0	3198.0	2915.0	2986.0	2720.0	2409.0
01.03.11		2911.5	3610.0	3285.0	3328.0	2954.0	3020.0	3674.0	3134.0	3695.5	3397.0	3474.0	3454.0	3663.0	3413.0;	
01.07.01	Cabañas	2484.0	2973.5	2489.5	2998.5	2356.0	2160.5	3105.5	2394.	2241.0	2427.0	2741.5	2344.0	2253.5	2363.0	2799.5
01.07.02	Constancia	2697.1	3038.9	2342.2	2935.4	2142.6	2321.8	2908.1	2559.8	2798.7	2562.7	2174.0	2799.1	2179.0	2960.6	2310.0
01.07.09	Saquijá									2821.7	2401.0		2453.0	2452.0	2234.0	2135.0
01.07.11	Cahaboncito											3893.2	3894.3	2914.6	3121.6	
01.10.01	Zona Vial 7		2173.0	1818.0	2124.7	2003.0	2040.0	1735.0				2316.0	1063.0		1401.0	2121.6
01.11.04	San Juan									4446.3	4534.7	6022.9	5813.1	4962.5	4284.9	
01.11.05	Seamay	4351.6	4315.6	3642.3	3952.9	3623.8	3671.2	4363.3	4789.9	3661.6	3775.9	4016.7	4203.0	3706.3	3886.9	4476.6
01.11.08	Volcán	3456.5	4678.4	4267.9	3335.1	3708.3	3413.5	4119.0	4068.9	4018.0	4454.0	4392.8	4101.4	3687.7	4473.1	3868.0
01.11.09	Sepamac					2844.0	3062.0	3336.0	4197.0			3254.0	2672.0	2145.0	2421.0	2483.0
01.11.10		3773.5	4367.5	3900	3785.0	3250.0	3316.0	4914.5	4285.0	3750.0	3920.0					
01.11.11	Los Alpes	3134.5	4085.0	3424.0	3545.0	3226.5	3136.0	4295.5	3817.0	3404.7	3746.0					
01.14.01	La Argentina	2948.0	3570.5	2761.1	3612.5	3653.0	2766.0	3709.0	3037.0	3156.5	3385.0		3451.0	2770.0	2859.5	3234.5
02.06.03	Sn. Raf. Chilascó	1610.0	1919.9	1475.2	1739.9	1407.8	1492.0	1811.4	1726.3	1928.3	1967.3			1584.1		

TABLA No. 3
REGISTROS DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Número	Estación	60-61	61-62	63-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75
01.01.02	Planta Agua Potable	21.94	19.81	19.22	19.81	18.77	18.94	18.76	18.79	19.98	17.80	16.52	17.52	18.32	16.91	16.84
01.01.07	Sta. Margarita	19.89	19.51	19.31	19.83	19.39	19.61	19.13	19.25	19.86	20.10	19.23	19.32	19.40	19.65	19.69
01.01.08	Cobán PHC											17.93	17.93	18.57	18.13	17.82
01.07.01	Cabañas	30.42	30.15	30.12	27.62	30.71	31.00	30.57	30.87	31.19	31.67	30.97	31.01			
01.07.09	Saquijá							28.26	28.15	28.87	28.40	29.08	28.14		27.00	28.41
01.07.10	Panzós PHC										25.96	25.46	26.10	26.35	25.60	25.29
01.10.01	Zona vial 7											18.78	20.46	24.05	22.	
01.11.05	Seamay	22.92	22.22	22.00	22.28	22.22	22.49	21.91	21.95	19.94	22.19	21.62	21.93	22.77	22.08	22.51
01.11.08	Volcán	21.22	21.37	21.20	21.80	21.64	21.88	21.20	21.58	21.79	22.31	21.22	23.49	21.33	20.72	21.99
01.11.10	Mocca										21.13	20.90	20.19	20.34	20.65	19.89
01.14.01	Argentina	23.86	23.48	23.24	23.55	23.40	23.25	23.08	23.04	23.68	23.91	24.53	24.66	24.95	24.78	24.56
01.14.05	Esperanza	19.22	19.47	19.42	19.27	18.81	19.26	18.06	17.08	17.89	18.43	18.58	17.16	17.58	17.64	17.33

TABLA No. 4

SUB CUENCA	ALTURA MEDIA EN METROS
CHILASCO	2200.0
MATUCUY	1900.0
CUCANJA	1940.0
TELEMAN	1650.0
TRECE AGUAS	1165.0
BOCA NUEVA	760.0
PANZOS	1680.0

TABLA No. 5

SUB CUENCA	PENDIENTE MEDIA EN %
CHILASCO	4.69
MATUCUY	7.73
CUCANJA	15.83
TLEMAN	7.44
TRECE AGUAS	8.0
BOCA NUEVA	6.4
PANZOS	6.2

PROCESAMIENTO DE REGISTROS DE
PRECIPITACION

TABLA No. 6

Forma Y = A / EX

Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Sasia	2911.5	3610.0	3285.0	3328.0	2954.0	3020.0	3674.0	3134.0	3695.5	3397.0	3474.0	3454.0	3663.0	3413.0	2476.15*	3299.27	3358.0	1.75
Saquijs	2417.99*	2213.53*	2415.7*	2203.09*	2471.46*	2553.12*	2158.39*	2455.59*	2821.0	2401.0	2310.44*	2354.0	2452.0	2234.0	2135.0	2373.08	2355.48	0.75
Cahaboncito	3546.45*	4303.31*	3554.95*	4341.97*	3348.54*	3046.25*	4507.41*	3407.29*	3465.03*	3458.32*	3893.2	3894.3	2914.6	3121.6	4034.27*	3655.83	3455.9	5.78
Zona Vial 7	1834.52*	2173.0	1818.0*	2124.7	2003.0	2040.0	1735.0	1893.16	1799.92	1891.92*	2316.0	1063.0	2055.8*	1401.0	2121.6	1884.71	1893.3	0.45
San Juan	6303.71	6205.78*	4374.13*	5219.09	4323.81*	4452.65*	6335.54*	7496.0*	4446.3	4514.7	6022.9	5813.1	4926.5	4284.9	6643.76*	5424.05	5001.4	0.45
Sepamac	3173.17*	3141.32*	2545.51*	2820.36*	2844.0	3062.0	3336.0	4197.0	2637.8*	2720.16*	3254.0	2672.0	2145.0	2421.0	2483.0	2896.95	2934.88	1.29
Mocca	3773.5	4367.5	3900.0	3785.0	3250.0	3316.0	4914.5	4285.0	3750.0	3920.0	3927.7*	4081.99*	3670.62*	3820.2*	4308.59*	3938.04	3926.15	0.30
Los Alpes	3134.5	4085.0	3424.0	3250.0	3226.5	3136.0	4295.5	3817.0	3404.7	3746.0	3837.2*	3668.02*	3427.74*	3883.9*	3532.46*	3591.2	3381.42	0.27
Argentina	2948.0	3570.5	2761.1	3112.5	3655.0	2766.0	3709.0	3037.0	3156.5	3385.0	3365.5*	3451.0	2770.0	2859.5	3234.5	3185.27	3172.4	0.40
San Rafael											1990.85*	1867.51*	1584.1	1482.32*	1607.01*	1707.27	1696.5	0.63
Chilascó	1610.0	1919.9	1475.2	1739.9	1407.8	1492.0	1811.4	1726.3	1928.3	1967.3								

Forma Y = CX

Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Sasia	2911.5	3610.0	3285.0	3328.0	2954.0	3020.0	3674.0	3134.0	3695.5	3397.0	3474.0	3454.0	3663.0	3413.0	3905.56*	3394.4	3358.07	1.08
Saquijs	2387.62*	2859.02*	2393.6*	2883.05*	2265.29*	2077.32*	2985.94*	2301.83*	2821.0	2401.0	2635.95*	2453.0	2452.0	2234.0	2135.0	2485.71	2416.0	2.88
Cahaboncito	3541.19*	4239.02*	3549.03*	4274.6*	3358.71*	3080.0*	4427.2*	3412.9*	3194.77*	3459.9	3892.2	3894.3	2914.6	3121.6	3990.97*	3623.43	3455.93	4.85
Zona Vial 7	1899.84*	2173.0	1818.0	2124.7	2003.0	2040.0	1735.0	1805.12*	1971.4*	1805.16*	2316.0	106.30	1534.89*	1401.0	2121.6	1853.98	1879.5	1.35
San Juan	5637.5*	5590.86*	4718.6*	5120.98*	4694.63*	4691.26*	5652.65*	6205.32*	4446.3	4514.7	6022.9	5813.1	4926.5	4284.9	5799.4*	5207.97	5001.4	4.13
Sepamac	3134.89*	3108.96*	2623.91*	2847.67*	2844.0	3062.0	3336.0	4197.0	2637.82*	2720.16*	3254.0	2672.0	2145.0	2421.0	2483.0	2899.19	2934.80	1.22
Mocca	3773.5	4367.5	3900.0	3785.0	3250.0	3316.0	4914.5	4285.0	3750.0	3920.0	3922.3*	4104.23*	3619.2*	3776.03*	4371.39*	3936.98	3926.5	0.27
Los Alpes	3134.5	4085.0	3424.0	3250.0	3226.5	3136.0	4295.5	3817.6	3404.7	3746.0	3963.62*	3700.89*	3327.41*	4036.08*	3490.09*	3622.18	3581.42	1.13
Argentina	2948.0	3570.5	2761.1	3112.5	3633.0	2766.0	3709.0	3037.0	3156.5	3385.0	3459.2*	3451.0	2770.0	2859.5	3234.5	3191.52	3172.4	0.55
Chilascó	1610.0	1919.9	1475.2	1739.9	1407.8	1492.0	1811.4	1726.3	1928.3	1967.3	2104.1*	1930.7*	1584.1	1389.4*	1564.5*	1710.06	1696.56	0.79

Continuación TABLA No. 6

FORMA DOBLES MASAS

PROCESAMIENTO DE REGISTROS DE LLUVIA

Nombre	60-61	61-62	63-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Saquijá	2380.0°	2790.0°	2130.0°	2720.0°	1980.0°	2140.0°	2660.0°	2158.3°	2821.7°	2401.0°	2127.0°	2453.0°	2452.0	2234.0	2135.0	2372.4	2416.0	1.82
Cahaboncito	3800.0°	4480.0°	3340.0°	4900.0°	3080.0°	3300.0°	4200.0°	3740.0°	4050.3°	3610.0°	3893.2	3894.3	2914.6	3121.6	3694.5°	3694.0	3455.9	6.89
Zona Vial 7	1186.3°	2173.0	1818.0	2124.7	2003.0	2040.0	1735.0	1770.0°	1780.0°	1764.0°	2316.0	1063.0	1610.0°	1401.0	2121.6	1793.7	1879.5	4.56
San Juan	5620.0°	5600.00°	4770.0°	5030.0°	4660.0°	4740.0°	5640.0°	6313.7°	4446.3	4514.7	6022.9	5813.1	4926.5	4284.5	5007.4°	5092.6	5001.4	1.82
Sepamac	2600.0°	3600.0°	3300.0°	2536.0°	2844.0	3062.0	3336.0	4197.0	3120.0°	3586.0°	3254.0	2672.0	2145.0	2421.0	2483.0	3010.4	2934.88	2.47
Mocca	3773.5	4367.5	3900.0	3785.0	3250.0	3316.0	4914.5	4285.0	3750.0	3920.0	3900.0°	4100.0°	3600.0°	3800.0°	4340.0°	3933.4	3926.5	0.19
Los Alpes	3134.5	4085.0	3424.0	3545.0	3226.5	3136.0	4295.5	3817.0	3404.7	3746.0	4125.8°	3730.0°	3330.0°	4000.0	3560.0°	3637.3	3581.42	3.29
Chilascó	1610.0	1919.9	1465.2	1739.9	1407.8	1492.0	1811.4	1726.3	1928.3	1967.3	1542.0°	1880.0°	1584.1	1155.9°	1660.0°	1660.0	1696.56	2.19

PROCESAMIENTO DE REGISTROS DE
TEMPERATURA MEDIA ANUAL
TABLA No. 7

FORMA Y = A / B x

Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Cobán PHC	18.71°	18.03°	17.84°	18.05°	17.70°	17.76°	17.70°	17.71°	18.09°	18.29°	17.88	17.93	18.57	17.82	18.07	18.01	18.07	0.31
Cabañas	30.42	30.15	30.12	27.62	30.71	31.0	30.57	30.87	31.19	31.67	30.97	31.01	30.23°	30.49	30.33	30.49	30.35	0.46
Saquiá	27.88°	28.13°	28.21°	28.21°	28.11°	28.13°	28.26	28.15	28.87	28.40	29.08	28.14	27.94°	27.0	28.41	28.19	28.29	0.34
Panzós	26.13°	25.93°	25.81°	25.97°	25.89°	25.81°	25.72°	25.70°	26.03°	25.96	25.46	26.1	26.35	25.60	25.29	25.848	25.79	0.22
Zona Vial 7	25.12°	21.41°	20.38°	21.40°	19.59°	19.89°	19.57°	19.63°	21.70°	20.80°	18.78	20.46	24.05	22.83	21.78	21.16	21.58	1.95
Mocca	21.03°	20.95°	21.04°	20.72°	20.81°	20.68°	21.04°	20.84°	20.73°	21.13	20.90	20.19	20.34	20.65	19.89	20.73	20.52	1.02
Esperanza	24.01°	23.55°	23.26°	34.75°	23.8	23.21	23.03	22.86	23.78	23.94	22.88°	23.02°	23.35°	23.16°	22.92°	23.36	23.45	0.36
San Rafael Chilascó	21.48°	18.29°	16.61°	20.97°	17.28°	19.12°	15.09°	16.10°	21.22°	23.24°	16.98	15.31	17.54	18.94	20.48	18.58	17.85	4.07

FORMA Y = CX

Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Cobán	19.89°	17.96°	17.42°	17.96°	17.02°	17.17°	17.00°	17.04°	18.11°	18.69°	17.88	17.93	18.57	18.13	18.72	17.91	18.07	0.88
Cabañas	30.42	30.15	30.12	27.62	30.71	31.0	30.57	30.87	31.19	31.67	30.97	31.01	31.59°	30.64°	31.23°	30.90	30.35	2.11
Saquiá	29.75°	28.84°	28.55°	28.55°	28.91°	28.84°	28.26	28.15	28.87	28.40	29.08	28.14	29.55°	27.0	28.41	28.62	28.29	1.17
Panzós PHC	26.51°	20.09°	25.82°	26.16°	26.0°	25.83°	25.64°	25.60°	26.31°	25.96	25.46	26.1	26.35	35.6	25.29	25.50	25.79	1.12
Zona Vial	23.79°	21.49°	20.85°	21.49°	20.36°	20.54°	20.35°	20.37°	21.67°	22.35°	18.78	20.46	24.05	22.83	21.78	21.16	21.58	1.94
Mocca	19.62°	19.75°	19.60°	20.15°	20.00°	20.22°	19.60°	19.95°	20.14°	21.13	20.90	20.19	20.34	20.65	19.89	20.73	20.52	1.02
Esperanza	23.92°	23.53°	23.40°	23.61°	23.8	23.29	23.03	22.86	23.78	23.94	27.99°	23.10°	23.37°	23.21°	23.00	23.35	23.45	0.44
San Rafael Chilascó	18.26°	17.91°	17.73°	18.20°	17.80°	18.00°	17.56°	17.67°	18.23°	18.45°	16.98	15.31	17.54	18.94	20.48	18.49	18.75	1.37

CONTINUACION DE LA TABLA No. 7

METODO DOBLES MASAS

PROCESAMIENTO DE REGISTROS DE TEMPERATURA

Estación	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Cobán PHC	18.0°	18.5°	18.3°	18.2°	18.0°	19.0°	18.0°	17.8°	19.0°	19.12	17.88	17.93	18.57	18.13	17.82	18.28	18.07	1.18
Cabañas	30.42	30.15	30.12	27.62	30.71	31.0	30.57	30.87	31.19	31.67	30.97	31.01	27.7°	31.0°	30.35°	30.22	30.35	0.44
Saquiñá	28.08°	28.0°	27.0°	25.4°	28.6°	25.04°	28.26	28.15	28.87	28.4	29.08	28.14	27.73°	27.0	28.41	27.66	28.29	2.22
Panzós PHC	26.68°	25.32°	26.68°	25.8°	25.7°	25.5°	25.0°	24.94°	25.96°	25.96	25.46	26.1	26.35	25.6	25.29	25.73	25.79	0.13
Zona Vial 7	22.6°	22.4°	21.8°	21.8°	22.8°	22.5°	22.5°	22.0°	22.5°	25.7°	18.78	20.46	24.05	22.83	21.78	22.26	21.58	3.15
Mocca	20.0°	20.0°	20.0°	20.8°	20.2°	21.0°	19.8°	20.2°	22.07°	21.13	20.90	20.19	20.34	20.65	19.89	20.52	20.52	0.00
Esperanza	23.8°	23.7°	23.3°	23.4°	23.8	23.29	23.03	22.86	23.94	24.2°	24.2°	23.0°	23.0°	24.2°	23.4°	23.52	23.45	0.25
Ran. Rafael Chilascó	17.2°	17.2°	16.6°	17.0°	16.4°	15.7°	16.9°	17.0°	17.4°	17.0°	16.98	15.31	17.54	18.94	20.48	17.21	17.85	3.58

PROCESAMIENTO DE REGISTROS HIDROMETRICOS
TABLA No. 8
FORMA Y = A / BX

Nombre	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Panzós	44.904*	50.8088*	38.774*	49.021*	35.326*	38.422*	48.549*	42.533*	46.66*	28.9285	31.5547	45.172	47.551	57.3132	38.218*	42.91	42.104	1.93
Boca Nueva	10.1778*	10.4265*	15.0798*	12.933*	15.208*	14.880*	10.0969*	7.1486*	14.9465*	14.3576	11.647	11.7047	14.7816	13.389*	9.313*	12.41	13.1227	5.40
Telemán	48.6187*	41.5088*	48.5391*	41.147*	50.478*	53.317*	39.593*	49.926*	62.631*	58.63	44.1571	43.7377	48.0596	40.1828	38.779*	47.28	46.9534	0.70
Matucuy	42.2379*	45.909*	42.0586*	45.385*	44.025*	44.467*	41.1584*	42.874*	41.767*	42.861*	47.460*	34.089	40.1577	36.9618	45.352*	42.45	37.0695	14.51
Chilano	1.6223*	1.889*	1.507*	1.10	1.048	1.9392	2.0508	2.1242	2.0378	2.15	1.7093	1.467	2.0473	1.284	1.620*	1.43	1.35	5.92
Trece Aguas	3.647*	1.6406*	2.3146*	3.8462*	3.2334*	3.717*	2.559*	2.6413*	2.7273	2.0224	2.0929	2.588*	3.2672*	1.9777*	2.971*	2.45	2.28086	7.47

FORMA Y = CX

Nombre	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Completado X	Registrado X	Diferencia %
Panzón	44.824*	50.505*	38.926*	48.331*	42.543*	46.513*	28.9285*	31.5547*	45.1728*	47.551	31.5547	45.1728	47.551	57.3132	38.391*	42.9	42.104	1.89
Boca Nueva	14.4347*	14.315*	12.0818*	13.112*	12.021*	12.1777*	14.474*	15.8885*	12.146*	14.3576	11.647	11.7047	14.7816	12.893*	14.8493*	13.39	13.1227	2.05
Telemán	47.949*	43.894*	47.904*	43.686*	49.009*	50.629*	42.801*	48.695*	55.941*	58.63	44.1575	43.7377	48.0596	40.1822	42.337*	47.17	46.9534	0.47
Matucuy	48.662*	58.358*	48.824*	57.061*	53.793*	54.787*	46.595*	50.843*	48.102*	50.809*	62.199*	34.089	40.1577	136.9618	56.978*	48.66	37.0695	31.27
Chilano	1.604*	1.912*	1.469*	1.10	1.048	1.9392	2.0508	2.1242	2.0378	2.16	1.7093	1.467	2.0473	1.284	1.601*	1.429	1.35	5.86
Trece Aguas	1.8229*	2.467*	2.251*	1.7589*	1.9558*	1.8002*	2.1724*	2.146*	2.7273	2.0224	2.0929	2.1631*	1.9449*	2.354*	2.04*	2.114	2.28086	7.29

PROCESAMIENTO DE REGISTROS HIDROMETRICOS

Continuación TABLA No. 8

Método PROPORCIONALIDADES

SUB CUENCA	CAUDAL REGISTRADO	CAUDAL COMPLETADO 15 años.	% de DIF.
PANZOS	43.32	42.53	1.823
BOCA NUEVA	13.1227	12.784962	2.5738
TELEMAN	47.453	47.5785	0.2646
MATUCUY	43.796	35.009	20.06
CHILASCO	1.66	1.679	1.16
TRECE AGUAS	2.8669	3.071	7.13

TABLA No. 9
PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE LAS SUBCUENCAS EN mm.
METODO DE LA MEDIA ARITMETICA

CHILASCO	H. MATUCUY	H. CUCAUJA	H. TELEMAN	H. TRECE AGUAS	H. BOCA NUEVA	H. PANZOS			
estación	$\bar{P}$	estación	$\bar{P}$	estación	$\bar{P}$	est. P estación	$\bar{P}$	estación	$\bar{P}$
Chilascó	1707.326	Chilascó	1707.326	Argentina	3218.61	Chilascó	1707.326	S. Juan	5424.2
<u>$\bar{P} = 1707.326$</u>		<u>$\bar{P} = 1707.326$</u>		<u>$\bar{P} = 3218.61$</u>		Argentina	3218.61	Seamay	4029.17
				Los Alpes	3610.9	<u>$\bar{P} = 4726.78$</u>		Alpes	3610.9
				Mocca	3938.04			Mocca	3938.04
				Cabañas	2542.06			Cabañas	2542.06
				<u>$\bar{P} = 3003.39$</u>				Sn. Juan	5424.2
								Seamay	4029.17
								Saquijá	2379.69
								Constancia	2582.0
								<u>$\bar{P} = 3270.22$</u>	

TABLA No. 10
PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN mm.
METODO DE LOS POLIGONOS DE THIESSEN.

CHILASCO			H. MATUCUY			CUCANIA			H. TELEMÁN			H. TRECE AGUAS			BOCA NUEVA			PANZOS		
Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2	Estación	P	Area Km.2
Chilascó	1707.326	76.33	Chilascó	1707.326	470.73	Argentina	3218.61	66.75	Zona Vial 7	1884.12	29.225	Seamay	4029.17	6.00	San Juan	5424.2	34.95	Zona Vial 7	1884.12	29.225
	$\bar{P} = 1707.326$		Alpes	3610.9	64.375		$\bar{P} = 3218.61$		Argentina	3218.61	516.45		$\bar{P} = 4029.17$		Seamay	4029.17	112.73	Argentina	3218.61	316.49
			Cabañas	2542.06	213.55				Chilascó	1707.326	470.73				Constancia	2582.0	9.00	Chilascó	1707.326	470.73
			Constancia	2582.0	42.88				Alpes	3610.9	201.375				Saquijsá	2379.69	12.43	Alpes	3610.9	201.375
			Zona Vial 7	1884.12	2.0				Mocca	3938.04	35.2				$\bar{P} = 4119.22$		Mocca	3938.04	35.2	
			Argentina	3218.61	6.0				Cabañas	2542.06	289.05						Cabañas	2542.06	289.05	
			$\bar{P} = 2199.108$						Constancia	2582.0	289.05						San Juan	5424.2	86.2	
									$\bar{P} = 2501.8472$		99.13						Constancia	2582.02	309.355	
																	Seamay	4029.17	112.73	
																	Saquijsá	2379.69	2442.93	
																	Cahaboncito	3882.99	1.45	
																	$\bar{P} = 1450.99$			

TABLA No. 11
PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE CADA UNA DE LAS SUB CUENCAS EN mm.
METODO DE LAS ISOYETAS

CHILASCO	H. MATUCUY	H. CUCAUJA	H. TELEMAN	H. TRECE AGUAS	H. BOCA NUEVA	H. PANZOS
precipit. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	Precipit. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	precip. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	precip. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	precip. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	precip. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$	precip. $\frac{\text{área}}{\text{Km}^2}$
1500-200	1500-200		1500-200	4000-4500	3000-3500	1500-2000
1750 76.33	1750 465.08	3000 44.675	1750 465.08	4250 6.00	3250 27.325	1750 690.58
<u>$\bar{P} = 1750$</u>	2000-2500 2250 346.2	2500-3000 2750 22.245	2000-2500 2250 473.175	<u>$\bar{P} = 4250$</u>	3500-4000 3750 66.4	2000-2500 2250 580.175
	2500-3000 2750 57.05	<u>$\bar{P} = 2916.897$</u>	2500-3000 2750 226.295		4000-4500 4250 43.55	2500-3000 2750 284.52
	P 2015.049		3000-3500 3250 197.5		4500-5000 4750 18.0	3000-3500 3250 269.425
			3500-4000 3750 69.25		5000-5500 5250 14.05	3500-4000 3750 139.12
			4000-4500 4250 28.25		<u>$\bar{P} = 4028.68$</u>	4000-4500 4250 71.8
			4500-5000 4750 9.25			4500-5000 4250 27.25
			<u>$\bar{P} = 2428.1096$</u>			5000-5500 5250 14.05
						<u>$\bar{P} = 2504.6799$</u>

TABLA No. 12
DETERMINACION DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE CADA UNA DE LAS SUB CUENCAS
EN GRADOS CENTIGRADOS POR EL METODO DE LAS ISOTERMAS

CHILASCO		H. MATUCUY		H. CUCAUJA		H. TELEGAN		H. TRECE AGUAS		H. BOCA NUEVA		H. PANZOS	
Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²	Temp.	área Km ²
18-19 18.5	76.33	18-19 18.5	298.73	21-22 21.5	14.05	18-19 18.5	379.655	22-23 22.5	6.00	20-21 20.5	2.5	18-19 18.5	379.655
$\bar{T} = 18.5$		19-20 19.5	84.025	22-23 22.5	27.65	19-20 19.5	137.725	$\bar{T} = 22.5$		21-22 21.5	8.875	19-20 19.5	137.725
		20-21 20.5	69.5	23 23	25.1	20-21 20.5	155.925			22-23 22.5	29.3	20-21 20.5	186.725
		21-22 21.5	78.55	$\bar{T} = 22.47$		21-22 21.5	149.205			23-24 23.5	38.25	21-22 21.5	212.18
		22-23 22.5	67.5			22-23 22.5	152.9			24-25 24.5	42.5	22-23 22.5	222.05
		23-24 23.5	79.25			23-24 23.5	129.6			25-26 25.5	25.805	23-24 23.5	219.225
		24-25 24.5	59.1			24-25 24.5	61.8			26-27 26.5	8.95	24-25 24.5	162.4
		25-26 25.5	47.2			25-26 25.5	56.375			27-28 27.5	2.225	25-26 25.5	134.65
		26-27 26.5	39.6			26-27 26.5	56.25			28-29 28.5	0.25	26-27 26.5	138.325
		27-28 27.5	14.9			27-28 27.5	37.05		$\bar{T} = 23.982$			27-28 27.5	82.45
		28-29 28.5	2.15			28-29 28.5	50.05					28-29 28.5	75.8
		$\bar{T} = 21.214$				29-30 29.5	54.9					29-30 29.5	54.9
						30-31 30.5	6.7					30-31 30.5	6.7
						$\bar{T} = 21.924$						$\bar{T} = 22.6435$	

TABLA No. 13

BALANCE HIDRICO POR EL METODO DEL DEFICIT DE ESCORRENTIA

SUB-CUENCA	PRECIPITACION mm/año.	CAUDALES mm/año.	$\bar{D}$ mm/año.
Chilascó	1750	705.15869	1044.8414
Matucuy	2015.049	1542.0735	472.9754
Cucauja	2916.897	2111.8537	805.0433
Telemán	2428.1096	988.20263	1439.907
Trece Aguas	4250.0	14455.694	-10205.694
Boca Nueva	4028.68	2311.0829	1717.6071
Pánzós	2504.6799	635.7565	1868.9234



TABLA No. 14
BALANCE HIDRICO POR EL METODO DE TURC

SUB-CUENCA	P mm/año	T m en C°	FACTOR L	DEFICIT PORTURC mm/año.	DEFICIT POR BA- LANCE mm/año.	% DE DI- FEREN- CIA
				(+)	(-)	
Chilascó	1750.00	18.5	1079.0812	931.4456	1044.8414	10.85
Matucuy	2015.049	21.2142	1307.845	1113.8971	472.9759	135.5
Cucauja	2916.897	22.477	1429.7114	1296.3986	805.0433	61.03
Telemán	2428.1096	21.92437	1375.5402	1214.4	1439.907	15.66
Trece Aguas	4250.0	22.5	1432.0312	1175.4	-10205.694	11381.094
Boca Nueva	4028.68	23.9425	1589.1725	1488.46	1717.6071	13.34
Panzós	2504.6799	22.6435	1446.4955	1268.6	1868.9234	32.12

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

- 1- En el presente trabajo todas las subcuencas manifestaron una condición de Déficit de Escorrentía con excepción de la subcuenca Trece Aguas. La causa principal es posible que se deba en buena parte a que en dicha subcuenca existen problemas de karstificación donde es muy difícil delimitar el área tributaria.
- 2- Debido a que no se tenía mayor información meteorológica se necesitó considerar las características morfométricas las cuales son una ayuda para el presente estudio. Los parámetros morfométricos determinados son altitud media y pendiente media en la subcuenca.
- 3- Al estudiar el cuadro de coeficientes de correlación lineal entre parámetros estudiados en todas las subcuencas se puede determinar que el Déficit de Escorrentía guarda el mayor coeficiente de correlación con la altura media que con cualquier otro parámetro, estos valores son para la forma lineal menos (-) 0.61 y para la forma logarítmica -0.51. Esta relación es inversa indicando que a mayor altura sobre el nivel del mar, se tiene menor Déficit de Escorrentía y viceversa.
- 4- La relación entre caudal medio y precipitación media da un coeficiente de correlación directo de 0.75 en la forma lineal y de 0.67 en la forma logarítmica.

ca. Esto indica que a mayor precipitación media, mayor caudal medio, lo cual se ajusta a la realidad.

- 5- La relación entre altura media y precipitación media da un coeficiente de correlación lineal de -0.9 y un coeficiente de correlación logarítmica de -0.86 indicando con esto una relación inversa es decir que a mayor precipitación menor altura media.

Esta relación es valedera más sin embargo por carecer de datos no se marca el cambio de sentido en la pendiente de la recta, a una altura determinada.

- 6- La relación precipitación media y temperatura media da un coeficiente de correlación lineal de 0.86 y de 0.89 en la forma logarítmica, indicando una relación directa, es decir que a mayor temperatura, mayor precipitación, lo cual es bastante contradictorio con respecto al tipo de precipitación orográfica existente en la cuenca, ya que según este principio la mayor precipitación se tendría en una temperatura templada, pues es la que se tiene a la mitad de la montaña. Esta condición anormal es debida posiblemente a que este tipo de precipitación no pudo haberse marcado debido a la carencia de información de registros meteorológicos en toda la ladera norte de la Sierra de las Minas, donde ocurre la mayor precipitación de tipo orográfico.

- 7- La relación pendiente media y altura media da un coeficiente de correlación de 0.18 el cual es bajo, indicando poca relación.

- 8- Al determinar el Déficit de Escorrentía en función de dos variables las cuales son una combinación de dos parámetros estudiados en cada subcuenca. Se determinó que el Déficit de Escorrentía en función de la altura media y del caudal medio era el que se ajustaba a un mayor coeficiente de correlación y con menor error estándar de estimación, - siendo para la forma lineal un coeficiente de correlación de 0.8915 y error estándar de estimación de 317.98 con la ecuación.

$$\bar{D} = 3934.5244 - 1.12875 \bar{H} - 0.5815 \bar{Q}$$

La fórmula logarítmica del Déficit en función de la $\bar{H}$ y del $\bar{Q}$ indica un coeficiente de correlación de 0.8592 y un error estándar de 0.1498 en logarítmicos y la ecuación es:

$$\log_{10} \bar{D} \text{ (mm)} = 9.453646 - 1.276853 \log \bar{H} - 0.75043 \log \bar{Q}.$$

RECOMENDACIONES

- 1- Para estudios posteriores de cualquier índole y a sea de irrigación o con fines hidroeléctricos, creo conveniente aumentar la red de estaciones, especialmente en la región norte de la Sierra de las Minas, donde casi no existe ninguna, aunque solamente se determinen parámetros de precipitación y temperatura.
- 2- La necesidad de riego en época de verano crea la necesidad de aumentar bases para futuros estudios; creo conveniente crear de 4 a 5 estaciones tipo A en puntos estratégicos de la cuenca.
- 3- Por la carencia de registros meteorológicos en la cuenca, para futuros estudios es conveniente de - auxiliarse de características morfométricas de la cuenca.
- 4- El presente estudio da una idea del comportamiento de las condiciones climáticas de la cuenca en estudio y de los cambios de energía del ciclo hidrológico, pero contando con mayor número de parámetros pudo ser más completo.
- 5- Quiero por medio del presente trabajo llamar la atención de Instituciones estatales para que se an estudiados proyectos de irrigación para riego suplementario, indicándose en forma severa que si existe Déficit de Escorrentía y que debido a la importancia que tiene la cuenca en mención a la economía nacional, vale la pena llevar a cabo un proyecto de irrigación.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

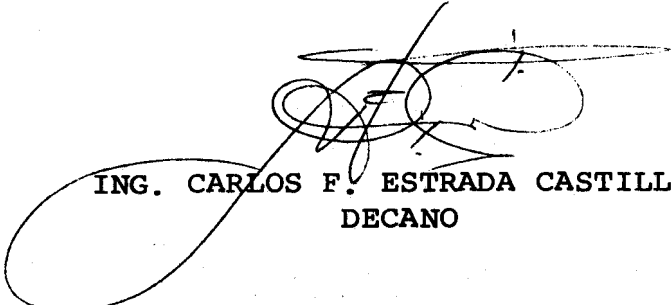
1. BUCARO, GUSTAVO ADOLFO. Determinación de evapotranspiración Potencial y Balance Hídrico en base a datos climatológicos en los distritos de riego San Jerónimo, Asunción Mita, Laguna del Hoyo, Catarina y La Eragua. Guatemala Universidad de San Carlos, Fac. de Agronomía, 1973. 36 p.
2. CANO GALLEGO, RODRIGO. Resumen de las conferencias dictadas en el curso de Post- Grado Fundamentos de Hidrología. Medellín, Colombia, Universidad Nac., Facultad de Minas, 1967. 'pag. irregular'
3. EAGLESON, PETER. Dinamic Hydrology. USA, McGraw-Hill, 1970. 460 p.
4. ESTRADA POLANCO, GODOFREDO. Balance Preliminar de aguas en la ciudad de Guatemala . Guatemala, Universidad de San Carlos, Fa- cultad de Ingeniería, 1973. 52 p.
5. GONZALEZ HERNANDEZ, OSCAR A. Estimación de requerimientos de Riego en Guatemala. Mé- xico, Escuela Nac. de Agricultura Chapingo, 1974. 101 p. (Tesis de Maestría en Cien- cias).
6. GUINEA, WALTER GERARDO. Estudio Integral de

Los Recursos de Agua de la Cuenca del Río

Polochic. Guatemala, Universidad de San Carlos, Fac. de Ingeniería, 1975. 120 p.
(Tesis Ing. Civil).

7. LINSLEY, RAY, KOHLER, MAX A. y PALHUS, JOSEPH L.H. Hidrología para Ingenieros. Trad. por: Miguel Fe Serra y Francisco Domínguez Aparicio. New York, Mc Graw-Hill, 1967. 350 p.
- 8- LOPEZ CHOC, FERNANDO. Estudio Hidrológico - de la Cuenca del Río María Linda. Guatemala, Universidad de San Carlos, Fac. de Ingeniería, 1972. 64 p. (Tesis Ing. Civil).
9. MATALAS, NICHOLAS y JACOBS, BARBARA. A correlation procedure for Angmenting Hydrologic Data. Washington, Department of the Interior, 1964. 's.p.' Mimeografiado.
- 10- MINERA BARILLAS, ARTURO. Comparación de Métodos para pronosticar evapotranspiración en Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Fac. de Agronomía, 1974. 88 p. (Tesis Ing. Agr.).
- 11- NEIRA, HERNANDO y ARTEAGA, ORLANDINO. Estudio Hidrológico del Río Cahabón. Guatemala, Instituto Nac. de Electrificación, Unidad de Estudios Básicos, 1974. 65 p.
- 12- SPIEGEL, MURRAY R. Teoría y problemas de Estadística. Trad. por: José Luis Gómez Espadas. México, Mc Graw-Hill, 1974. 357 p.

IMPRIMASE:


ING. CARLOS F. ESTRADA CASTILLO
DECANO



RECEIVED
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECEIVED
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA