

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA
HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II; APLICANDO EL MÉTODO DE SIMILITUD
DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PRÓPOSITO DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería

Por

José Gehovanni Marcucci Ruano

y

Miguel Antonio Ruiz Marchena

Al conferirseles el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Abril de 1,999

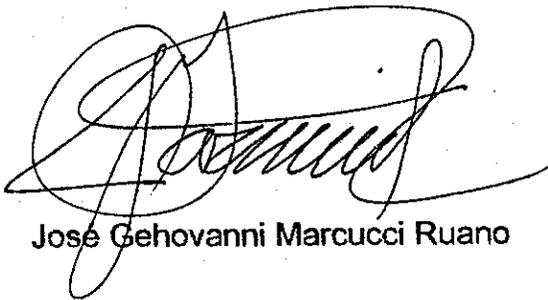


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentamos a su consideración nuestro trabajo de tesis titulado:

“CONSIDERACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II; APLICANDO EL MÉTODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PRÓPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA”

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 8 de julio de 1998.



José Gehovanni Marcucci Ruano



Miguel Antonio Ruiz Marchena

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1°	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2°	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3°	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4°	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL 5°	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO A:

Miguel Antonio Ruiz Marchena

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
EXAMINADOR	Ing. César Armando Ramírez Godínez
EXAMINADOR	Ing. Gabriel de Jesús Ramírez Saravia
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1°	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2°	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3°	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4°	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL 5°	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO A:

José Gehovanni Marcucci Ruano

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Víctor Gabriel Ortiz Murga
EXAMINADOR	Ing. René González Carrera
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

Guatemala,
29 de enero de 1,999

Ingeniero
Carlos Humberto Rivera Pomés
Jefe del departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Respetable Ingeniero:

Me dirijo a usted para informarle que, después de revizar el trabajo de tesis titulado **CONSIDERACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II; APLICANDO EL MÉTODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**, presentado por los estudiantes universitarios Miguel Antonio Ruiz Marchena y José Gehovanni Marcucci Ruano, considero que el trabajo se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple los propósitos que motivaron la selección de dicho tema. Por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Atentamente,


Ing. Arturo David Acajabón Mendoza
Asesor de tesis



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala 9 de Marzo de 1,999

Ingeniero
Sidney Alexander Samuels
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Señor Director:

Habiendo revisado el trabajo de tesis titulado: **"CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II; APLICANDO EL METODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA"**, de los estudiantes universitarios José Gehovanni Marcucci Ruano y Miguel Antonio Ruiz Marchena manifiesto a usted que dicho trabajo de tesis ha llenado los requisitos del programa dentro del cual se efectuó y, por la importancia en la transformación de los estudios de la facultad de ingeniería, como un aporte a la rama de Hidrología, la doy por aprobada.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted

Atentamente,

Dr. Ing. Carlos Humberto Rivera Pomés
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Arturo David Arajabán Mendoza y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Carlos Humberto Rivera Pomés, del trabajo de tesis de los estudiantes José Gehovanni Marcucci Ruano y Miguel Antonio Ruiz Marchena, titulado CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO NOTAGUA HASTA LA ESTACION CONCUA II; APLICANDO EL METODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Ni



Guatemala, abril de 1, 1999



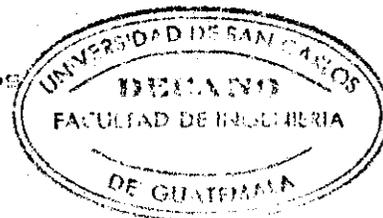
FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO NOTAGUA HASTA LA ESTACION CONCUA II; APLICANDO EL METODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, de los estudiantes José Gehovanni Marcucci Ruano y Miguel Antonio Ruiz Marchena, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert Fina Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, abril de 1, 1999

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS TODOPODEROSO

Por que el principio de la sabiduría es el temor a Dios.

Nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Arturo David Acajabón, por su colaboración en el asesoramiento y revisión de esta tesis, así como por la amistad brindada todo el tiempo.

Por este medio deseamos manifestar nuestro agradecimiento a todas las personas que directamente o indirectamente hicieron posible la realización del presente trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Expresamos nuestro agradecimiento especial al Ing. Marco Tulio Ventura Roldán(Q.E.P.D), por su constante estímulo y contribución docente al término del presente trabajo de tesis.

MIGUEL ANTONIO RUIZ MARCHENA
ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES: AMALIA MARCHENA DE RUIZ
MIGUEL ÁNGEL RUIZ SAZO

MI ABUELITA: ÁNGELA SAZO DE RUIZ

LA MEMORIA DE MIS ABUELOS:

JULIO RUIZ TORRES(+)

RAÚL MARCHENA ARCHILA(+)
LEONOR BARRIOS DE MARCHENA(+)

MIS HERMANOS

BARBARA PAOLA,
LEONARDO ISRAEL,
CLAUDIA ALEJANDRA

MIS TIOS:

Con mucho cariño y dedicación

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por su convivencia y camaradería

LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA

**JOSÉ GEHOVANNI MARCUCCI RUANO
ACTO QUE DEDICO A:**

MIS PADRES:

**AMANDA RUANO CEBALLOS
JOSÉ ESTANISLAO MARCUCCI**

MIS HERMANOS

Con mucho cariño y dedicación

MIS TIOS:

Con mucho cariño.

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por su convivencia y camaradería

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA**

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
TABLA DE GRÁFICAS	i
TABLA DE CUADROS	ii
INTRODUCCIÓN	iii
OBJETIVOS	iv
HIPÓTESIS	v
METODOLOGÍA	vi
GLOSARIO	vii

1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN "CONCUÁ II"	1
1.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	1
1.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	1
1.1.3 HIDROGRAFÍA	1
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACION "CHICHÉ"	3
1.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	3
1.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	3
1.2.3 HIDROGRAFÍA	3

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACION "EL TESORO"	5
1.3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	5
1.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	5
1.3.3 HIDROGRAFÍA	5
1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA SUBCUENCA "CHUARANCAJAY"	6
1.4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	6
1.4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	6
1.4.3 HIDROGRAFÍA	8
1.5 GEOMORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS	14
1.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES GEOLÓGICAS DE LA CUENCA	15
2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN	
2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE	17
2.2 REGISTRO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y METEOROLÓGICA	17
3 CLIMA	
3.1 PRECIPITACIÓN	19
3.1.1 PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	19
3.1.2 ANÁLISIS ESTOCÁSTICO DE LA PRECIPITACIÓN	21
3.1.3 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS POR EL MÉTODO DE DOBLE MASA	24
3.1.4 PRECIPITACIÓN MEDIA POR EL MÉTODO DE ISOYETAS	34
3.1.5 RESUMEN DE PRECIPITACIONES MEDIAS	34

3.2	EVAPORACIÓN	37
3.2.1	ANÁLISIS DE LA EVAPORACIÓN	37
3.2.2	ANÁLISIS DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS DE LA EVAPORACIÓN	37
3.2.3	DETERMINACION DE LA EVAPORACIÓN	40
3.2.4	EVAPOTRANSPIRACIÓN	42
4	ESTUDIO DE CAUDALES EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	
4.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS	45
4.2	DETERMINACIÓN DE CAUDALES MENSUALES	45
4.3	DETERMINACION DE CAUDALES MÍNIMOS	45
4.4	CURVAS DE DURACIÓN	46
5	TRANSPOSICIÓN AL SITIO CHUARANCAJAY	
5.1	MODELO PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA	56
5.1.1	CÁLCULO DE CAUDAL DIRECTO (Qd)	57
5.1.2	CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN	59
5.1.3	CÁLCULO DE LA INFILTACIÓN	60
5.1.4	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	60
5.1.5	CÁLCULO DE LOS CAMBIOS DE ALMACENAJE	61
5.2	TRANSPOSICIÓN DEL MODELO AL SITIO CHUARANCAJAY	71
5.2.1	GEOMORFOLOGÍA	71
5.2.2	EVAPORACIÓN	71
5.2.3	CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN	72

5.3	MODELO DE SIMULACIÓN	73
6	SEDIMENTOS	
6.1	CURVAS DE CAUDAL LÍQUIDO-SÓLIDO	83
6.2	DETERMINACIÓN DELGASTO SÓLIDO	83
7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
8	USOS DEL AGUA	91
	CONCLUSIONES	ix
	RECOMENDACIONES	xi
	BIBLIOGRAFÍA	xii
	APÉNDICES	

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1.1: Perfil del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	2
Gráfica No. 1.2: Perfil del río Motagua hasta la estación Chiché.....	4
Gráfica No. 1.3: Perfil del río Pixcayá hasta la estación el Tesoro.....	7
Gráfica No. 1.4: Perfil del río Motagua hasta Chuarancajay.....	10
Gráfica No. 1.5: Curva Hipsométrica de la cuenca Chuarancajay.....	13
Gráfica No. 3.1: Análisis de doble masa est. Chiguila vrs. est. Palamá.....	27
Gráfica No. 3.2: Análisis de doble masa est. Chinique vrs. est. Sta. Lucía La Reforma.....	28
Gráfica No. 3.3: Análisis de doble masa est. Cubulco vrs. est. Concuá.....	29
Gráfica No. 3.4: Análisis de doble masa est. San Martín Jilotepeque vrs. est. Sta. Cruz Balanyá.....	30
Gráfica No. 3.5: Análisis de doble masa est. Alameda Icta vrs. est. La Suiza Contenta.....	31
Gráfica No. 3.6: Análisis de doble masa est. Rancho de Teja vrs. est. Cantón Xejejú.....	32
Gráfica No. 3.7: Análisis de doble masa est. Rancho de Teja vrs. est. Chaquijyá.....	33
Gráfica No. 4.1: Curva de duración de caudales de la estación Concuá II.....	51
Gráfica No. 4.2: Curva de duración de caudales de la estación Chiché.....	53
Gráfica No. 4.3: Curva de duración de caudales de la estación El Tesoro.....	55
Gráfica No. 5.1: Curvas de recesión de caudales.....	63
Gráfica No. 5.2: Curva de duración de caudales hasta el sitio Chuarancajay.....	81
Gráfica No. 6.1: Curva de Calibración de Sedimentos estación Concuá.....	84
Gráfica No. 7.1: Hidrograma comparativo.....	88
Gráfica No. 7.2: Hidrograma del modelo de simulación del sitio Chuarancajay.....	89
Gráfica No. 7.3: comparación de las áreas.....	90

TABLA DE CUADROS

Cuadro No. 1.1: Factores Físicos del río Motagua hasta Chuarancajay.....	11
Cuadro No. 1.2: Rango hipsométrico y elevación media del río Motagua hasta Chuarancajay.....	12
Cuadro No. 2.1: Información de las estaciones Hidrometeorológicas y Meteorológicas del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	18
Cuadro No. 3.1: Resumen de Precipitaciones 1970-1997 de la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	20
Cuadro No. 3.2: Resumen de Precipitaciones generadas y reconstruidas 1970-2000 de la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	26
Cuadro No. 3.3: Resumen de Precipitaciones 1970-2000 de la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	35
Cuadro No. 3.4: Precipitación media de 30 años, cuenca alta del río Motagua...	36
Cuadro No. 3.5: Datos de temperatura promedio, humedad relativa y evaporación tanque de la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá II.....	39
Cuadro No. 3.6: Cálculo de la evaporación potencial método de Hargreaves.....	41
Cuadro No. 3.7: Cálculo de la evapotranspiración método de Thornwhite.....	43
Cuadro No. 4.1: Caudales mensuales de la estación Concuá II.....	50
Cuadro No. 4.2: Caudales mensuales de la estación Chiché.....	52
Cuadro No. 4.3: Caudales mensuales de la estación El Tesoro.....	54
Cuadro No. 5.1: Cálculo del modelo de simulación para la subcuenca No. 1.....	67
Cuadro No. 5.2: Cálculo del modelo de simulación para la subcuenca No. 2.....	68
Cuadro No. 5.3: Cálculo del modelo de simulación para la subcuenca No. 3.....	69
Cuadro No. 5.4: Calibración de la cuenca de la estación Chiché.....	70
Cuadro No. 5.5: Modelo de simulación por año hidrológico de la cuenca del río Motagua hasta el sitio Chuarancajay.....	74
Cuadro No. 5.6: Caudales mensuales hasta el sitio Chuarancajay.....	80
Cuadro No. 6.1: Resumen mensual de sedimentos en arrastre de la cuenca del río Motagua hasta el sitio Chuarancajay.....	85

INTRODUCCIÓN

El diseño de proyectos relacionados con el recurso agua, que es uno de los principales en Guatemala, debe encausarse dentro de una política de estudios que lleven a una mejor comprensión y, por ende, a un mejor aprovechamiento racional del mismo a un largo plazo, el cual se tomará en cuenta para la solución de problemas inmediatos.

Dentro de este mismo estudio, se tienen inconvenientes tales como la falta de registros hidrológicos, como períodos de años, confiabilidad, y una red hidrométrica y pluviométrica que abarque en forma significativa y real el territorio nacional y sus recursos.

El presente trabajo de tesis, como lo indica su título, presenta información hidrológica de las respectivas cuencas, tanto de las ya estudiadas (Concuá II, Chiché y El Tesoro), donde se poseen registros como de la misma manera en que se aplicará el método de similitud de cuencas (Chuarancajay). El trabajo se plantea para dos objetivos importantes:

1. La generación sintética de registros pluviométricos y caudales para aumentar los años de registro con que se cuenta, usando la Hidrología Estocástica, aplicada en programas de simulación por computadora.
2. La estimación de caudales en el lugar donde el estudio se proyecta y se utilizan los registros sintéticos de regiones hidrológicamente semejantes y el desarrollo de un modelo precipitación-escorrentia.

Al cumplir con los dos objetivos anteriores, se logra conocer el potencial de la cuenca en estudio. Además, se actualizan los registros pluviométricos e hidrométricos, los cuales son importantes en el momento de toma de decisiones en proyectos de abastecimiento de agua, tanto en la forma inmediata como a largo plazo.

OBJETIVOS

GENERALES

1. Estudiar los parámetros hidrológicos de la cuenca del río Motagua, hasta la estación Concuá II.
2. Generar y reconstruir los registros de precipitación y caudales mensuales de la cuenca del río Motagua, hasta el sitio Chuarancajay. Tomando como base los registros obtenidos de las cuencas del río Motagua, hasta la estación Chiché; así como, hasta la estación Concuá II y el río Pixcayá, hasta la estación el Tesoro.
3. Utilizar el método de similitud de cuencas y la Hidrología Estocástica en un estudio básico real.

ESPECÍFICOS

1. Determinar el potencial del caudal, por medio del modelo precipitación-escorrentía en un punto de transposición (Chuarancajay), para abastecimiento de agua potable futuro.
2. Actualizar el estudio del ciclo hidrológico de la cuenca del río Motagua, hasta la estación Chiché.
3. Determinar los parámetros morfométricos necesarios para transferir la información de la cuenca del río Motagua, hasta Chuarancajay.
4. Determinar el régimen de la precipitación de las subcuencas del río Motagua, hasta la estación Concuá II, a través del método de Isoyetas, analizando las estaciones meteorológicas existentes.
5. Generar parámetros hidrometeorológicos en sitios donde no se conoce registro alguno, a través del programa de Simulación de Registros Mensuales (HEC-4), para los registros de precipitación y de un modelo precipitación-escorrentía, para los registros de caudal.
6. Estimar el balance hidrológico de la cuenca en estudio por medio del modelo precipitación-escorrentía.

HIPÓTESIS

La carencia de registros hidrológicos no debe ser una limitante para el desarrollo de un estudio básico de una cuenca, para determinar su potencial como recurso.

Es posible generar caudales en una cuenca donde no se encuentran estaciones de medición de aforos, a través del método precipitación-esorrentía, usando como base datos hidrológicos de cuencas vecinas de similares condiciones.

Es posible utilizar modelos de simulación de registros por computadora, para generar parámetros meteorológicos, llegando a un estudio hidrológico completo de la cuenca alta del río Motagua hasta la estación Concuá II y las subcuencas contenidas en la misma, presentadas en este trabajo.

METODOLOGÍA

Mediante la recolección de una cantidad de registros hidrológicos históricos realizados en las cuencas en estudio se obtienen los parámetros necesarios (precipitación y caudal) para el desarrollo de un estudio básico, determinando el potencial de dicha cuenca.

Partiendo de la ecuación del ciclo hidrológico, que requiere de un período bien determinado (30 años) y de un sistema hidrológico bien definido, realizar un análisis de cada una de las variables que intervienen (precipitación, evaporación, evapotranspiración e infiltración), para lograr la representación en la computadora de un sistema hidrológico por uno matemático precipitación-escorrentía, que pueda representar el comportamiento del sistema natural. Introduciendo una serie de funciones que representen cada paso del ciclo de escorrentía: precipitación, interceptación vegetal, infiltración, evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, recarga y escorrentía superficial.

GLOSARIO

AFORO: Acción de medir la cantidad de agua, que lleva una corriente, en una unidad de tiempo.

AGUAS ABAJO: Dirección en el sentido de la corriente.

AGUA SUPERFICIAL: Aguas sobre la superficie del suelo.

CAUDAL: Cantidad de agua de un río o de una fuente que pasa en un segundo, por un punto de su curso. Se mide en metros cúbicos o litros por segundo.

BALANCE HIDROLÓGICO: Es la manifestación del agua en sus distintas etapas: Iniciando con la evaporación del agua en los océanos, que luego es trasladada por las masas de aire en movimiento, que se enfrían y condensan, formando nubes, que con las condiciones favorables, el proceso de condensación aumenta lo suficiente para una precipitación. De la precipitación caída parte es interceptada por vegetación y otros objetos, que a su vez es evaporada en parte, a la atmósfera y el agua remanente es percolada hacia los depósitos subterráneos; otra parte corre en la superficie hacia las fuentes superficiales (ríos y lagos), que a su vez regresa a los océanos cerrando el ciclo.

CUENCA: Parte continua de la superficie de la tierra que está ocupada por un sistema de desagüe, cuyas aguas fluyen todas al mismo río, lago o mar. Consta de una corriente principal superficial junto con las corrientes superficiales tributarias, limitadas por su divisoria de aguas.

CURVA HIPSOMÉTRICA: Es la curva resultante entre el porcentaje del área por encima de varias elevaciones y la elevación de cada segmento de área, sobre el nivel del mar. Al estudiar cuencas hidrológicamente similares es un factor que influye en la distribución de la precipitación y la temperatura.

ESCORRENTÍA: Flujo de agua que escurre sobre la superficie de la tierra.

ESCORRENTÍA DIRECTA: La escorrentía que entra en los cauces de las corrientes poco después de haber llovido.

GASTO SÓLIDO: Cantidad de sedimento que pasa por un punto de observación. Se expresa en toneladas por día o kilogramos por segundo.

GRANULOMETRÍA: Clasificación según el tamaño del grano de los componentes minerales del suelo.

HIDROGRAMA: Representación gráfica del caudal con respecto al tiempo.

NÚMERO DE CURVA: Factor que relaciona las condiciones de la superficie en función de la vegetación y usos del suelo de una cuenca y la humedad antecedente en la zona.

PLUVIÓMETRO: Aparato utilizado para medir la cantidad de lluvia precipitada.

PUNTO DE TRANSPOSICIÓN: Es un lugar específico de un río donde se cierra una cuenca en estudio, caracterizado por no poseer ningún tipo de medición de caudales.

RECURSOS DE AGUA: Disponibilidad de agua en un país para ser utilizada en una forma racional.

SEDIMENTO: Depósito de origen detrítico (material de meteorización y fragmentos rocosos de cualquier tipo), químico u orgánico, resultado de la destrucción mecánica o de la alteración de las rocas. Material rocoso de aristas redondeadas, arrastrado por ríos y depositado en bancos de arena.

VERTIENTE: Pendiente, superficie inclinada de un relieve, que termina a menudo en un valle. Cada uno de los lados que pueden considerarse en un monte, cerro, Etc. y que van de la cima al pie. Para propósito del estudio de cuencas en Guatemala, vertiente es el conjunto de cuencas que derivan sus aguas tanto para el Océano Pacífico, Atlántico y el Golfo de México.

VOLUMEN DE ESCORRENTÍA: Volumen de agua que fluye a lo largo de la superficie del suelo durante y después de la precipitación.

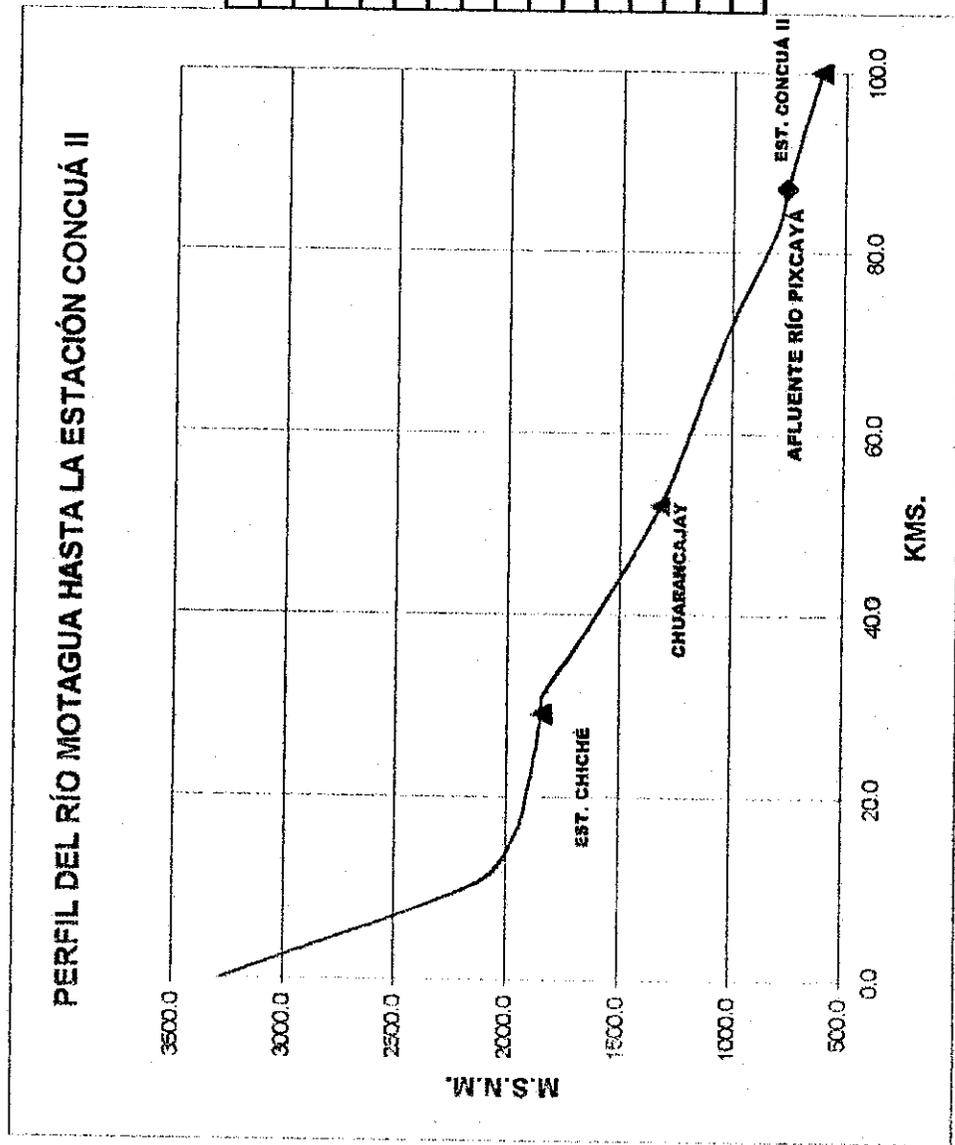
1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN "CONCUÁ II"

- 1.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA:** El río Motagua nace entre la línea que divide los departamentos de El Quiché y Totonicapán. La cuenca se localiza entre los meridianos 90° 30' 00" y 91° 15' 00" longitud oeste de Greenwich y los paralelos 14° 35' 00" y 15° 10' 00" latitud norte; o sea que es la parte alta de la cuenca del Río Motagua.
- 1.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL:** Dentro de su divisoria, se asientan importantes municipios y poblaciones tales como Santa Cruz del Quiché, Chichicastenango, Chinique, ubicadas al oeste de la cuenca; Zacualpa, al norte; Joyabaj, Comalapa, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango y San Juan Sacatepéquez, al este. Se puede acceder a la cuenca por la ruta nacional CA-15 al noroeste. La parte central de la cuenca, que posee una zona montañosa, con un difícil acceso y pobremente poblada, no cuenta con datos hidrológicos.
- 1.1.3 HIDROGRAFÍA:** La cuenca del río Motagua cuenta con un área planimetrada hasta la estación hidrométrica de Concuá II de 2,524.06 km². El río nace a una altura aproximada de 3,280 m.s.n.m., formando el río Sepelá hasta la estación Chiché, para luego recibir sucesivamente los afluentes de los Ríos Quisayá, Cocoyá, Agua Escondida, Cocol, Saltán y el Pixcayá, que forman así el Río Motagua (ver apéndice 1).

En la gráfica No. 1.1 se muestra el perfil del río Motagua.

GRÁFICA No.1.1



RIO MOTAGUA		
kms	msnm	observaciones
0.0	3280.0	
10.3	2144.0	
15.5	1968.0	
20.6	1908.0	
29.0	1846.8	EST. CHICHÉ
31.0	1840.0	
41.3	1567.0	
52.0	1320.0	CHUARANCAJAY
61.89	1160	
72.21	1000	
82.5	800.0	
87.0	760.0	RÍO PIXCAYA
93.0	692.0	
100.0	607.2	EST. CONCUÁ II

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN "CHICHÉ"

1.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA: Comprende la parte inicial del río Motagua, cuyo tramo es conocido como río Sepelá. Se encuentra ubicado en el departamento de El Quiché entre los meridianos 91° 00' 00" y 91° 20' 00" longitud oeste de Greenwich y los paralelos 14° 50' 00" y 15° 10' 00" latitud norte, o sea que es la parte occidental de la cuenca del Motagua.

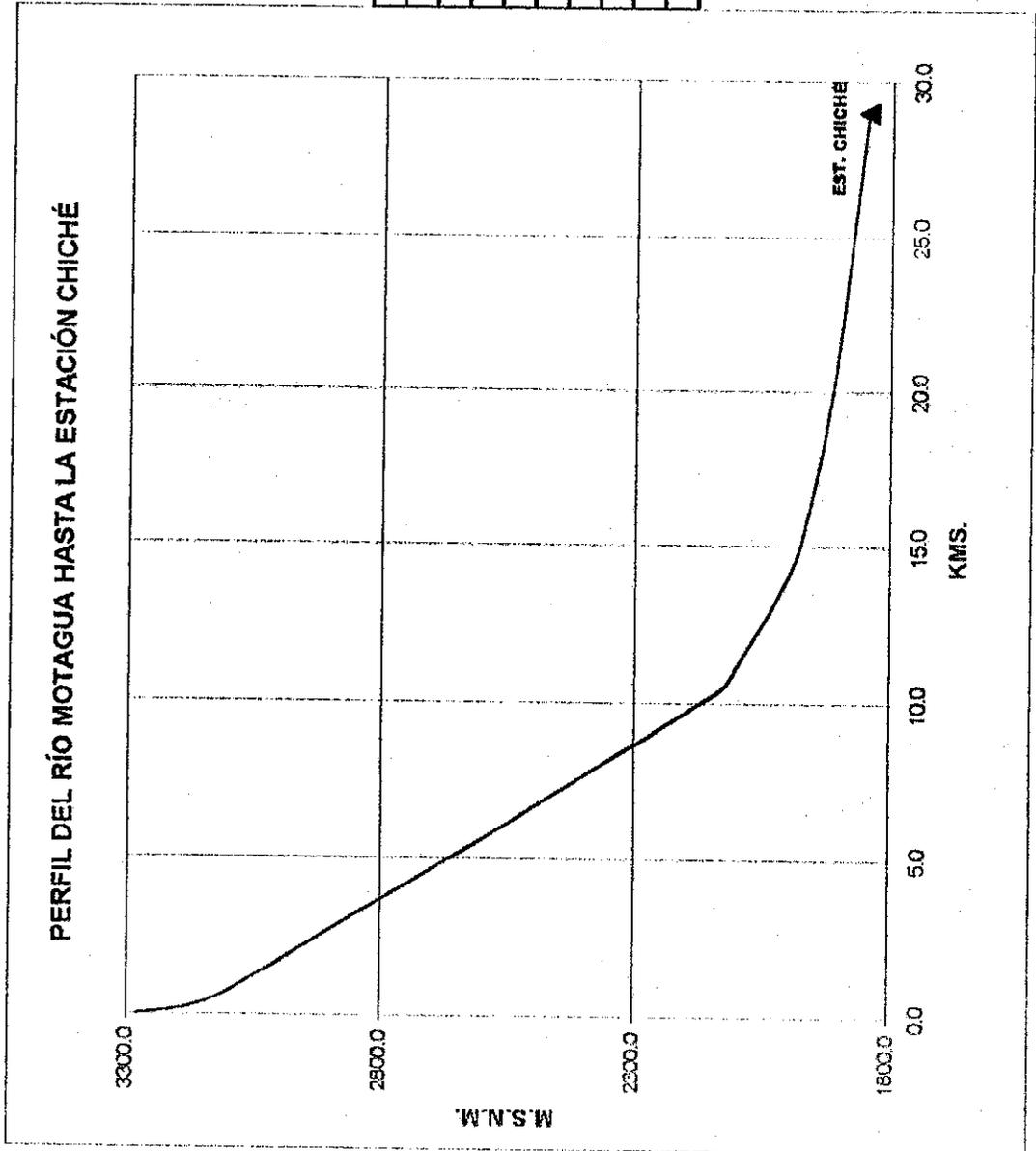
1.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL: Es una de las cuencas más densamente pobladas, en donde se encuentra ubicada la cabecera departamental de Santa Cruz del Quiché, Chichicastenango y la cabecera municipal de Chiché, así como muchas aldeas y caseríos de la región. Las poblaciones se comunican por vías de revestimiento sólido. Se llega por la Carretera Interamericana, entrando por la ruta nacional CA-15. La estación Chiché se localiza a un kilómetro aguas abajo del puente sobre el río Sepelá, en la carretera antigua entre Chichicastenango y Chiché.

La vegetación típica de la región está compuesta de pinos, encinos y maleza que ha sido, en gran parte, removida para dar paso a terrenos para la agricultura.

1.2.3 HIDROGRAFÍA: El área planimetrada de la cuenca hasta la estación hidrométrica de Chiché es de 208.18 km². El río Sepelá se forma de una serie de afluentes entre los cuales se encuentran los ríos Canohá, Los Encuentros, Xepatal, Tzaná y la longitud estimada del río es 29 km. El punto más alto de la cuenca es de 3,210 m.s.n.m. ubicado al sudoeste y su punto más bajo es la estación Chiché con 1,876.48 m.s.n.m. Su altura media se calcula en aproximadamente 2,451.97 m.s.n.m y su drenaje principal se encuentra en la dirección oeste a este.

En la gráfica No. 1.2 se muestra el perfil del río Sepelá.

GRÁFICA No.1.2



RÍO SEPELA		
kms	msnm	observaciones
0.0	3280.0	Inicio de río
0.8	3100.0	
10.3	2144.0	
11.2	2100.0	
14.0	2000.0	
15.5	1968.0	
20.6	1908.0	
29.0	1846.8	Est. Chiché

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN "EL TESORO"

1.3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA: La cuenca del Río Pixcayá hasta la Estación El Tesoro, ubicada en el departamento de Chimaltenango, se encuentra entre los meridianos 90° 51' 00" y 90° 59' 00" longitud oeste de Greenwich y los paralelos 14° 35' 00" y 14° 50' 00" latitud norte; es un drenaje principal del Río Motagua en su parte alta, la cual se considera como una subcuenca del sistema.

1.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL: Es una cuenca densamente poblada. Dentro de su divisoria de aguas, se encuentran las poblaciones económicamente activas de Zaragoza, Patzicía, Comalapa y Santa Cruz Balanyá. Se puede llegar a todas las poblaciones por la Carretera Interamericana. La cuenca tiende a ser montañosa en toda su área, con un clima frío, fresco y con sus estaciones bien definidas.

Entre su vegetación propia, predominan los pinos, cipreses y encinos. Gran parte de su vegetación original ha sido desmontada para dar paso a tierras para cultivo de frutas, caña de azúcar, frijol y, además, pastos para la ganadería.

1.3.3 HIDROGRAFÍA: El área planimetrada de la cuenca hasta la estación hidrométrica de El Tesoro es de 145.94 km². El Río Pixcayá nace a una altura de 2,400 m.s.n.m., en la parte norte de la cuenca. Se forma de una serie de afluentes, los cuales se encuentran en las quebradas de Pupumay, Xelonox, San José y de los Ríos Pacorral, El Silán, Balanyá y Pancroj. La longitud estimada del río es de 18 Km en su ramal principal.

El punto más alto de la Cuenca El Tesoro es de 2,700 m.s.n.m., ubicado al sur de la cuenca y su punto más bajo es de 1,792.21 m.s.n.m. Su altura media se calcula en aproximadamente 2,109.60 m.s.n.m y varía de la parte norte-noreste a sur-sudoeste.

El río es actualmente explotado para el abastecimiento de agua por medio del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. Es importante mencionar que como diseño del acueducto, su caudal recibe aporte del Río Xayá y sirve como canal natural el Río Balanyá.

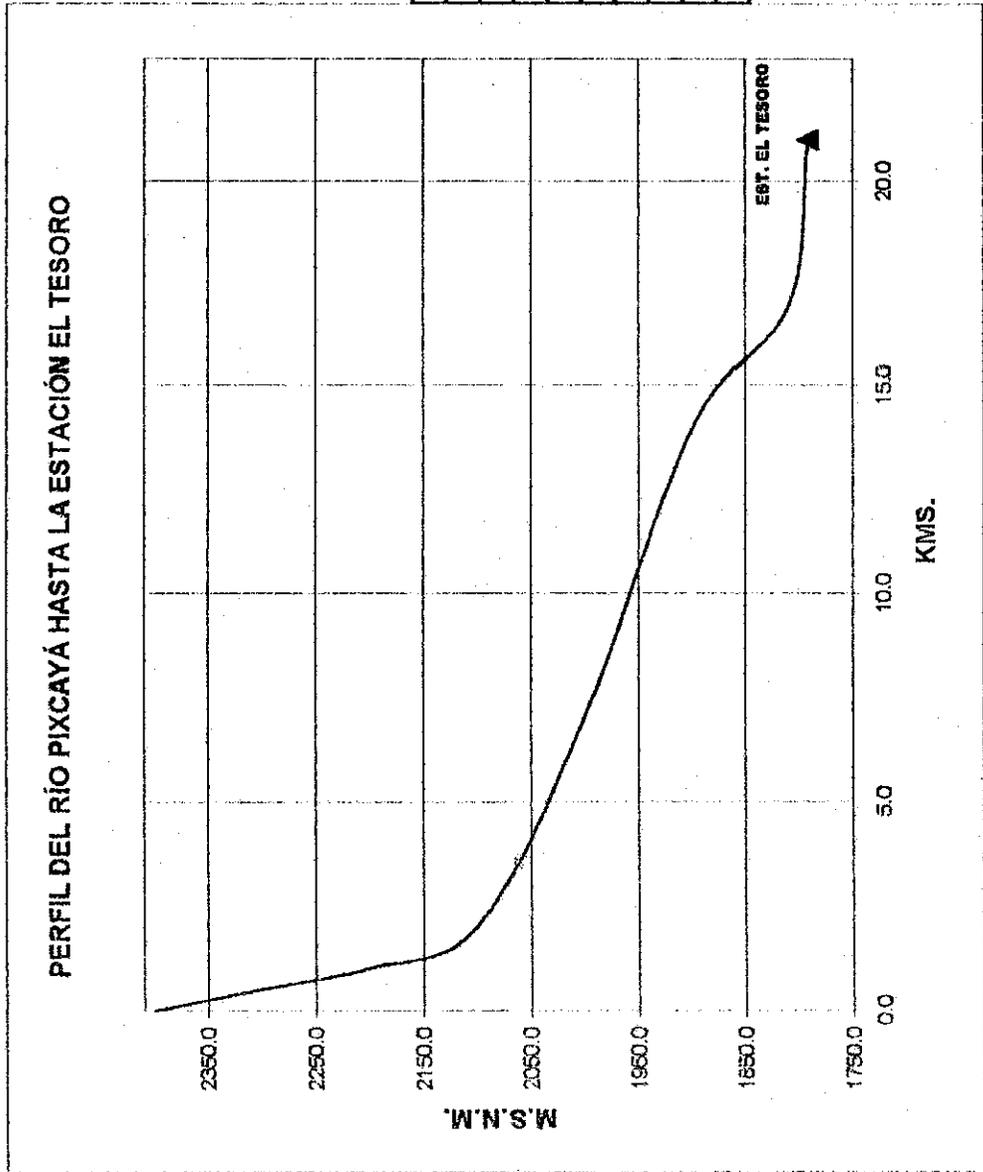
En la gráfica No. 1.3 se muestra el perfil del río Pixcayá.

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA SUBCUENCA "CHUARANCAJAY"

1.4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA: La cuenca del Río Motagua hasta el sitio Chuarancay, que abarca parte de los departamentos de El Quiché y Chimaltenango, se encuentra entre los meridianos $91^{\circ} 15' 00''$ y $90^{\circ} 55' 00''$ longitud oeste de Greenwich y los paralelos $14^{\circ} 45' 00''$ y $15^{\circ} 10' 00''$ latitud norte.

1.4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL: El punto Chuarancay se encuentra en la zona central de la cuenca del Río Motagua. Es una región despoblada debido a su terreno extremadamente montañoso y tierras pobres para la agricultura, con un difícil acceso, ya que no posee caminos. En su parte occidental, se encuentran las poblaciones de Santa Cruz del Quiché, Chichicastenango y Chinique. En la parte sur, se entrelaza su divisoria de aguas con la Carretera Interamericana CA-1W.

GRÁFICA No.1.3



RIO PIXCAYA		observaciones
kms	mshmm	Inicio de rio
0.0	2400.0	
0.5	2300.0	
1.0	2200.0	
2.0	2100.0	
7.0	2000.0	
14.0	1900.0	
17.0	1810.0	
21.0	1792.2	Est. El Tesoro

El punto de estudio toma su nombre de una población cercana. Además, se pueden mencionar como comunidades cercanas a Chayanche y la Garrucia. Su forma, la cual es irregular, es parecida a una hoja de Maple. Su ancho máximo es de 37 Km y su longitud de 30 Km.

1.4.3 **HIDROGRAFÍA:** Es la continuación del Río Sepelá, que pasando de la estación hidrométrica de Chiché, toma el nombre de Río Grande o Río Motagua. En su recorrido hasta el sitio de estudio, recibe los afluentes de los Ríos Chucojom, Patacamá, Palamá y Agua Escondida. La longitud del ramal principal se estima en 52 Km y la longitud total de los cauces dentro de la cuenca se estima en 1,624 km. El área Planimetrada de la cuenca es de 559.9 Kms² y su perímetro es de 132 Km. Su punto de elevación máximo es de 3315 m.s.n.m., hasta los 1320 m.s.n.m. del sitio de estudio (ver apéndice 2).

- a) **EL FACTOR DE FORMA.** Es la relación entre la longitud de la cuenca y el ancho promedio del área drenada.

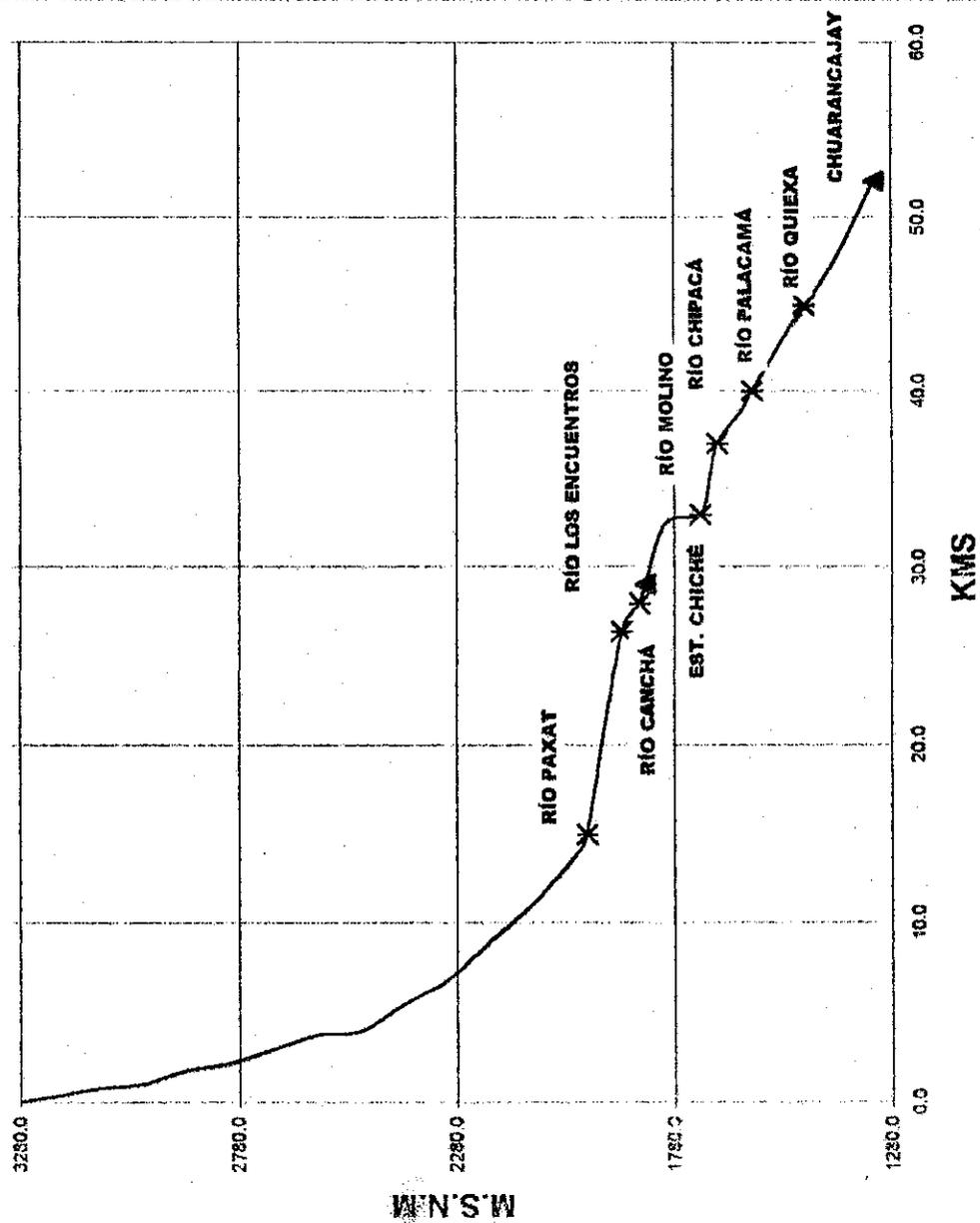
- b) **DENSIDAD DE DRENAJE.** Se calcula tomando la longitud de todos los cauces del río dividido entre el área de drenaje. Dentro de este valor, se conoce que valores altos, por lo general, reflejan suelos de fácil erosión y pendientes fuertes, además, una vegetación escasa. Por el contrario, una densidad baja refleja un área baja con una respuesta hidrológica lenta.

- c) **PENDIENTE DEL RÍO.** Es la relación de diferencias entre el punto más alto de elevación sobre la cuenca y la elevación del punto de estudio dividido entre la longitud del ramal principal del río.

NOTA: los cuadros Nos. 1.1 y 1.2, resumen los resultados obtenidos de la morfología y los rangos hipsométricos y en las gráficas Nos. 1.4 y 1.5, el perfil del río y la curva hipsométrica.

GRÁFICA No.1.4

PERFIL DEL RÍO MOTAGUA HASTA CHUARANCAJAY



CHUARANCAJAY		
kms	m.s.n.m	Observación
0.0	3280.0	Inicio de río
0.8	3100.0	
1.0	3000.0	
1.8	2900.0	
2.2	2800.0	
3.0	2700.0	
3.8	2600.0	
4.0	2500.0	
5.5	2400.0	
6.8	2300.0	
9.0	2200.0	
11.2	2100.0	
14.0	2000.0	
15.0	1980.0	Río Paxat
26.5	1900.0	Río Cancha
28.0	1860.0	Río Los Encuentros
29.0	1846.8	Est. Chiché
32.5	1800.0	
33.0	1720.0	Río Molino
35.0	1700.0	
37.0	1680.0	Río Chipacá
39.0	1620.0	Río Palacamá
40.0	1600.0	
45.0	1480.0	Río Quiexa
44.0	1500.0	
48.0	1400.0	
52.0	1320.0	Chuarancajay

**CUADRO No.1.1
 RESULTADOS DE LOS FACTORES FÍSICOS
 CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA CHUARANCAJAY**

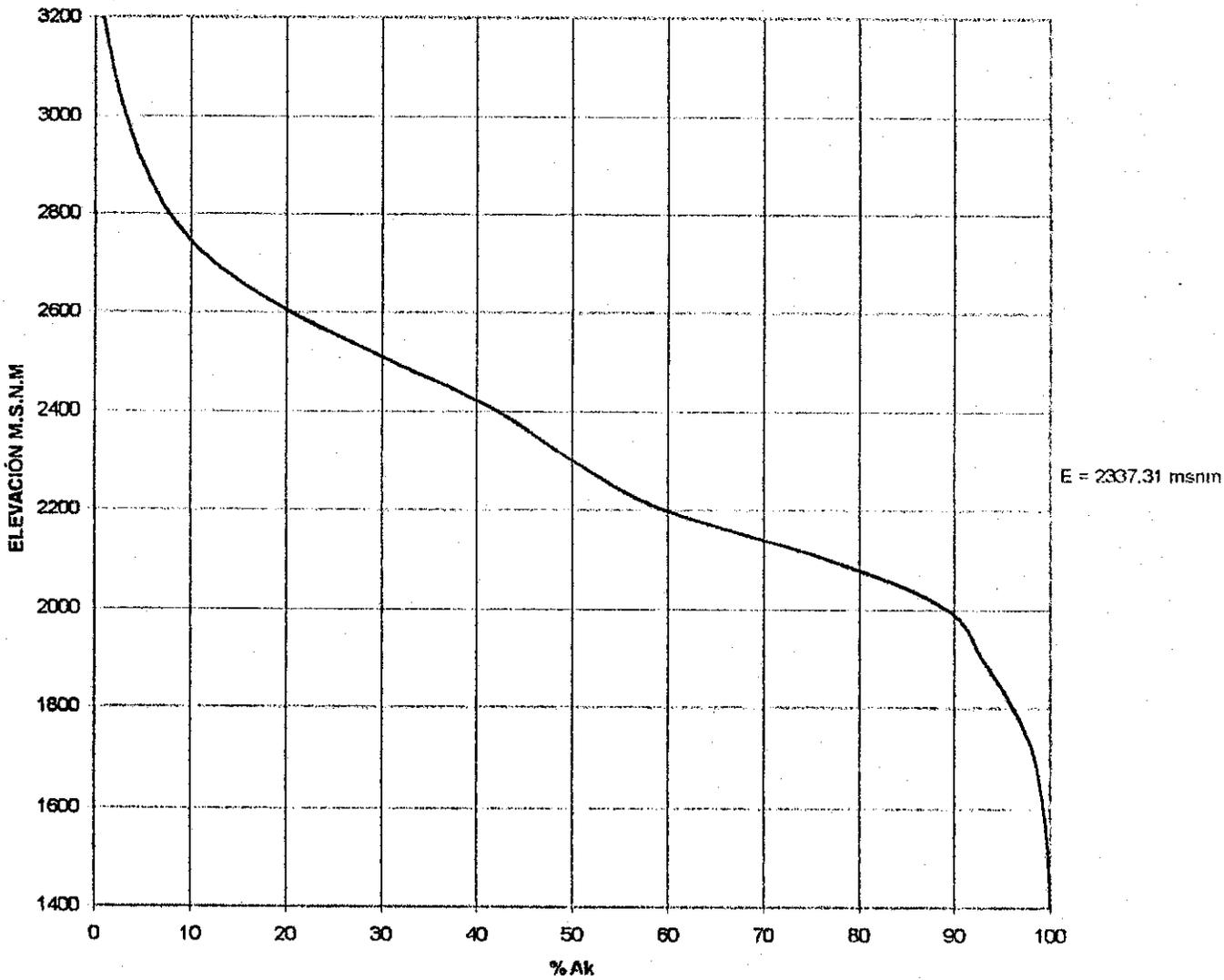
No.	PARAMETRO	RESULTADO	DIMENSIONES
1	LONGITUD DEL RIO	52	KMS.
2	DENSIDAD DE DRENAJE	2.9	1/METRO
3	AREA DE LA CUENCA	588.096	KMS.^2
4	PERIMETRO DE LA CUENCA	132	KMS.
5	FACTOR DE FORMA	4.59	ADIMENSIONAL
6	LONGITUD TOTAL DE LOS CAUCES	1624	KMS.
7	ELEVACION MAXIMA	3315	M.S.N.M.
8	PENDIENTE DEL RIO	38.4	MTS./KM.
9	FLUJO SUPERFICIAL	0.0003	MTS.
10	COEFICIENTE DE RELIEVE	0.0384	ADIMENSIONAL

CUADRO No.1.2
RANGOS HIPSOMÉTRICOS Y ELEVACIÓN MEDIA DE LA
CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA CHUARANCAJAY

RANGO	ÁREA(KMS²)	%	ELEV. MEDIA	ÁREA X ELEV. MEDIA
1400	1.536	0.26	1450	2227.2
1500	3.008	0.51	1550	4662.4
1600	5.184	0.88	1650	8553.6
1700	13.12	2.23	1750	22960
1800	18.496	3.15	1850	34217.6
1900	21.888	3.72	1950	42681.6
2000	72.832	12.38	2050	149305.6
2100	101.376	17.24	2150	217958.4
2200	54.656	9.29	2250	122976
2300	48.064	8.17	2350	112950.4
2400	65.344	11.11	2450	160092.8
2500	62.272	10.59	2550	158793.6
2600	47.168	8.02	2650	124995.2
2700	27.712	4.71	2750	76208
2800	15.424	2.62	2850	43958.4
2900	11.264	1.92	2950	33228.8
3000	7.872	1.34	3050	24009.6
3100	5.76	0.98	3150	18144
3200	5.12	0.87	3250	16640
TOTALES	588.096	100		1374563.2

ELEVACIÓN MEDIA 2337.31 m.s.n.m

GRÁFICA No. 1.5
CURVA HIPSONOMÉTRICA



1.5 GEOMORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS

La cuenca del río Motagua, se extiende en la parte central del país en dirección este-oeste, en forma casi paralela a la falla geológica del Motagua, formada principalmente por rocas metamórficas, ultrabásicas y sedimentos cretácicos.

La parte alta de la cuenca comienza en los límites que demarcan la Cordillera Centroamericana de la provincia volcánica. En el lado septentrional de la cuenca se presentan formaciones impermeables de rocas metamórficas paleozóicas (marcadas con el símbolo Pzm en el mapa geológico), en tanto que el lado sur contiene extensos afloramientos de lavas y tobas terciarias, con ocasionales incrustaciones de rocas plutónicas (marcadas con el símbolo I en el mapa geológico).

Los afloramientos terciarios comprenden todo un complejo eruptivo depositado en el terciario superior, conformado por coladas de lavas y tobas de varios grados de consolidación y diversa naturaleza litológica (marcadas con el símbolo Tv en el mapa geológico) que constituyen una gran cubierta, que posiblemente alcance cientos de metros hasta más de mil quinientos metros en las zonas rebajadas tectónicamente. Para las lavas y tobas consolidadas, se presenta generalmente una intensa fracturación, dando a todo el conjunto una elevada permeabilidad que permite una notable circulación del agua subterránea.

Además conforman la cuenca depresiones rellenas de depósitos piroclásticos sueltos o muy consolidados (marcados con el símbolo Qp en el mapa geológico), constituidos tanto por el flujo y la caída de ceniza, que se encuentran en todos los valles mayores de Santa Cruz del Quiché y parte del valle de Chimaltenango. Desde el punto de vista Hidrogeológico, se presenta un conjunto bien definido, limitado en su base generalmente por las rocas volcánicas terciarias y en la parte más septentrional del altiplano por rocas metamórficas.

Completando el paisaje geológico algunas afloraciones de carbonatos Karstificados (marcados con el símbolo Ksd en el mapa geológico) de las formaciones Cobán y Campur. La formación Subinal (marcada con el símbolo Ktsb) constituida por capas rojas de arenisca y limolitas de baja permeabilidad (ver apéndice 4).

1.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES GEOLÓGICAS DE LA CUENCA

"FORMACIÓN COBÁN Y CAMPUR (Ksd): Consiste en formaciones de calizas y dolomitas. Las rocas existen en bancos gruesos, capas delgadas y bien estratificadas. Generalmente, presentan un cierto grado de Karstificación (rocas permeables hasta altamente permeables) según el grado de Karstificación y fracturamiento.

FORMACIÓN SUBINAL (KTsb): Consiste en areniscas, limolitas y conglomerados en capas rojas. Su permeabilidad es bastante baja debido a su alto contenido de arcilla en su matriz y su buena consolidación.

ROCAS METAMÓRFICAS PALEOZOÍCAS (Pzm): Estos metasedimentos son altamente impermeables, así limitan la circulación del agua a lo largo de las fallas y fisuras abiertas.

ROCAS PLUTÓNICAS (I): Están formadas de granitos y dioritas. Por lo general, son impermeables.

ROCAS ULTRABÁSICAS (π): Están formadas, en su mayor parte, de serpentinitas. Aparecen en la superficie muy fisurada, pero debajo de la zona meteorizada son macizas, además, son impermeables.

ROCAS VOLCÁNICAS: Se describen a continuación:

LAVAS(Tv): Son el producto del magma líquido que se esparce sobre la superficie y es producto de una erupción volcánica. Se pueden dividir en tres grupos: Lava Basáltica, Lava Andesíticas y Lava Riolítica. Su permeabilidad depende de su fracturación y en las lavas basálticas, pueden presentar una alta permeabilidad.

LAS TEFRAS(Qp): Son partículas de rocas que son dispersadas al ser arrojadas al aire, pueden ocupar grandes áreas. Por naturaleza, son prácticamente impermeables.

LAHARES(Qp): Son una mezcla de rocas sedimentarias y volcánicas. Presentan una permeabilidad limitada.”¹

¹ Ing. Geologo Julio César Iriarte, Artículo tomado de la Tesis de graduación de ingeniero civil, “Consideraciones Hidrológicas de la cuenca del río Motagua hasta la estación concuá”, del Ing. Eduardo Cruz López.

2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la realización de este estudio de tesis, se contó con información actualizada y registros hidrometeorológicos de la década de los años setenta, así como con la información que a continuación se describe:

- a) Mapa Básico de la República a escala 1:250000 IGN.
Hojas ND 15-8 (Guatemala) y ND15-4 (Cobán).
- b) Mapa a escala 1:500000 IGN.
Hoja No. 2060 IV (Joyabaj).
- c) Mapa a escala 1:800000 IGN.
De la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá.
- d) Mapa Geológico de la República a escala 1:500000 IGN.
- e) Estudio morfométrico de la cuenca del río Motagua hasta la estación Concuá IGN.
- f) Información Hidrometeorológica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
- g) Bibliográfica técnica recabada en tesis y libros de texto, relacionados con el tema del estudio.

2.2 REGISTRO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y METEOROLÓGICA

La red de estaciones meteorológicas que se tomaron en cuenta para el estudio (cuadro No 2.1), tanto en el interior como en el exterior de la cuenca, la forman las estaciones de monitoreo normal del INSIVUMEH, en los departamentos de El Quiché, Baja Verapaz, Sololá, Chimaltenango y Guatemala. La red de estaciones hidrométricas, propiedad del INSIVUMEH, tienen un período de registro de 6 años para la Estación Concuá, 7 años para la Estación Concuá II, 11 años para la Estación Chiché y 9 años para la Estación El Tesoro.

CUADRO No. 2.1
INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS
CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUA II

CÓDIGO	ESTACIÓN	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	TIPO
20202	CUBULCO	CUBULCO EL PINO	15° 06' 32"	90° 36' 51"	994	B
20301	CONCUÁ	GRANADOS	14° 52' 10"	90° 34' 50"	607	D
30102	ALAMEDA ICTA	CHIMALTENANGO	14° 38' 02"	90° 48' 12"	1766	B
31101	SAN MARTIN JILOTEPEQUE	SAN MARTIN JILOTEPEQUE	14° 46' 43"	90° 47' 19"	1800	B
31401	SANTA CRUZ BALAINYÁ	SANTA CRUZ BALAINYÁ	14° 41' 12"	90° 54' 55"	2080	B
31506	ALDEA PALAMÁ	TECPÁN	14° 51' 30"	91° 00' 50"	2350	D
140101	SANTA CRUZ DEL QUICHÉ	SANTA CRUZ DEL QUICHÉ	15° 01' 25"	91° 09' 40"	2000	D
140502	CHINIQUE (PHC)	CHINIQUE	15° 02' 38"	91° 01' 28"	1880	B
141701	CHIGUILÁ (PHC)	CHICHICASTENANGO	14° 57' 10"	91° 06' 27"	2025	A
161101	LA SUIZA CONTENTA	SAN LUCAS SACATEPEQUEZ	14° 37' 01"	90° 39' 30"	2106	B
190102	CHAQUIJUYÁ	SOLOLÁ	14° 48' 32"	91° 11' 37"	2400	C
190502	CANTÓN XEJUYÚ	SAN ANDRES SEMETABAJ	14° 44' 25"	91° 07' 31"	2040	D
210103	RANCHO DE TEJA	RANCHO DE TEJA	14° 51' 46"	91° 16' 27"	2960	D
210701	SANTA LUCÍA LA REFORMA	SANTA LUCÍA LA REFORMA	15° 07' 57"	91° 14' 36"	1840	D

INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS
CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUA II

CÓDIGO	ESTACIÓN	RÍO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	TIPO
20301	CONCUA II	MOTAGUA	14° 52' 47"	90° 36' 20"	607.2	LIMNIGRÁFICA
30101	EL TESORO	PIXCAYÁ	14° 40' 47"	90° 51' 07"	1719.0	LIMNIGRÁFICA
141701	CHICHÉ	SEPELÁ	14° 59' 05"	91° 04' 45"	1846.8	LIMNIGRÁFICA
	CHUARCAMJAY	MOTAGUA	14° 56' 30"	90° 57' 10"	1320.0	

3 CLIMA

3.1 PRECIPITACIÓN

Son las aguas meteóricas que caen a la superficie de la tierra en forma líquida y sólida. Es el principal factor hidrológico para la elaboración del método aplicado a este trabajo. Esto es de suma importancia, ya que se tienen datos de registros de varios años con los cuales se pueden llegar a generar isoyetas de las cuencas estudiadas, pero también es importante mencionar la ventaja de poder generar registros de caudales donde no existen o donde son insuficientes.

3.1.1 PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para el análisis de las precipitaciones de la cuenca del Río Motagua y las subcuencas que la componen, se tomó como base el grupo de estaciones meteorológicas de la red operada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), tanto dentro como fuera de la cuenca. De este grupo, se hizo una evaluación tomando en cuenta que no existen muchos registros ni continuidad dentro de su operación así como algunas estaciones meteorológicas que han dejado de operar. Ante tales circunstancias, toda la información recabada es de importancia por lo que no fue posible desechar ninguna de las estaciones.

Para el siguiente análisis, se presentan las estaciones meteorológicas en el cuadro No 3.1 para un período común de registro disponible de 28 años.

CUADRO No. 3.1

RESUMEN DE PRECIPITACIONES 1970 - 1997
CUENCA DEL RIO MOTAGUA HASTA LA ESTACION CONCUA II

AÑO	CHINIQUE	CHRGUILA	RANCHO DE TEJA	SANTA LUCIA LA REFORMA	SANTA CRUZ BALANYA	SAN MARTÍN JILOTEPEQUE	CHAQUIJIYA	CANTÓN XEJUJÚ	ALDEA PALAMÁ	SUIZA CONTENTA	CUBULCO	ALAMEDA ICTA	CONCUA
1970	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1431.4	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1338.6
1971	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1466.4	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1021.2	1312.2
1972	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	724.3	838.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	569.4	772
1973	1583.8	-1.0	-1.0	-1.0	1145.2	1152.8	-1.0	-1.0	-1.0	1191.5	978.4	1234.1	1459.9
1974	1022.6	-1.0	-1.0	-1.0	897	987.5	-1.0	-1.0	-1.0	1472.4	1131.7	731.1	479.7
1975	1252.4	-1.0	-1.0	-1.0	761	1159.6	-1.0	-1.0	-1.0	1060.3	822.5	827.2	-1.0
1976	1257.5	-1.0	-1.0	-1.0	836.4	1150.9	-1.0	-1.0	-1.0	1100.3	578.6	853.8	-1.0
1977	1129.3	-1.0	970.1	609.9	794.5	1131.6	1019.3	783.3	1411.7	892.6	800.1	654.2	-1.0
1978	1342.6	1487.4	1493.5	781.9	1042.3	1236.5	1250.1	1141.8	1713	718.4	1017.9	1028.6	-1.0
1979	1822.5	1318.1	1624.5	1074	1042.3	1481.3	1431.5	1492.7	2370.1	1187.3	965.5	-1.0	-1.0
1980	1583.8	900.5	976.4	729.7	838.1	1190	820.4	782.7	1133.7	749	896.1	-1.0	-1.0
1981	2130.8	1718.7	1462.7	866.1	1216.5	1635.4	1467	1405	1994.5	862.4	1082.3	1156.5	-1.0
1982	1480.0	1128.1	1438.5	703.4	884.3	1036.2	918.1	1006	1721.8	1425.4	810.5	714.1	-1.0
1983	1467.2	1077.1	1523.5	948.7	789.1	1189.8	1185.8	972	1780.3	819.2	1079.3	950.4	-1.0
1984	1991.4	1999.1	1299.0	1071.1	960.9	1389.3	1272.1	934.3	1883.9	854.2	1192.3	917.1	-1.0
1985	1580.1	1527.8	1383.8	1035.3	1007.7	1293.9	1264.8	979.5	1719.3	987.4	854.4	997.8	-1.0
1986	1571.2	1333.3	1126.1	635.5	884.2	1396.6	772.5	856.9	1533	900	784.7	631.9	-1.0
1987	1829.8	1479.9	1269.3	783.3	1097.1	1122.7	1176.6	941.3	1973.6	918	1012.6	1145.4	-1.0
1988	1809.4	1531.0	1580.5	1304.2	1127.1	1212	1432.1	1261.7	-1.0	1449.7	927.9	1389.3	-1.0
1989	1968.1	1536.6	1284.1	1020.4	1050.4	1684	1047.5	893.5	-1.0	1401.2	1344.8	992.4	-1.0
1990	1755.5	1213.6	1130.4	857.5	1026.2	1544.3	929.2	1089.1	-1.0	1303.2	1059.2	701.8	-1.0
1991	1331.1	1131.2	884.6	696.8	765.1	1488.7	934.9	935.9	-1.0	784.6	856.1	892.1	-1.0
1992	1800.5	996.6	1022.3	917.4	684.1	1355.4	802.6	830	-1.0	1087.6	964.4	774.3	-1.0
1993	2258.5	1666.3	1160.0	1027.5	1116.8	1307.2	1492.7	1105.2	-1.0	1391	1005.3	886	-1.0
1994	1922.3	1102.7	818.3	-1.0	789.1	1176.3	996.2	967.5	-1.0	1092.5	864.3	896.6	-1.0
1995	1806.1	1672.4	-1.0	-1.0	-1.0	1617.2	-1.0	1367	-1.0	1411.6	988.9	1123.8	-1.0
1996	-1.0	1438.4	-1.0	-1.0	-1.0	1447.1	-1.0	-1.0	-1.0	1071.3	-1.0	-1.0	-1.0
1997	-1.0	1237.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
media	1646.3	1354.3	1247.1	886.0	939.1	1303.4	1123.0	1037.7	1749.5	1080.5	974.6	916.8	1072.5

-1.0 DATOS A SER GENERADOS O RECONSTRUIDOS

3.1.2 ANÁLISIS ESTOCÁSTICO DE LA PRECIPITACIÓN

Dentro de la hidrología la ciencia estocástica tiene el sentido de diseñar en la mejor forma posible sobre la probabilidad de eventos hidrológicos futuros, de tal manera que se pueda predecir un comportamiento, en este caso el de una cuenca bajo la serie representativa de evento hidrológicos futuros, que tendrán las mismas propiedades estocásticas del registro histórico en los que se basan. Para el estudio completo de la cuenca del río Motagua y como parte importante de la simulación de los caudales, se debe contar con un registro completo de precipitación para un período común de años entre sí, de las estaciones dentro y fuera de la cuenca.

En el análisis de las estaciones meteorológicas, las mismas se deberán clasificar de acuerdo a los registros propios que posean:

- a) Estaciones con registros completos: lo conforman estaciones con registros continuos de los años. Por lo general son estaciones tipo A y B, ubicadas en las cabeceras departamentales.
- b) Estaciones con registros incompletos: lo conforman estaciones con registros faltantes. Por lo general son estaciones de difícil acceso o con una lectura de operador deficiente, por lo cual las lecturas no son hechas diariamente. Al faltar los datos de registros diarios es imposible tener registros mensuales. Estas estaciones tienen la ventaja de poseer algunos años completos, que son base de regeneración de registros de la estación en un período determinado de tiempo.
- c) Estaciones con registros inconclusos: lo conforman estaciones que han sido clausuradas, pero que poseen datos suficientes para una generación futura de registros.

Sobre la base de las categorías en las estaciones y sus registros se estableció que la variable de la precipitación se manejará en forma mensual, por lo que se usará el programa de Simulación de Registros Mensuales (HEC-4). Este programa analiza el registro mensual de entrada de varias estaciones relacionadas, para determinar sus características estadísticas por medio de una distribución de Pearson III. Esta distribución se utiliza para el estudio de valores máximos, convirtiendo la serie de datos o transformando logarítmicamente (log natural) la variable.

Generando una sucesión de registros hipotéticos de cualquier longitud de tiempo que se desee. Reconstituirá registros perdidos basándose en registros coexistentes observados en otras situaciones y obtendrá cantidades máximas y mínimas por mes, para las duraciones especificadas por el usuario, reconstruyendo y generando registros.

PARÁMETROS DEL MODELO HEC-4

Rutina A

Título de las generaciones

Rutina B

Se utiliza para rellenar datos faltantes en las estaciones con los siguientes parámetros:

IYRA El año más antiguo de los registros de las estaciones

IMNTH El número del mes calendario del inicio de las lluvias

NYRG El número total de años que se van a generar

NSTA El número de estación que se van a generar en conjunto

Rutina C

Se utiliza en combinación con la rutina B, para generar registros futuros con los siguientes parámetros:

IYRPJ El año en que empieza la proyección al futuro

MTHPJ El número del mes calendario del inicio de las lluvias de la proyección

LYRPJ El año en que termina la proyección al futuro

La subrutina B se utiliza en combinación con las estaciones con registros completos y las estaciones incompletas para rellenar las mismas.

Las subrutinas B y C se utilizan en combinación para las estaciones con registros inconclusos, para generar datos de relleno.

Para las generaciones se utilizaron los parámetros para adaptar el modelo HEC-4 para los registros de las estaciones meteorológicas de las cuencas:

También se usará al modelo de la simulación generalizada para registros mensuales generados en situaciones basadas para estudios regionales. Hay muchas opciones para usar en varios propósitos relacionados, y puede usarse para otras variables como evaporación y usos del agua, solos o en combinación.

En el cuadro No. 3.2 se muestran los registros reconstruidos y generados de precipitación para un período común de 30 años.

3.1.3 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS POR EL MÉTODO DE DOBLE MASA

Para este análisis, las estaciones que se presentan en el cuadro No. 3.2. una vez utilizado el modelo HEC-4 los resultados del mismo son validados debido a que el modelo los homogeniza a través de la distribución Person III, que es parte del mismo modelo. Los que muestran los períodos de registros continuos durante 30 años.

Para determinar, dentro de los regímenes de precipitaciones, la consistencia de los registros de una estación, se recurre al análisis de las curvas de doble masa o llamadas también de doble acumulación.

El método consiste en hacer gráficas de las sumas acumuladas de valores de precipitaciones en un mismo período de tiempo para la estación base (con registros homogéneos) versus las estaciones satélites (las que se investigan). Para lo cual, se debe obtener una línea recta para concluir que las dos estaciones están bajo el mismo régimen. Si en determinado período la tendencia de la gráfica cambia de pendiente, se debe tener en cuenta algún error sistemático de medición o un cambio de ubicación del pluviómetro, ya que por deforestación, cambios de cultivos o construcción de obras hidráulicas se generan cambios extremadamente bruscos que afectan los registros. Por lo tanto, es necesaria la verificación de la consistencia de los datos de cada estación satélite y se desechan los registros inconsistentes, antes de proceder a verificar y ajustar las otras estaciones.

Para el análisis se agruparon las estaciones de la siguiente manera:

BASE	SATÉLITE
Chiguilá	Aldea Palamá
Chinique	Sta. Lucía la Reforma
Cubulco	Concuá
San Martín Jilotepeque	Sta. Cruz Balanyá
Alameda Icta	La Suiza Contenta
Rancho de Teja	Cantón Xejuyú
Rancho de Teja	Chaquijyá

Para formar las parejas se seleccionaron como estaciones base a las estaciones con un registro amplio y con menos datos generados. Las estaciones satélites se asociaron por su cercanía a las estaciones base. De lo anterior se determinó que las parejas poseen un régimen semejante, por lo que su corrección por el método de Doble Masa es aceptable, presentando el resultado del análisis del uso de dicho método en las siguientes gráficas.

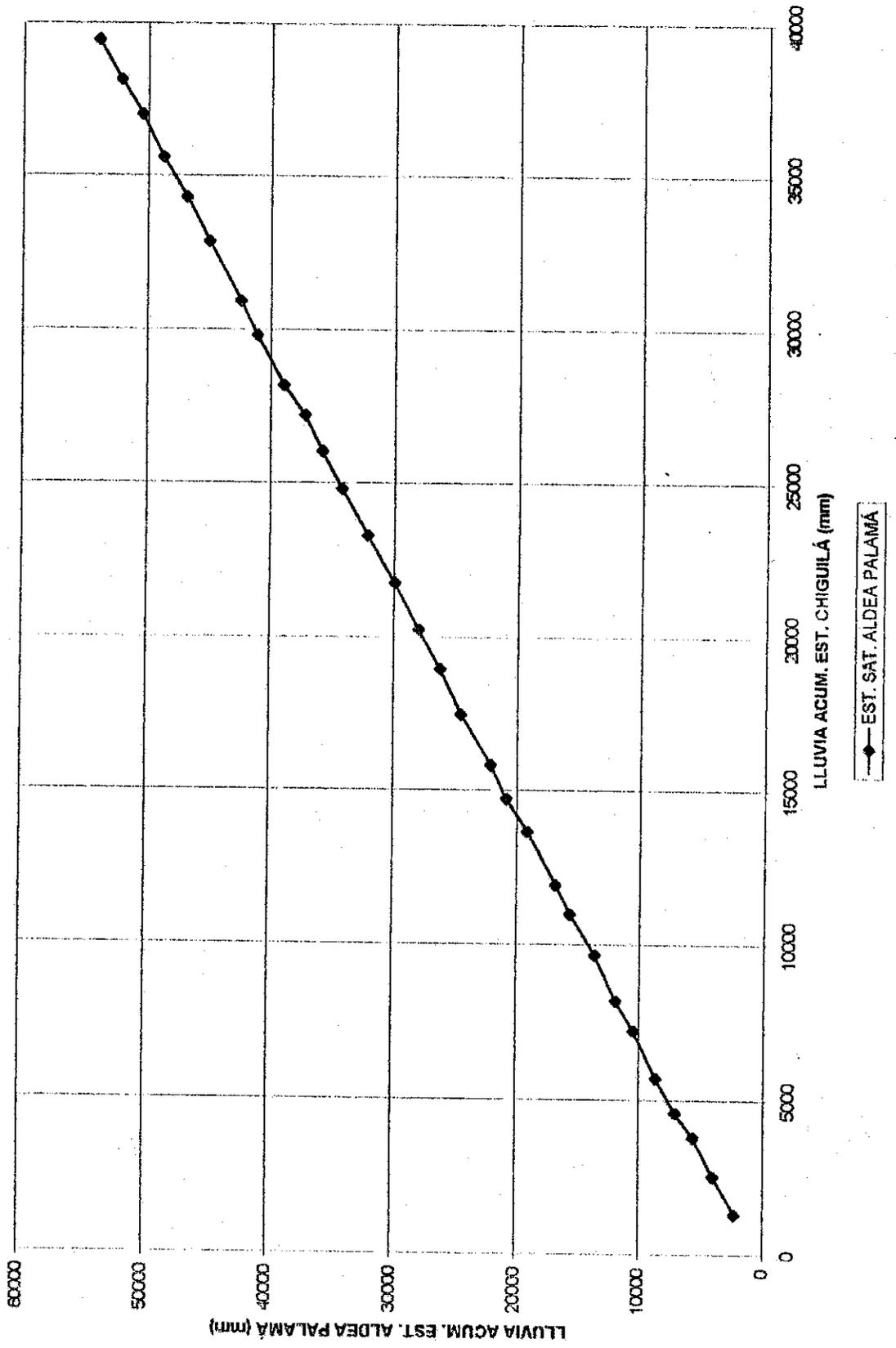
CUADRO No. 3.2

RESUMEN DE PRECIPITACIONES GENERADAS Y RECONSTRUIDAS 1970 - 2000
CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II

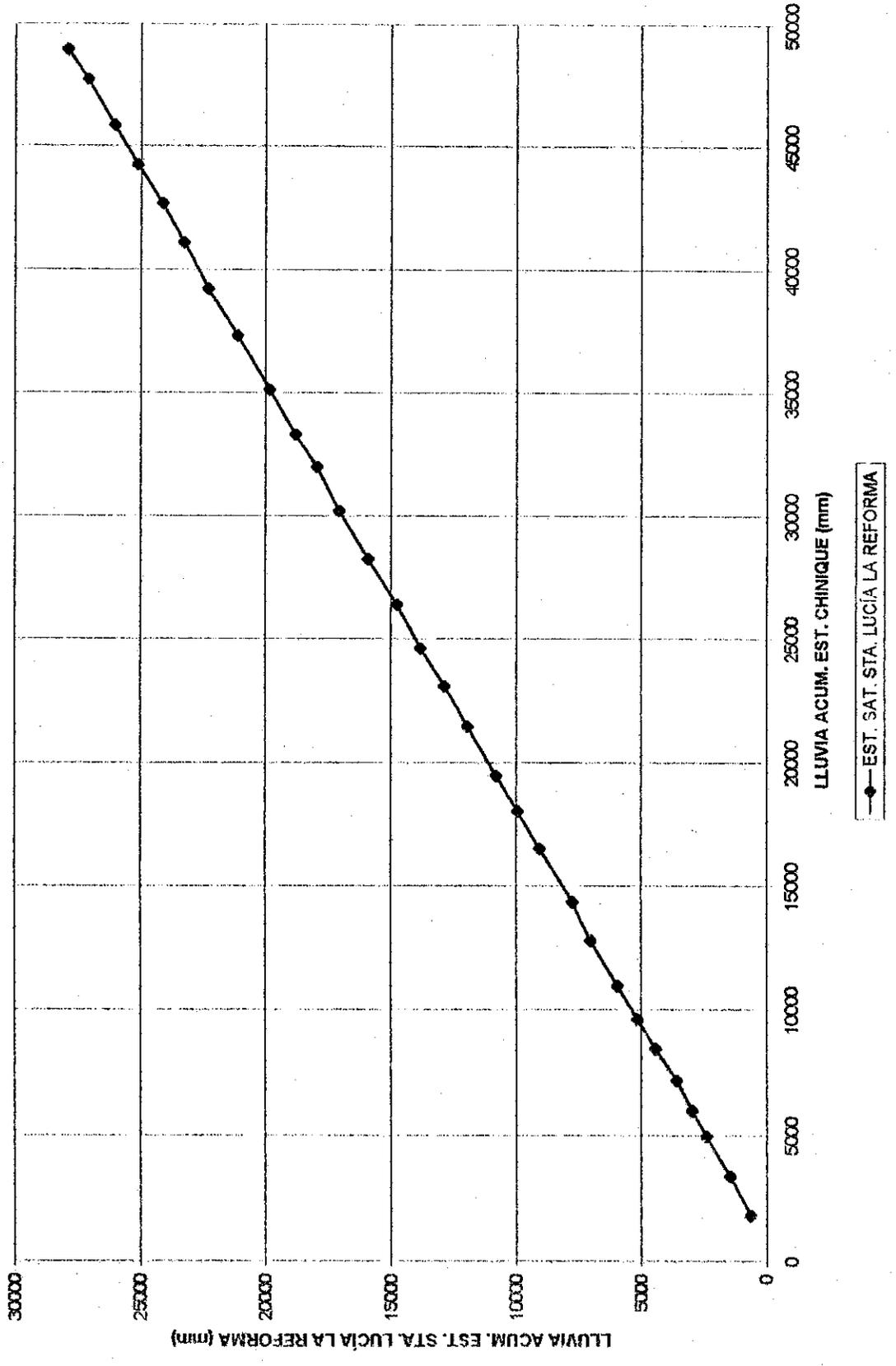
AÑO	CHINIQUE	CHIGUILA	RANCHO DE TEJA	SANTA LUCIA LA REFORMA	SANTA CRUZ BALANYÁ	SAN MARTÍN JILOTEPEQUE	CHAQUIJYA	CANTÓN XEJUVÚ	ALDEA PALAMÁ	SUIZA CONTENTA	CUBULCO	ALAMEDA ICTA	CONCUÁ
1970	1719.E	1518.E	1094.E	1073.E	1142.E	1431.4	875.E	1657.E	1944.E	1326.E	988.E	1120.E	1388.6
1971	1522.E	975.E	1562.E	622.E	911.E	1466.4	1255.E	1715.E	1728.E	1058.E	1114.E	1021.2	1312.2
1972	1522.E	1229.E	1270.E	681.E	724.3	836.8	1239.E	911.E	1742.E	637.E	1019.E	569.4	772
1973	1583.8	1282.E	1157.E	808.E	1145.2	1152.8	1094.E	1026.E	1622.E	1191.5	983.E	1234.1	1459.9
1974	1022.6	802.E	1600.E	593.E	897	987.5	928.E	1040.E	1442.E	1472.4	1131.7	731.1	479.7
1975	1252.4	1120.E	1074.E	867.E	761	1169.6	949.E	768.E	1566.E	1060.3	822.5	827.2	702.E
1976	1257.5	1480.E	1418.E	972.E	835.4	1150.9	1085.E	882.E	1866.E	1100.3	978.6	853.8	618.E
1977	1129.3	988	970.1	609.9	794.5	1131.6	1019.3	783.3	1411.7	892.6	800.1	654.2	688.E
1978	1342.6	1487.4	1463.5	781.9	1042.3	1236.5	1250.1	1141.8	1713	718.4	1017.9	1028.6	860.E
1979	1822.5	1318.1	1624.5	1074	1042.3	1481.3	1431.5	1462.7	2370.1	1187.3	965.5	1059.E	416.E
1980	1583.8	900.5	976.4	729.7	838.1	1190	820.4	782.7	1133.7	749	896.1	748.E	690.E
1981	2130.8	1718.7	1462.7	867.E	1216.5	1635.4	1467	1405	1994.5	823.E	1082.3	1156.5	1018.E
1982	1490.0	1128.1	1438.5	1671.E	984.3	1095.2	918.1	1006	1721.8	1425.4	810.5	988.E	425.E
1983	1467.2	1077.1	1523.5	948.7	789.1	1189.8	1185.8	972	1790.3	819.2	1079.3	950.4	982.E
1984	1991.4	1599.1	1299.0	1071.1	980.9	1389.3	1272.1	934.3	1883.9	854.2	1192.3	917.1	1702.E
1985	1530.1	1527.8	1383.8	1035.3	1007.7	1293.9	1264.8	979.5	1719.3	987.4	854.4	997.6	649.E
1986	1571.2	1333.3	1126.1	635.5	884.2	1366.6	772.5	856.9	1768.E	900	784.7	631.9	418.E
1987	1823.8	1479.9	1269.3	783.3	1097.1	1122.7	1176.6	941.3	1973.6	918	1012.6	1145.4	1966.E
1988	1809.4	1532.E	1590.5	1304.2	1127.1	1212	1492.1	1261.7	1805.E	1859.E	927.9	1389.3	1313.E
1989	1988.1	1536.6	1284.1	1026.E	1050.4	1694	1047.5	893.5	1938.E	1401.2	1344.8	992.4	1561.E
1990	1786.6	1213.6	1144.E	857.5	1026.2	1544.3	929.2	1069.1	1818.E	1303.2	1059.2	913.E	1237.E
1991	1361.1	1131.2	884.6	696.8	765.1	1488.7	1013.E	935.9	1720.E	857.E	856.1	892.1	684.E
1992	1800.6	996.6	1022.3	917.4	684.1	1355.4	910.E	830	1704.E	1087.6	964.4	774.3	602.E
1993	2199.E	1656.3	1361.E	1027.5	1135.E	1307.2	1492.7	1105.2	2160.E	1391	1005.3	886	1033.E
1994	1922.3	1102.7	1162.E	811	789.1	1176.3	996.2	967.6	2068.E	1092.5	864.3	896.6	653.E
1995	1806.1	1930.E	1418.E	2272	1124.E	1617.2	1496.E	1367	1979.E	1411.6	1405.E	1123.8	1109.E
1996	1566.E	1438.4	1167.E	871.E	1063.E	1447.1	1137.E	973.E	1675.E	1294.E	987.E	1211.E	508.E
1997	1578.E	1331.E	1197.E	1486.E	1004.E	1300.E	1106.E	1097.E	1910.E	1170.E	843.E	925.E	462.E
1998	1630.E	1350.E	1675.E	948.E	1067.E	1224.E	2001.E	3292.E	1709.E	966.E	1109.E	972.E	1374.E
1999	1816.E	1156.E	1554.E	548.E	825.E	1100.E	1217.E	1049.E	1704.E	874.E	1079.E	866.E	969.E
2000	1271.E	1322.E	1126.E	795.E	1041.E	1444.E	923.E	910.E	1800.E	1006.E	1018.E	1084.E	568.E
media	1612.7	1313.0	1289.3	972.2	931.0	1303.4	1154.7	1037.7	1771.2	1088.2	973.8	936.8	1072.5

E DATOS DE PRECIPITACIÓN GENERADOS

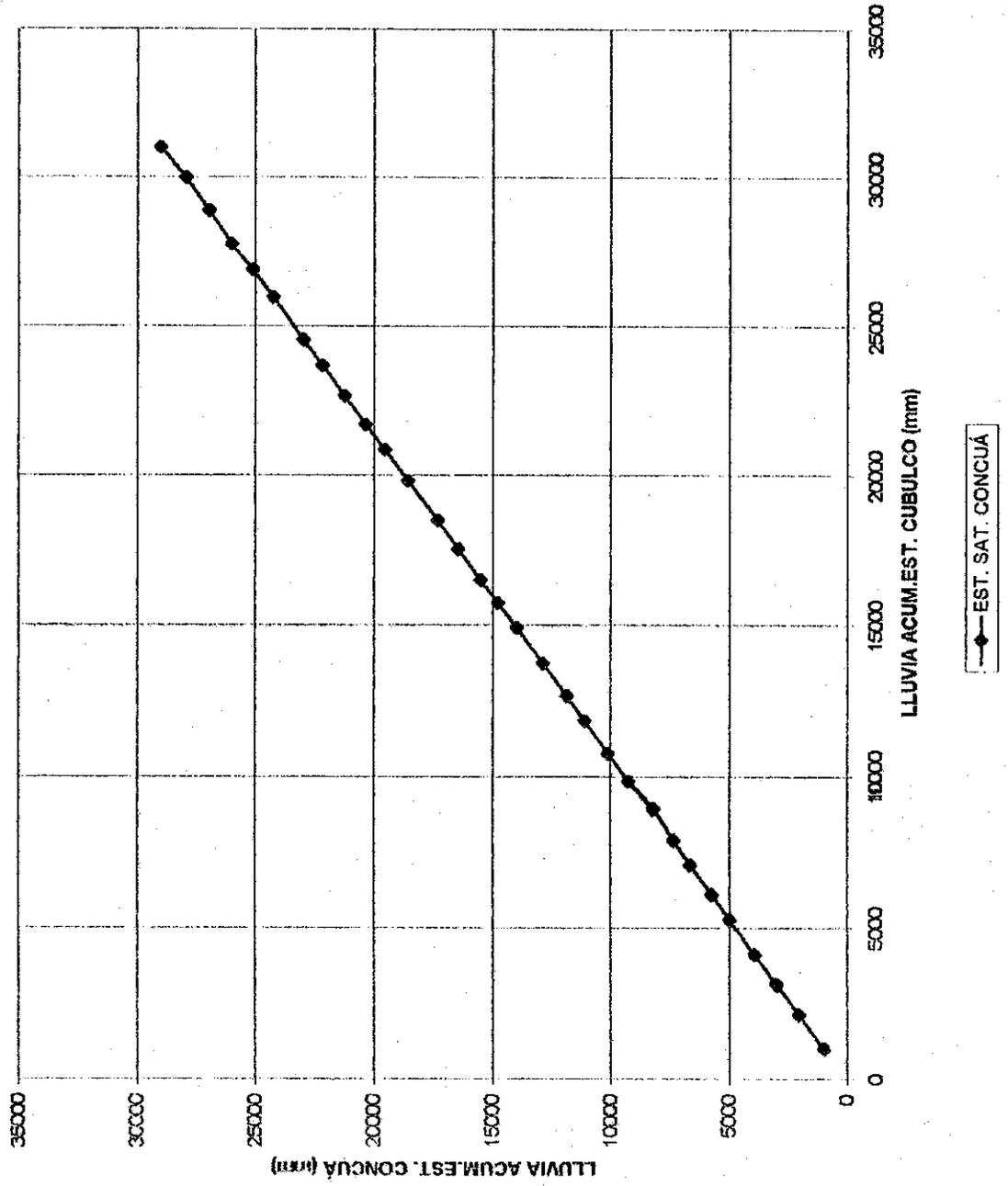
GRÁFICA No. 3.1
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



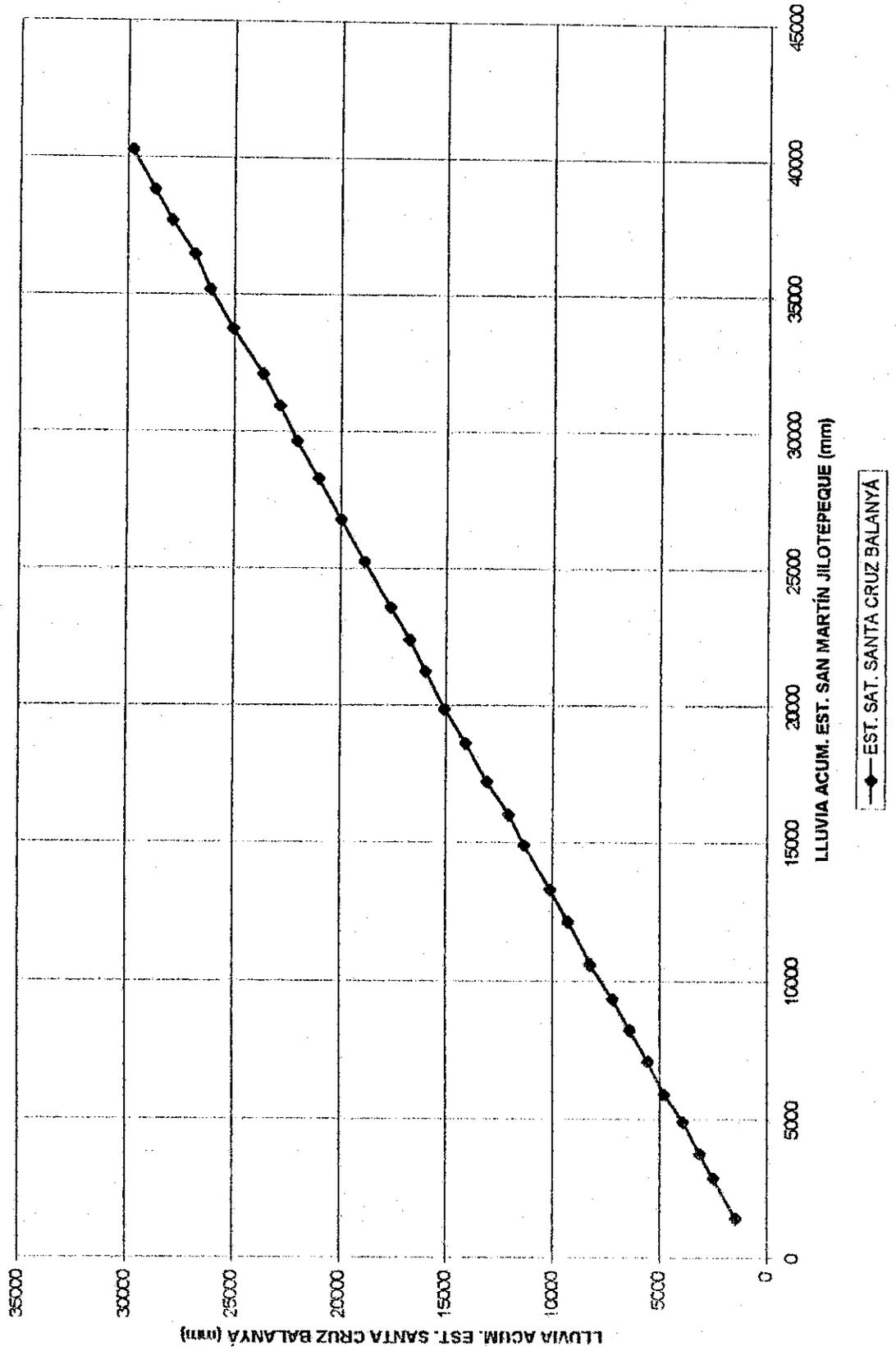
GRÁFICA No. 3.2
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



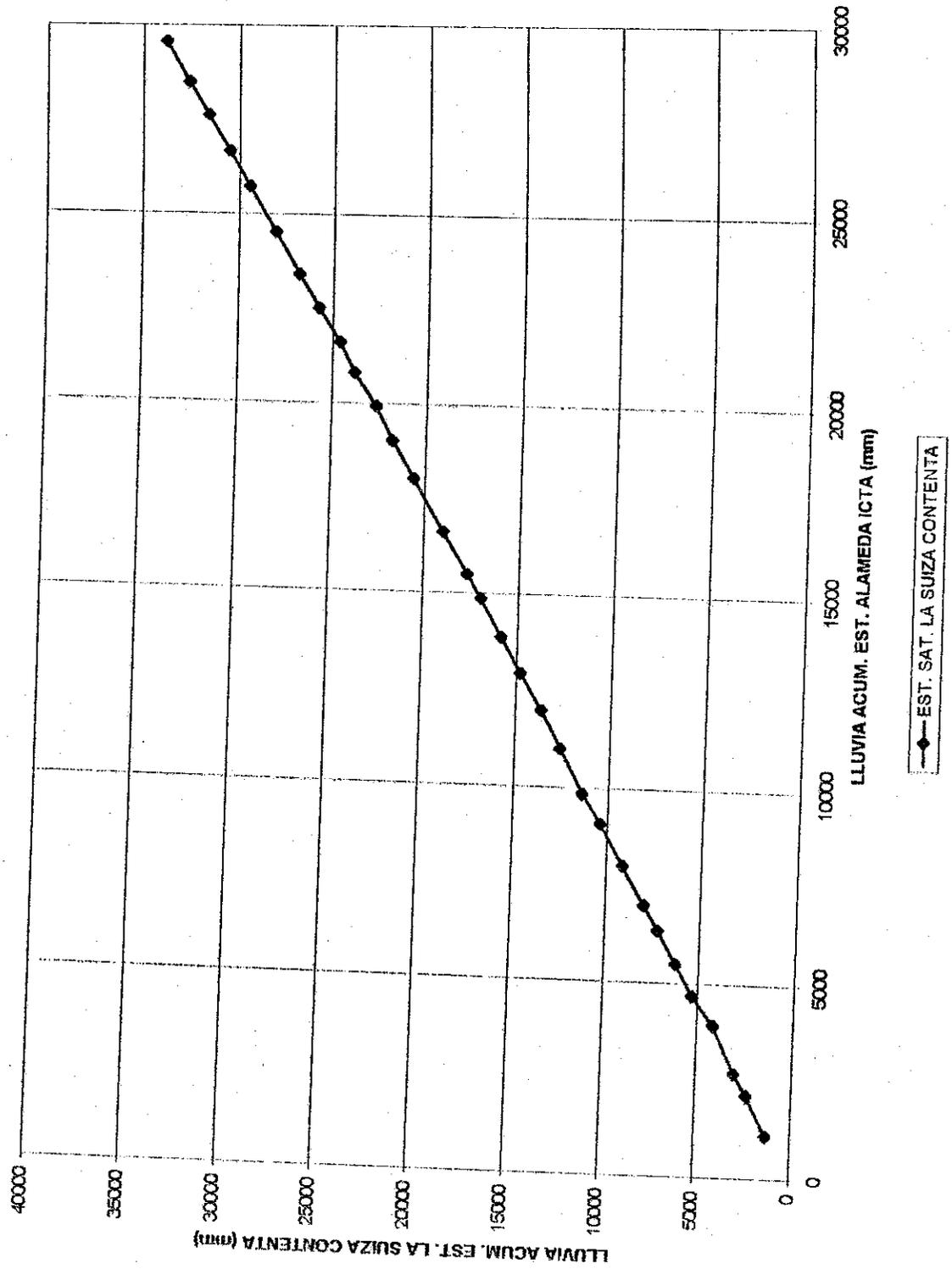
GRÁFICA No. 3.3
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



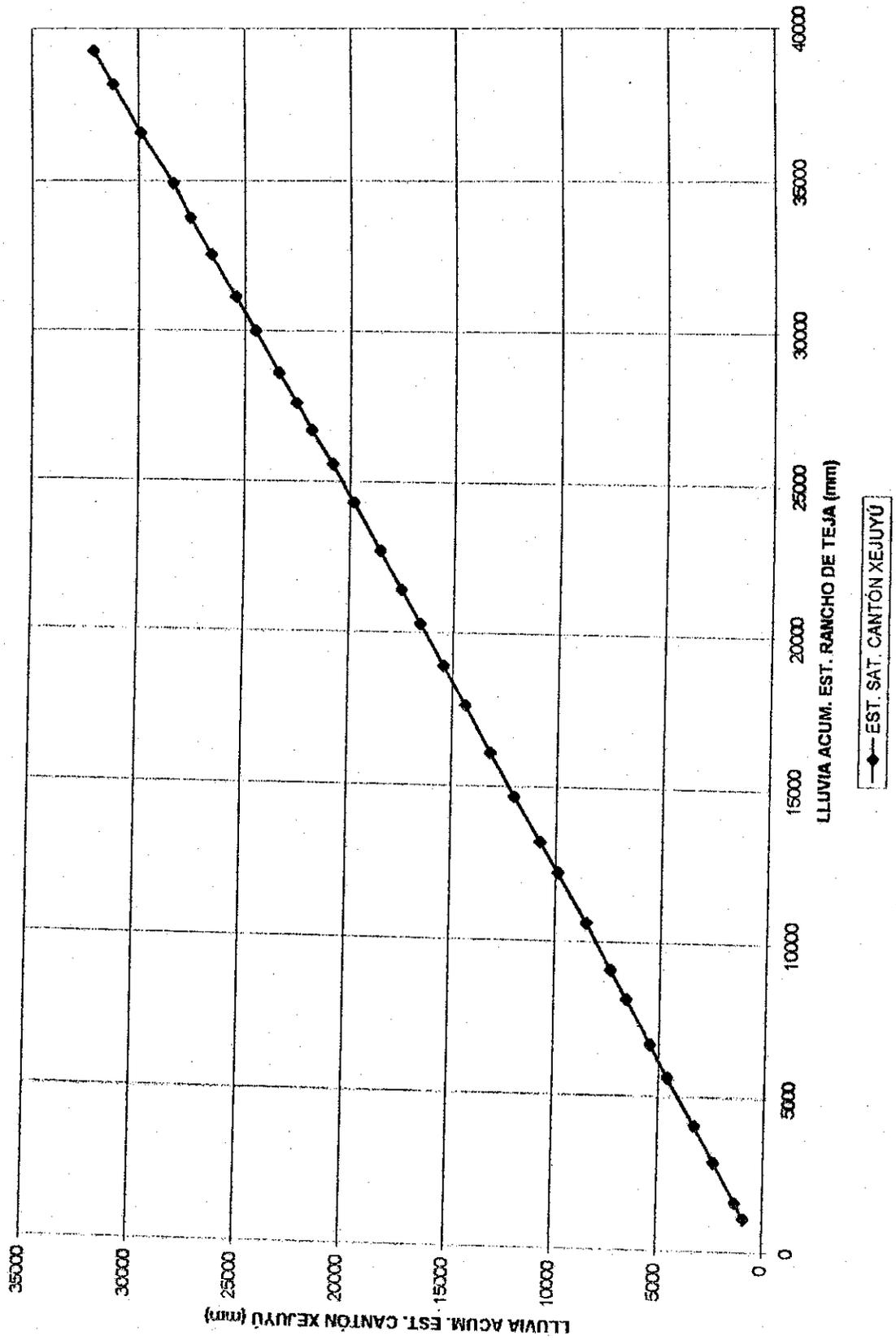
GRÁFICA No. 3.4
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



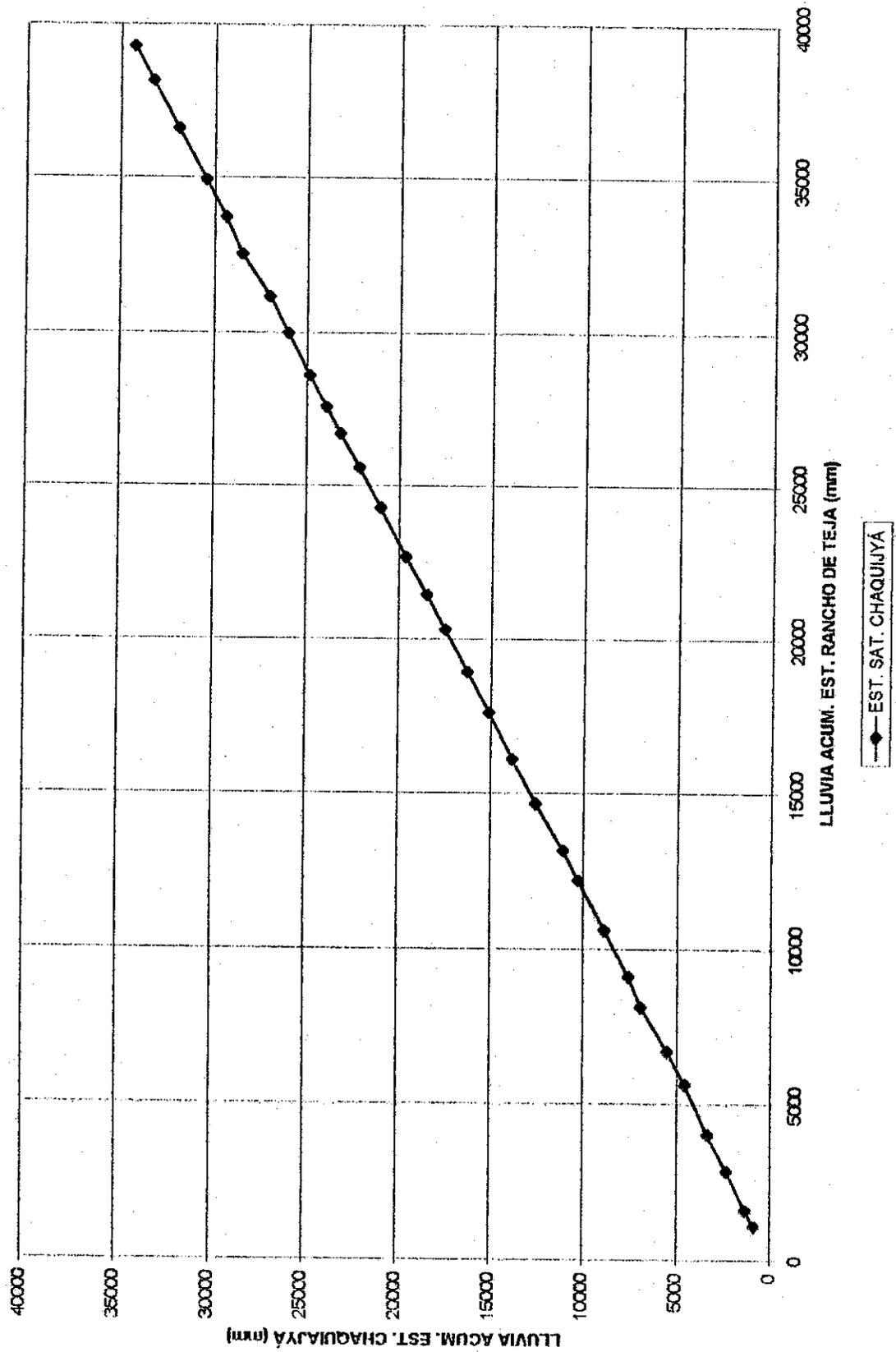
GRÁFICA No. 3.5
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



GRÁFICA No. 3.6
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



GRÁFICA No. 3.7
ANÁLISIS DE DOBLE MASA



3.1.4 PRECIPITACIÓN MEDIA POR EL MÉTODO DE ISOYETAS

Es el método más utilizado para promediar la precipitación sobre el área de una cuenca, para lo cual se localizan las estaciones y sus promedios de precipitación puntual en un mapa con una escala adecuada. Interpolando los datos puntuales, se trazan curvas, imaginarias, de igual precipitación (Isoyetas). La técnica es similar a la utilizada en topografía, con la diferencia de que en las isoyetas se toman en cuenta las condiciones locales de la cuenca (vegetación y topografía del terreno).

Es considerado como el más exacto para el estudio del régimen de precipitación, ya que se hace sobre la base de la estimación de la distribución espacial de la precipitación anual.

Por medio del planímetro se determina el área entre dos curvas isoyetas contiguas, y multiplicando por el valor de la isoyeta intermedia se define la precipitación entre las dos isoyetas contiguas. La precipitación media para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo este por el área total. En el cuadro No. 3.3 se presentan los resultados del método de isoyetas (ver apéndice 3) para las subcuencas y cuenca general del río Motagua.

3.1.5 RESUMEN DE PRECIPITACIONES MEDIAS

Al finalizar el análisis Estócastico y con el establecimiento de la consistencia de los registros de precipitación, por el método de doble masa, se presentan en el cuadro No. 3.4 los registros anuales de precipitación que rigen sobre el área de la cuenca del río Motagua.

CUADRO No. 3.3

RESUMEN DE PRECIPITACIONES 1970 - 2000
CUENCA DEL RIO MOTAGUA HASTA LA ESTACION CONCUA II

AÑO	CHINIQUE	CHIGUILA	RANCHO DE TEJA	SANTA LUCIA LA REFORMA	SANTA CRUZ BALANYA	SAN MARTÍN JILOTEPEQUE	CHACUIJYA	CANTÓN XEJUJU	ALDEA PALAMÁ	SUIZA CONTENTA	CUBULCO	ALAMEDA ICTA	CONCUA
1970	1719	1518	1094	1073	1142	1431.4	875	1657	1944	1326	998	1120	1092.2
1971	1522	975	1562	829	1071.8	1466.4	449	394	1728	1058	1114	1021.2	1039.1
1972	1522	1229	1270	832.9	613.1	838.8	1036.4	1038.6	1742	637	1019	569.4	950.4
1973	1583.8	1282	1157	917.3	780.3	1152.8	1012.6	946.2	1622	1191.5	983	1234.1	916.8
1974	1022.6	902	1600	592.3	897	987.5	1212	1308.5	1442	1111	1131.7	731.1	1055.6
1975	1252.4	1120	1074	606.5	761	1169.6	949	832.7	1596	948.5	822.5	827.2	767.1
1976	1257.5	1480	1418	847.2	835.4	1150.9	1420.3	1156	1896	979.1	978.6	853.8	921.2
1977	1129.3	988	970.1	734.7	794.5	1131.6	684	783.3	1411.7	750.1	800.1	654.2	668
1978	1342.6	1487.4	1463.5	781.9	1042.3	1236.5	1250.1	1141.8	1713	1179.4	1017.9	1028.6	850
1979	1822.5	1318.1	1624.5	1074	1042.3	1481.3	1431.5	1388.9	1985.1	1214.5	965.5	1059	1069.7
1980	1563.8	900.5	978.4	729.7	838.1	1190	820.4	886.5	1213.6	997.7	896.1	748	835.82
1981	2130.8	1718.7	1462.7	1318.5	1216.5	1636.4	1467	1223.5	2299.6	1186.2	1082.3	1156.5	1009.48
1982	1490.0	1126.1	1438.5	863	732.1	1095.2	1282.7	1187.5	1721.8	1062.2	810.5	988	755.9
1983	1467.2	1077.1	1523.5	849.8	1041.3	1189.8	1252.8	1198	1266.9	1160.5	1079.3	950.4	1006.7
1984	1991.4	1599.1	1299.0	1153.5	980.9	1389.3	1149.8	1062.3	2407.3	1051.7	1192.3	917.1	1112.1
1985	1690.1	1527.8	1383.8	915.2	1007.7	1293.9	1224.8	1131.7	1719.3	1106.3	854.4	997.6	796.9
1986	1571.2	1333.3	1126.1	969.5	884.2	1396.6	966.7	920.9	1768	763.2	784.7	631.9	731.8
1987	1829.8	1479.9	1269.3	942.4	758	1122.7	1123.1	1038.1	1973.6	1313.4	1012.6	1145.4	947.6
1988	1809.4	1532	1590.5	1157.6	885.9	1212	1399.3	1292.5	2201.9	1593.2	927.9	1399.3	862.4
1989	1938.1	1536.6	1284.1	1172.6	1230.8	1684	1136.5	989	2070.9	1137.9	1344.8	992.4	1254.3
1990	1786.6	1213.6	1144.0	857.5	1128.7	1544.3	1012.6	996.7	1635.6	917	1059.2	913	987.9
1991	1331.1	1131.2	884.6	869.9	1062.5	1488.7	782.9	723.4	1372.6	1153	856.1	892.1	796.5
1992	1800.6	996.6	1022.3	1069.9	1016.3	1355.4	904.9	836.1	1704	791.6	964.4	774.3	899.4
1993	2199	1656.3	1361.0	1273.7	802.8	1307.2	1148.3	1113	2160	1112.2	1005.3	886	937.7
1994	1922.3	1102.7	1162.0	1159.4	789.1	1176.3	996.2	950.3	1349.3	1028.1	864.3	896.6	806.1
1995	1906.1	1990	1418.0	984.8	1405.3	1617.2	1496	1159.6	2545.8	1288.7	1405	1123.8	1267.3
1996	1566	1438.4	1167.0	871	1057.7	1447.1	890.6	954.4	1826.9	1388.7	987	1211	886.4
1997	1578	1331	1197.0	965.3	728	1300	1059.4	808	1910	1060.7	843	925	863.6
1998	1630	1350	1675.0	944.1	1067	1224	1482.6	1540.7	1709	1114.6	1109	972	972.4
1999	1816	1156	1554.0	1072.6	825	1100	1375.4	1270.9	1704	993	1079	866	969
2000	1271	1322	1126	795	1041	1444	966.6	920.8	1800	1219.1	1018	1084	1048.8
MEDIA	1622.7	1311.6	1300.6	941.6	950.9	1298.7	1106.7	1059.7	1786.4	1091.4	1000.2	953.5	936.1

CUADRO No.3.4
PRECIPITACIÓN MEDIA DE 30 AÑOS
CUENCA ALTA DEL RÍO MOTAGUA

PRECIPITACIÓN HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II

PRECIPITACIÓN	ÁREA	P*A
1775	11.17	19828.17
1725	48.21	83163.80
1675	66.44	111281.81
1625	105.24	171016.30
1575	166.80	261132.48
1525	131.11	199942.90
1475	178.15	262764.02
1425	164.03	233749.31
1375	144.04	198061.46
1325	157.57	208776.67
1275	159.92	203896.73
1225	205.76	252078.17
1175	231.05	271484.80
1125	318.07	357633.48
1075	174.62	187713.71
1025	125.23	128361.47
975	117.00	114074.61
925	20.58	19034.47
TOTAL	2524.02	3284204.34

PRECIPITACIÓN MEDIA 1301.18 mm

PRECIPITACIÓN HASTA LA ESTACIÓN EL TESORO

PRECIPITACIÓN	ÁREA	P*A
1325	1.14	663.0678
1275	2.27	2695.91
1225	3.97	4869.01
1175	5.68	6671.77
1125	15.90	17886.15
1075	13.06	14039.18
1025	31.80	32592.44
975	72.11	70309.40
TOTAL	145.93	146926.91

PRECIPITACIÓN MEDIA 1027.40 mm

PRECIPITACIÓN HASTA CHUARANCAJAY

PRECIPITACIÓN	ÁREA	P*A
1775	12.20	21659.97
1725	37.25	64257.11
1675	46.88	78531.20
1625	28.90	46964.61
1575	31.47	46665.72
1525	37.89	57786.52
1475	62.94	92837.24
1425	7.58	10799.51
1375	48.17	65232.10
1325	35.32	46802.71
1275	36.61	46675.58
1225	42.39	51925.91
1175	52.02	61126.20
1125	80.28	90316.46
TOTAL	559.91	785480.85

PRECIPITACIÓN MEDIA 1402.86 mm

PRECIPITACIÓN HASTA LA ESTACIÓN CHICHÉ

PRECIPITACIÓN	ÁREA	P*A
1475	9.00	13275.00
1425	17.40	24795.00
1375	20.38	28022.50
1325	24.60	32595.00
1275	26.40	33660.00
1225	24.00	29400.00
1175	32.40	38070.00
1125	54.00	60750.00
TOTAL	208.18	260567.50

PRECIPITACIÓN MEDIA 1251.65 mm

3.2 EVAPORACIÓN

3.2.1 ANÁLISIS DE LA EVAPORACIÓN

Se le describe como el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso específicamente físico, que se realiza en la superficie del suelo y en cuerpos de agua. Si el mismo ciclo ocurre en superficies cubiertas de vegetación, se le denomina Evapotranspiración. Este nombre fue tomado del hecho que las plantas transpiran el agua que toman del suelo y sus hojas. Por lo tanto, la Evapotranspiración es la evaporación del suelo y superficies de agua más la transpiración de las plantas.

El valor varía y depende de las condiciones específicas de las plantas de la cuenca (vegetación y clima) y de la acción conjunta de los parámetros de viento, radiación solar y humedad.

3.2.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS DE LA EVAPORACIÓN

Los factores físicos reconocidos que influyen en la evaporación son:

- a) Temperatura. Para el estudio hidrológico se usa la temperatura media, que no es más que el término medio del calor en una localidad por un tiempo determinado. La localidad equivale a la cuenca y el tiempo a los años de registro de las estaciones meteorológicas. Depende de la latitud y longitud del lugar.
- b) Radiación Solar. Es una medida de la energía incidente de los rayos del sol que atraviesan el límite superior de la atmósfera perpendicularmente a la tierra. Su efecto en la evaporación dependerá del mayor grado de calor absorbente en la superficie de la tierra, que incide sobre la masa de agua evaporante.

- c) Humedad Relativa. Es la razón de un tanto por ciento entre los factores de vapor de agua contenida en la unidad de volumen y de vapor de agua que tendría el aire si los dos estuvieran saturados a la misma temperatura, es llamada también " Déficit Higrométrico".
- d) Viento. Aire en movimiento relativo respecto a la superficie terrestre. Se caracteriza por dos elementos: dirección, se refiere a aquella de la que sopla y la velocidad medida en nudos. Al tener un contacto con la superficie de evaporación, hace llegar el aire más seco. Por lo que a mayor velocidad, mayor será la evaporación.

NOTA: Los registros de las estaciones se resumen en el cuadro No. 3.5.

CUADRO No. 3.5

CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA LA ESTACIÓN CONCUÁ II

DATOS DE TEMPERATURAS PROMEDIO °C

PERÍODO DE REGISTRO 1980-1997

ESTACIÓN	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	ANUAL
CHIGUILÁ	17.8	16.9	16.2	16.3	16.1	15.9	14.8	14.2	13.8	14.9	16.2	17.6	15.9
SAN MARTÍN JILOTEPEQUE	20	19.2	18.6	18.6	18.2	17.8	17	16.2	16.3	17.3	19	20	18.2
SANTA CRUZ BALANYÁ	17.9	17.6	17.4	17.4	17.2	17	16.1	15.3	14.7	15.4	16.6	17.6	16.7
PROMEDIO	18.6	17.9	17.4	17.4	17.2	16.9	16.0	15.2	14.9	15.9	17.3	18.4	16.9

DATOS DE HUMEDAD RELATIVA

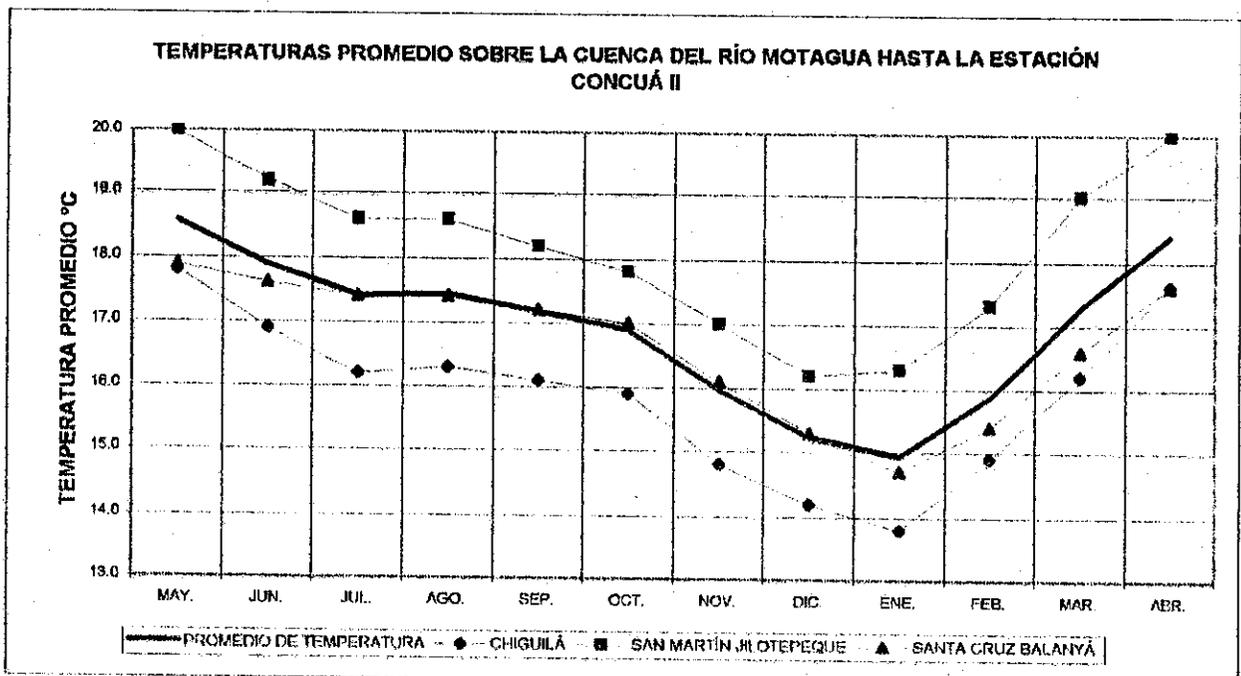
PERÍODO DE REGISTRO 1980-1993

ESTACIÓN	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	ANUAL
CHIGUILÁ	75	81	83	83	86	83	82	78	75	73	71	70	78.3
SAN MARTÍN JILOTEPEQUE	77	83	82	84	86	84	83	81	76	73	70	73	79.3
SANTA CRUZ BALANYÁ	76	82	81	83	84	84	81	77	71	69	69	73	77.5
PROMEDIO	76.0	82.0	82.0	83.3	85.3	83.7	82.0	78.7	74.0	71.7	70.0	72.0	78.4

DATOS DE EVAPORACIÓN DEL TANQUE

PERÍODO DE REGISTRO 1978-1993

ESTACIÓN	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	ANUAL
CHIGUILÁ	157.9	126.7	134.0	143.6	115.8	108.7	103.7	103.9	112.7	128.7	164.4	150.7	1550.8



3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA EVAPORACIÓN

Evaporación Real. Es lo que realmente se ha transformado en vapor de agua sobre la base de los componentes del ciclo hidrológico. Se expresa de la siguiente manera:

$$E = P - Q$$

E = Evaporación Real o Déficit de Escorrentía.

P = Precipitación Media sobre la cuenca hasta el punto de estudio.

Q = Escorrentía o Caudal Medio hasta el punto de estudio.

De donde: Todas las variables de la ecuación están dadas en mm/año

Evaporación Potencial. Cantidad de vapor de agua que puede ser emitida por una superficie saturada bajo condiciones de humedad óptima. Para el presente estudio, se trabajó con la fórmula teórica propuesta por Hargreaves, la cual ha sido probada en las cuencas de Centroamérica:

$$E_v = 17.4 * D * T_c * (1 - H_n)$$

E_v = Evaporación dado en mm/año.

D = Coeficiente medio mensual de horas sol que depende de la Latitud.

T_c = Temperatura media mensual en °C.

H_n = Humedad relativa media mensual

Para el cálculo, se utilizaron los valores de humedad relativa y temperatura media de las estaciones meteorológicas más representativas y con mejores registros dentro de las cuencas, las cuales son de la siguiente forma:

1. Las Cuencas Chiché y Chuarancajay, Estación Chiguilá.
2. La Cuenca El Tesoro, estación Santa Cruz Balanyá.
3. La Cuenca Concuá II, estación San Martín Jilotepeque.

NOTA: Los resultados de la evaporación calculada para cada estación se pueden ver en el cuadro No. 3.6

CUADRO No. 3.6
CÁLCULO DE LA EVAPORACIÓN POTENCIAL(Hargreaves)

ESTACIÓN CHIGUILÁ

PARÁMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
VALORES D PARA 15° 00"	1.08	1.06	1.09	1.06	0.99	0.99	0.93	0.95	0.95	0.88	1.01	1.01
TEMPERATURA MEDIA	17.8	16.9	16.2	16.3	16.1	15.9	14.8	14.2	13.8	14.9	16.2	17.6
HUMEDAD RELATIVA	75	81	83	83	86	83	82	78	75	73	71	70
1 - Hn	0.25	0.19	0.17	0.17	0.14	0.17	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.3
EVAPORACIÓN POTENCIAL	83.6	59.2	52.2	51.1	38.8	46.6	43.1	51.6	57.0	61.6	82.6	92.8

Ev = 720.3 mm

ESTACIÓN SANTA CRUZ BALANYÁ

PARÁMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
VALORES D PARA 15° 00"	1.08	1.06	1.09	1.06	0.99	0.99	0.93	0.95	0.95	0.88	1.01	1.01
TEMPERATURA MEDIA	17.9	17.6	17.4	17.4	17.2	17	16.1	15.3	14.7	15.4	16.6	17.6
HUMEDAD RELATIVA	76	82	81	83	84	84	81	77	71	69	69	73
1 - Hn	0.24	0.18	0.19	0.17	0.16	0.16	0.19	0.23	0.29	0.31	0.31	0.27
EVAPORACIÓN POTENCIAL	80.7	58.4	62.7	54.6	47.4	46.9	49.5	58.2	70.5	73.1	90.4	83.5

Ev = 775.9 mm

ESTACIÓN SAN MARTÍN JILOTEPEQUE

PARÁMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
VALORES D PARA 15° 00"	1.08	1.06	1.09	1.08	0.99	0.99	0.93	0.95	0.96	0.88	1.01	1.01
TEMPERATURA MEDIA	20	19.2	18.6	18.6	18.2	17.8	17	16.2	16.3	17.3	19	20
HUMEDAD RELATIVA	77	83	82	84	86	84	83	81	76	73	70	73
1 - Hn	0.23	0.17	0.18	0.16	0.14	0.16	0.17	0.19	0.24	0.27	0.3	0.27
EVAPORACIÓN POTENCIAL	86.4	60.2	63.5	54.9	43.9	49.1	46.8	50.9	64.7	71.5	100.2	94.9

Ev = 786.9 mm

CUADRO No. 3.7
CÁLCULO DE LA EVAPOTRASPIRACIÓN POTENCIAL(Thornwhite)

ESTACIÓN CHIGUILÁ

PARAMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
TEMPERATURA MEDIA	17.8	16.9	16.2	16.3	16.1	15.9	14.8	14.2	13.8	14.9	16.2	17.6
$i = (T/5)^{1.514}$	6.84	6.32	5.93	5.98	5.87	5.76	5.17	4.86	4.65	5.22	5.93	6.72
i	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26	69.26
a	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
EVAPORACIÓN POTENCIAL	6.53	6.20	5.94	5.98	5.91	5.83	5.43	5.21	5.06	5.47	5.94	6.46

Ev = 699.5 mm

ESTACIÓN SANTA CRUZ BALANYÁ

PARAMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
TEMPERATURA MEDIA	17.9	17.6	17.4	17.4	17.2	17	16.1	15.3	14.7	15.4	16.6	17.6
$i = (T/5)^{1.514}$	6.90	6.72	6.61	6.61	6.49	6.38	5.87	5.44	5.12	5.49	6.15	6.72
i	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49	74.49
a	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
EVAPORACIÓN POTENCIAL	6.46	6.34	6.27	6.27	6.20	6.13	5.80	5.52	5.30	5.55	5.98	6.34

Ev = 721.7 mm

ESTACIÓN SAN MARTÍN JILOTEPEQUE

PARAMETROS	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.
TEMPERATURA MEDIA	20	19.2	18.6	18.6	18.2	17.8	17	16.2	16.3	17.3	19	20
$i = (T/5)^{1.514}$	8.16	7.67	7.31	7.31	7.07	6.84	6.38	5.93	5.98	6.55	7.55	8.16
i	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89	84.89
a	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87
EVAPORACIÓN POTENCIAL	7.05	6.77	6.56	6.56	6.42	6.28	5.99	5.71	5.75	6.10	6.70	7.05

Ev = 769.4 mm

Método de TURC. La fórmula toma en cuenta la precipitación media y la temperatura media que rige la cuenca en estudio, la cual es:

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

E_{vt} = Evapotranspiración, dada en mm/año

P = Precipitación media anual.

L = Factor de Temperatura: $300 + 25t + 0.05t^2$.

t = Temperatura media anual °C.

CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN, MÉTODO DE TURC:

ESTACIÓN CHIGUILÁ: Representa el área de las subcuencas de Chiché y Chuarancajay.

$L = 710.14$, $P(\text{Chiché}) = 1251.65$ mm/año

$E_{vp}(\text{Chiché}) = 625.31$ mm/año

$L = 710.14$, $P(\text{Chuarancajay}) = 1402.86$ mm/año

$E_{vp}(\text{Chuarancajay}) = 640.15$ mm/año

EVAPORACIÓN DESDE EL TANQUE TIPO A:

La Evapotranspiración potencial puede ser estimada aplicando un porcentaje a los datos de evaporación desde el tanque tipo A. Se optó por usar el 85% de los registros de evaporación del tanque de la estación Chiguilá, siendo ésta una estación tipo "A", con registros confiables y representativa del área de la simulación.

$E_{vp} = 0.85 * 1550.8$ mm/año

$E_{vp} = 1318.18$ mm/año.

Los valores obtenidos son muy diferentes, por lo cual la decisión de cuáles valores tomar se dejó para el capítulo de simulación.

4 ESTUDIO DE CAUDALES EN LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

4.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS

La información general de los caudales ha sido recopilada de los archivos del departamento de Hidrología del INSIVUMEH. Dentro del estudio hidrológico de cuencas, lo ideal es contar con una serie de caudales diarios. Que a su vez se pueden agrupar en valores de caudales mensuales y así proceder a encontrar descargas medias anuales para un período determinado.

Para el estudio se dispone de tres estaciones con más de seis años de registros completos. Las Estaciones Concuá II y Chiché se encuentran sobre el río Motagua. La Estación Concuá II se complementa con los registros de la Estación Concuá, que originalmente medía los caudales del río Motagua. La tercera estación, El Tesoro, se encuentra en el Río Pixcayá y sirve como una base de referencia, ya que es parte del sistema en estudio.

4.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MENSUALES

Para llegar a determinar éstos, se necesita que los registros de los caudales mensuales de los años hidrológicos se encuentren completos y con los mismos se procede a calcular el promedio de los caudales por mes para el período en estudio.

4.3 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS

De los mismos registros de caudales mensuales, se puede observar que en cada mes existe un caudal mínimo y es de suma importancia para el desarrollo de proyectos el dar la idea del mínimo caudal que presenta el río por mes, el cual da el comportamiento del río en época de estiaje, en un espacio de tiempo determinado para el estudio.

En los cuadros del 4.1 al 4.3, se presentan los datos de los máximos, mínimos y promedios de los caudales mensuales para cada una de las estaciones hidrométricas antes mencionadas, con sus respectivos años hidrológicos.

4.4 CURVAS DE DURACIÓN

Son curvas de frecuencias acumuladas descendentes que expresan el porcentaje de tiempo que determinado caudal es excedido durante este tiempo, un valor dado de algún caudal es igualado o excedido de tal forma que se pueden clasificar los caudales de registros diarios de un mes, año o, en este caso, una serie de años, usando porcentajes del período en observación.

Las curvas reflejan el régimen del río en un período de registro dado y si los mismos son extensos, se puede considerar una curva típica que refleje el comportamiento promedio de la corriente.

Las mismas curvas están ligadas a las precipitaciones ocurridas en el período en estudio. Para interpretar la curva se debe observar la pendiente, si ésta es poco pronunciada, el río tiene un caudal proveniente de grandes almacenamientos subterráneos. Por el contrario, una pendiente pronunciada indica que el río tiene una buena respuesta a la precipitación.

Parámetros: de la curva de duración se obtienen parámetros útiles para el diseño de obras de aprovechamiento, de los que se pueden citar:

- a) VOLUMEN: es el área bajo la curva, que es el total de agua escurrida en un período de tiempo
- b) CAUDAL PROMEDIO: el área bajo la curva mide el volumen disponible en el ciento por ciento del tiempo, por lo que al dividir esta área entre la base cien, se obtiene el caudal promedio del tiempo.

c) **CAUDALES CARACTERÍSTICOS:** son puntos esenciales de la curva, que definen los caudales típicos del curso de un río, se definen así:

- **CAUDAL CARACTERÍSTICO MÁXIMO:** es el caudal igualado o superado 10 días al año, o sea el 2.74% del tiempo en la curva de duración de caudales. Pueden existir crecidas mayores que las de este caudal.
- **CAUDAL CARACTERÍSTICO MEDIO:** es el caudal igualado o superado 50% del tiempo.
- **CAUDALES CARACTERÍSTICOS DE 1, 3 o 9 MESES:** son los caudales rebasados respectivamente 1,3 o 9 meses del año respectivamente, o sea durante el 8.34, 25 o 75% del tiempo.
- **CAUDAL CARACTERÍSTICO DE ESTIAJE:** caudal característico de sequía, es el caudal rebasado el 97.3% del tiempo.

En nuestro medio se han utilizado otros criterios europeos adicionales con los siguientes valores:

- **CAUDAL CARACTERÍSTICO DE AGUAS ALTAS:** es el promedio de los caudales entre 0 y 24.66%.
- **CAUDAL CARACTERÍSTICO DE AGUAS MEDIAS:** es el promedio de los caudales entre el 24.66 y el 73.98% del tiempo.
- **CAUDAL CARACTERÍSTICOS DE AGUAS BAJAS:** es el promedio de los caudales entre el 73.98 y el 100% del tiempo.

PROCEDIMIENTO:

Al contar con datos hidrológicos suficientes, se siguen los siguientes pasos:

- Seleccionar la unidad de tiempo a utilizar (días, meses o años), que es según el propósito del estudio.
- Utilizar años completos de registro, aunque no sean consecutivos.
- Ordenar los valores de caudal, de menor a mayor.
- Determinar el número de clases. Se puede usar la fórmula de Sturges:

$$N = 1 + 3.33 \log n$$

n = número de los valores de caudal considerado.

Por lo general el número de clases obtenido es muy bajo, debiéndose obtener de 20 a 30 clases para definir bien la curva.

- Obtener el intervalo de clases, este intervalo debe ajustarse a valores convenientes y adecuados para cada caso. Aunque se modifique el número de clases obtenido del paso anterior.
- Fijar el límite inferior de la clase menor, se debe tener cuidado que sea menor que el más pequeño de los caudales observados.
- Encontrar los límites inferiores, sumando el intervalo a límite inferior anterior.
- Contar el número de caudal en que sean mayores o iguales que el correspondiente al límite inferior de clase y menor que el mostrado en el siguiente inciso (dicho número serán las frecuencias f).
- Si se determina que los valores de caudal se aglomeran en alguna clase o bien hay clases para los cuales la frecuencia es 0, se utilizará un intervalo variable. Es decir, se utilizará un intervalo menor donde más se aglomeran los caudales y mayor donde las frecuencias sean muy bajas.

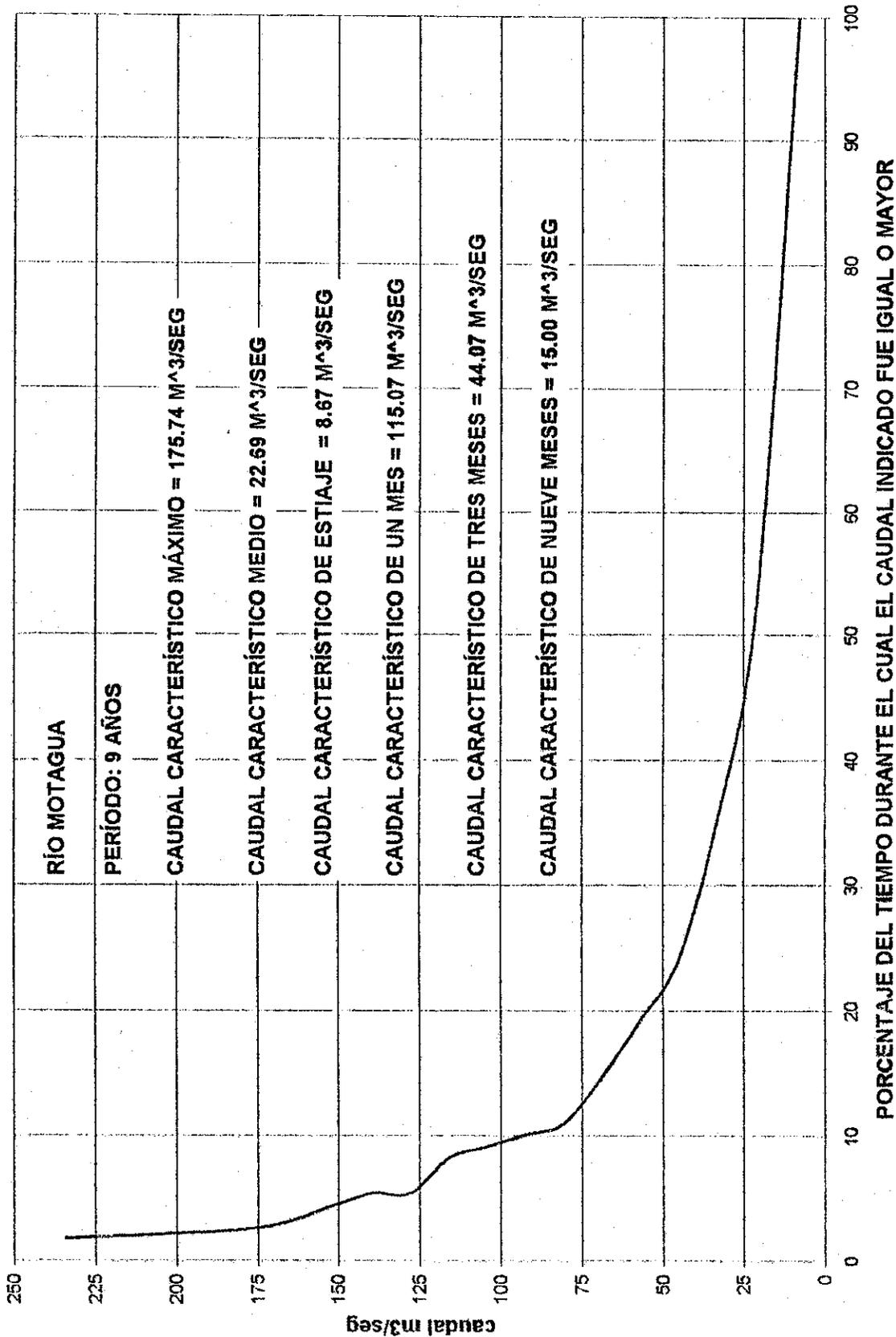
CUADRO No. 4.1
CAUDALES MENSUALES
ESTACIÓN CONCUÁ II

ANOS	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
66	9.750	157.297	238.572	57.608	106.756	171.219	22.781	14.275	11.684	9.398	7.747	9.219
67	7.848	80.552	123.595	78.686	-1.000	201.118	22.012	12.078	10.101	8.162	7.648	18.506
68	15.442	76.697	53.185	47.498	142.540	116.776	49.432	16.019	10.677	9.757	7.823	10.917
69	15.305	62.293	80.219	121.189	221.609	-1.000	37.543	23.470	17.761	14.489	11.574	11.207
70	13.797	16.982	57.358	118.387	155.844	67.271	27.589	12.310	9.658	5.957	5.206	5.267
71	5.985	13.694	27.184	63.079	67.119	116.205	33.457	20.312	12.095	11.996	9.527	8.964
72	6.889	25.091	23.202	32.849	33.682	30.551	14.966	11.153	10.034	8.874	8.880	7.642
73	10.302	36.988	29.287	52.104	41.554	62.885	25.701	18.338	10.499	7.996	8.310	6.215
74	14.170	31.580	37.920	21.480	46.090	33.110	14.100	8.530	8.450	5.840	5.130	4.200
75	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
76	11.900	38.900	33.400	19.600	49.100	72.400	18.300	13.800	9.420	8.900	8.200	9.500
77	7.700	88.400	26.900	26.700	36.900	22.700	16.100	14.900	16.500	14.400	14.100	9.340
78	-1.000	-1.000	37.900	23.400	65.900	33.400	17.700	12.500	9.890	9.150	8.410	9.180
79	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
81	-1.000	45.614	43.745	190.898	262.661	155.510	34.577	19.741	18.076	15.935	10.986	6.777

MINIMO	5.985	13.693	23.202	19.600	33.682	22.700	16.100	11.153	6.450	5.840	5.130	4.200
PROMEDIO	10.827	56.172	62.498	65.653	102.641	90.262	25.712	15.187	11.758	10.066	8.734	8.935
MAXIMO	15.442	157.297	238.572	190.898	262.661	201.118	49.432	23.470	18.076	15.935	14.100	18.506

ÁREA 2524.06 KM²

GRÁFICA No. 4.1
CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES ESTACIÓN CONCUJÁ II



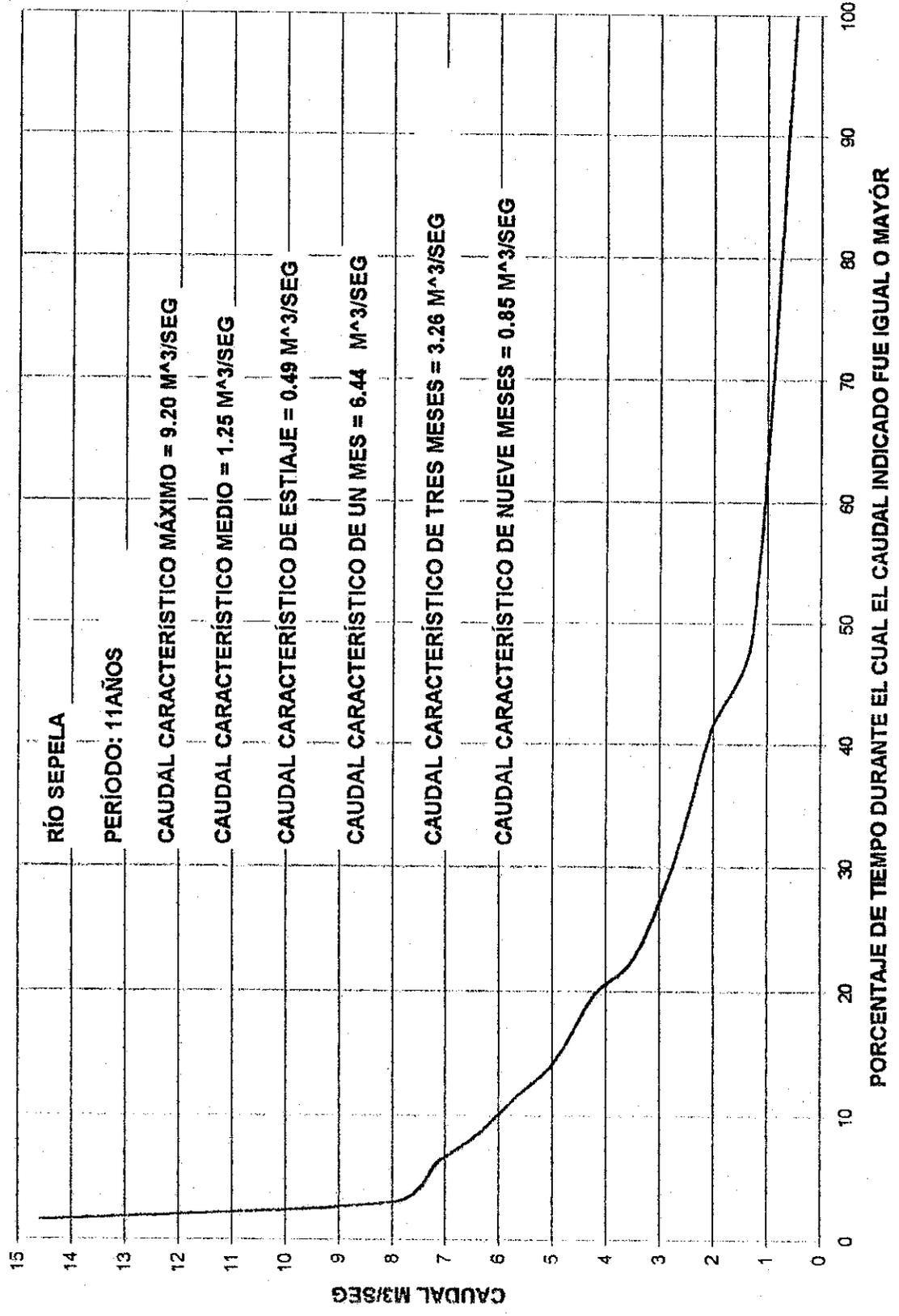
CUADRO No. 4.2
CAUDALES MENSUALES
ESTACIÓN CHICHÉ

ANOS	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
72	0.432	2.513	1.567	2.973	2.892	2.757	0.914	0.553	0.377	0.277	0.193	0.179
73	0.668	2.030	2.207	5.684	4.108	6.698	1.842	0.691	0.481	0.309	0.345	0.258
74	0.830	1.940	2.930	2.220	4.240	3.030	1.020	0.590	0.450	0.350	0.280	0.250
75	0.290	0.630	0.900	2.240	4.800	4.050	2.050	0.710	0.560	0.460	0.410	0.430
76	0.557	3.690	3.910	1.980	5.250	5.580	1.970	0.723	0.447	0.419	0.396	0.660
77	0.523	2.050	2.210	1.460	-1.000	-1.000	0.794	0.717	0.522	0.398	0.444	0.323
78	0.400	1.700	4.650	4.270	7.320	3.840	0.812	0.467	0.311	0.269	0.269	0.278
79	1.230	1.390	2.760	4.060	14.800	5.050	1.070	0.670	0.505	0.369	0.286	0.298
80	0.419	0.964	2.034	5.947	7.022	2.479	0.778	0.564	0.409	0.397	0.348	0.259
81	0.484	3.321	4.912	5.878	12.787	9.109	2.320	0.806	0.590	0.529	-1.000	-1.000
82	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
83	0.434	1.856	5.771	4.079	6.420	3.058	1.660	0.469	0.418	0.343	0.264	0.259
84	0.785	2.571	6.995	6.455	8.221	3.157	0.926	0.516	0.425	0.369	0.348	0.298
85	0.312	1.217	2.231	3.255	7.867	6.868	2.035	0.744	0.534	0.446	0.353	0.366

MINIMO	0.290	0.630	0.900	1.460	2.892	2.479	0.778	0.467	0.311	0.269	0.193	0.179
PROMEDIO	0.574	1.995	3.314	3.885	7.144	4.640	1.369	0.650	0.464	0.380	0.328	0.321
MÁXIMO	1.230	3.690	6.995	6.455	14.800	9.109	2.320	0.870	0.590	0.529	0.444	0.660

ÁREA 208.18 KM²

GRÁFICA No. 4.2
CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES ESTACIÓN CHICHÉ



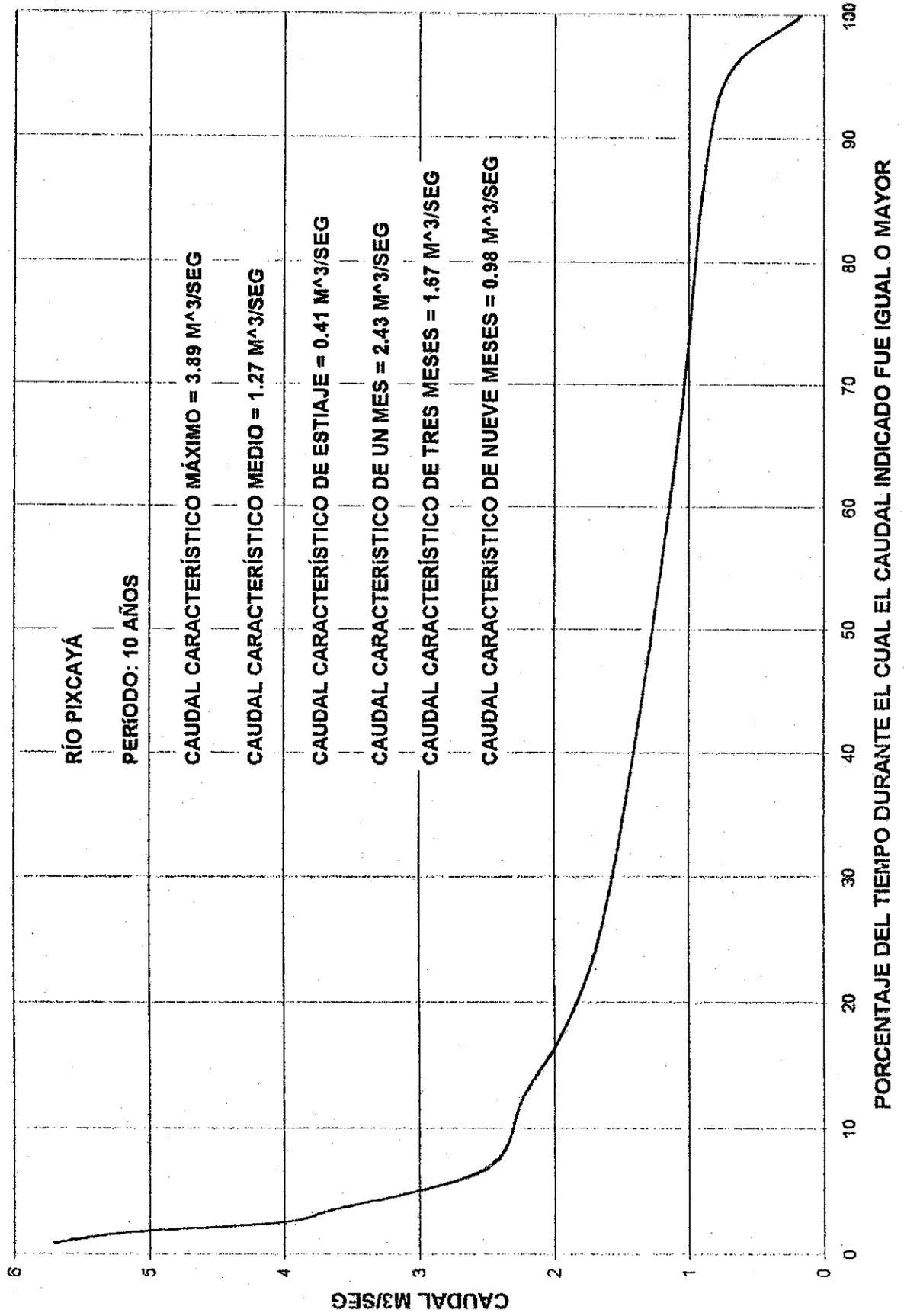
CUADRO No. 4.3
CAUDALES MENSUALES
ESTACIÓN EL TESORO

ANOS	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
65	0.91	1.34	1.27	1.40	2.55	2.58	1.40	1.23	1.14	1.06	1.02	0.94
66	1.03	2.19	2.48	2.58	2.14	1.76	1.25	1.15	1.43	1.21	0.98	1.15
67	1.00	1.42	1.44	1.50	1.58	1.79	1.39	1.29	1.26	1.37	1.34	1.38
68	1.64	1.95	1.52	1.45	2.10	2.15	1.24	1.01	0.94	0.94	0.88	0.79
69	0.93	1.10	1.39	1.73	2.37	1.67	0.90	1.42	1.17	1.12	0.89	0.89
70	0.56	3.69	3.91	1.98	5.25	5.58	1.97	0.72	0.45	0.42	0.40	0.66
71	-1.00	-1.00	-1.00	2.05	2.03	2.32	1.49	1.20	1.16	1.13	1.13	1.07
72	0.79	1.06	0.93	0.90	0.91	1.07	0.83	0.86	0.82	0.71	0.07	0.74
73	0.87	1.15	1.10	2.03	1.87	2.31	1.06	1.03	0.75	0.74	0.86	0.84
74	0.98	2.10	1.16	1.72	1.67	1.28	0.79	0.65	0.63	0.65	0.58	0.55
75	0.71	0.94	0.88	1.18	2.07	1.56	0.84	0.77	0.79	0.74	0.73	0.74

MINIMO	0.71	0.94	0.88	0.90	0.91	1.07	0.79	0.65	0.45	0.42	0.40	0.55
PROMEDIO	0.94	1.69	1.62	1.68	2.23	2.19	1.20	1.03	0.96	0.92	0.79	0.89
MAXIMO	1.64	3.69	3.91	2.58	5.25	5.58	1.97	1.42	1.43	1.37	1.34	1.38

ÁREA 145.94 KM²

GRÁFICA No. 4.3
CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES ESTACIÓN EL TESORO



5 TRANSPOSICIÓN AL SITIO CHUARANCAJAY

5.1 MODELO PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA

Se sabe que el flujo de un río está controlado por las variaciones que pueda tener la precipitación. Por lo tanto la relación entre la precipitación sobre una cuenca y la escorrentía en la misma, de lo cual se desprenden métodos matemáticos para llegar a distribuir la escorrentía en el tiempo, siendo ésta la base para tener una predicción de caudales en ríos si estaciones de registro.

El modelo precipitación-escorrentía de este estudio supone una precipitación suficiente para satisfacer a la vez el flujo superficial, la intercepción de las plantas y el almacenamiento subterráneo, requiriendo la selección de un período de tiempo bien definido, que puede ser un mes o un año. Esto lo describe la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_d + Q_b$$

De donde:

Q_{total}: Es el caudal total que escurre a través de los ríos de la cuenca hasta la estación de aforo.

Q_d: Es el escurrimiento superficial que está constituido por una lámina de agua que fluye hacia la red de drenaje de la región. Esta lámina está presente solamente durante y unos momentos después de ocurrida una precipitación (única variable considerada en el aporte de flujo de agua sobre la cuenca), cuyo cálculo se hará más adelante.

Q_b: Es el escurrimiento base, lo forma la sumatoria de flujo hipodérmico y flujo subterráneo. El almacenamiento de humedad del subsuelo se obtiene por diferencia, entre la infiltración y la Evapotranspiración Real, estableciendo el balance hídrico del suelo.

El modelo exige que los datos de precipitación y evaporación del tanque de la estación meteorológica cercana (Chiguilá) coincidan en un período de registro común con los caudales existentes de la Estación Hidrométrica (Chiché), para determinar el caudal directo que escurre en la cuenca.

5.1.1 CÁLCULO DE CAUDAL DIRECTO (Qd):

Para el análisis hidrológico se requiere el conocimiento de la capacidad de una cuenca para producir escorrentía. El Servicio de Conservación del Suelo en los Estados Unidos, desarrolló un método de estimación de la escorrentía basado en la relación existente entre la infiltración y escorrentía potencial. El método asume que toda precipitación ocurrida antes del inicio de ésta es considerada como pérdida y no contribuye a la escorrentía superficial. De acuerdo a lo anterior se llegó a la siguiente ecuación:

$$Qd = \frac{(P - (0.2 * S))^2}{P + (0.8 * S)}$$

De donde:

Qd = caudal directo

P = Precipitación

S = Máxima Retención del Suelo

(0.2 * S) = período cuando la lluvia empieza a caer

(0.8 * S) = período después que las lluvias terminaron y se entiende la infiltración verdadera

La principal limitación lo constituye la estimación de S, conduciendo a errores de cierta consideración, pero que por lo general permite una buena aproximación de caudales para cuencas sin datos.

El Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos confeccionó el procedimiento para estimar S, sobre la base del valor llamado Cn (número de curva) en la siguiente ecuación

$$S = \frac{25400}{Cn} - 254$$

En el cual S se expresa en milímetros.

Para obtener el Cn el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos ha desarrollado cuadros para obtener información a partir de las características de suelo-cobertura de la cuenca.

Para utilizar el método se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el uso del suelo.
2. Se determina la práctica y tratamiento conservacionista
3. Se determina la condición hidrológica, así:
 - Buena = cobertura mayor a 75%
 - Regular = cobertura entre 50 y 75%
 - Mala = cobertura menor al 50%
4. Se obtiene la clasificación hidrológica del suelo.

Para objeto del método de similitud de cuencas, se procede a un análisis de clasificación de los suelos de la cuenca alta del río Motagua, para estimar el comportamiento de su escorrentía.

Uso del Suelo	Práctica Agrícola	Infiltración	Escorrentía por Grado			
			A	B	C	D
Bosque	Denso y Disperso	Regular		60		
Cultivo Limpio	Surcos en Curvas	Buena		74		
Terreno sin Uso		Pobre				78

5.1.2 CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN:

Para trabajar el modelo se divide la cuenca principal en subcuencas, teniendo para cada una de ellas la estación meteorológica, que por su cercanía a la subcuencas se puede relacionar con su régimen de precipitación.

De los años de registro común de precipitación con que se cuentan, se determina el año más seco así como el más húmedo de precipitación sobre las subcuencas (ver apéndices 5 y 6). Al determinar el régimen de lluvia en cada año específico, se relaciona la precipitación promedio anual de la subcuenca (Método de Isoyetas) con el registro anual de precipitación de la estación cercana, para determinar un factor aplicable a los años secos y otro a los años húmedos:

$$K = \frac{P_{\text{mediasubcuenca}}}{P_{\text{mediaestación}}}$$

Estableciendo el valor K por subcuenca, para la calibración del modelo en la cuenca de la estación Chiché:

VALORES DE K		
Subcuenca	Año Húmedo	Año Seco
1	0.7979	1.1895
2	0.8618	1.166
3	0.8183	1.1514

Dividiendo la precipitación mensual (P) entre los días de lluvia del mes, se determina la precipitación por día (P_d) de dicho mes. El factor K se multiplica por cada dato de precipitación diario (P_d), dependiendo si el año es seco o húmedo de los registros de la estación con que se relaciona cada subcuenca, para determinar una precipitación asumida para ese mes en la subcuenca ($K P_d$).

De la precipitación diaria ($K P_t$) asumida para la subcuenca se calcula la aportación de caudal directo por cada subcuenca.

5.1.3 CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN:

Al conocer el caudal de aporte directo se procede a calcular la infiltración (I) ocurrida en cada mes en el año:

$$I = P - Qd$$

5.1.4 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL:

El modelo calcula, en primer lugar y para cada mes, la evaporación potencial para cada subcuenca. Esta determinación se hace multiplicando los registros de evaporación del tanque mensual por el coeficiente 0.85.

A través de la comparación entre la infiltración ($I = Qd - KP$) y la Evapotranspiración potencial de un mes, para calcular la Evapotranspiración real y el cambio de almacenamiento de humedad en el suelo, sobre la base de las siguiente asunciones:

- A. Si la precipitación del mes es superior a la Evapotranspiración potencial, esto sucede en la cuenca en los meses de mayo a noviembre, puede suceder lo siguiente:
1. La Evapotranspiración real es igual a la potencial.
 2. El exceso de precipitación sobre la evaporación potencial es almacenado en el suelo cuya humedad aumenta hasta la saturación.
 3. Una vez que el suelo esté saturado, no puede entrar más agua en el almacenamiento de humedad del suelo. El agua sobrante constituye el excedente.

De esa diferencia se forma un remanente, distribuyéndose en forma exponencial en el tiempo. La distribución, crea lo que se conoce como los cambios de almacenaje de cada remanente, calculándose de las expresiones:

$$\Delta \text{almacenactual} = \text{remanente} * (1 - 10^\beta)$$

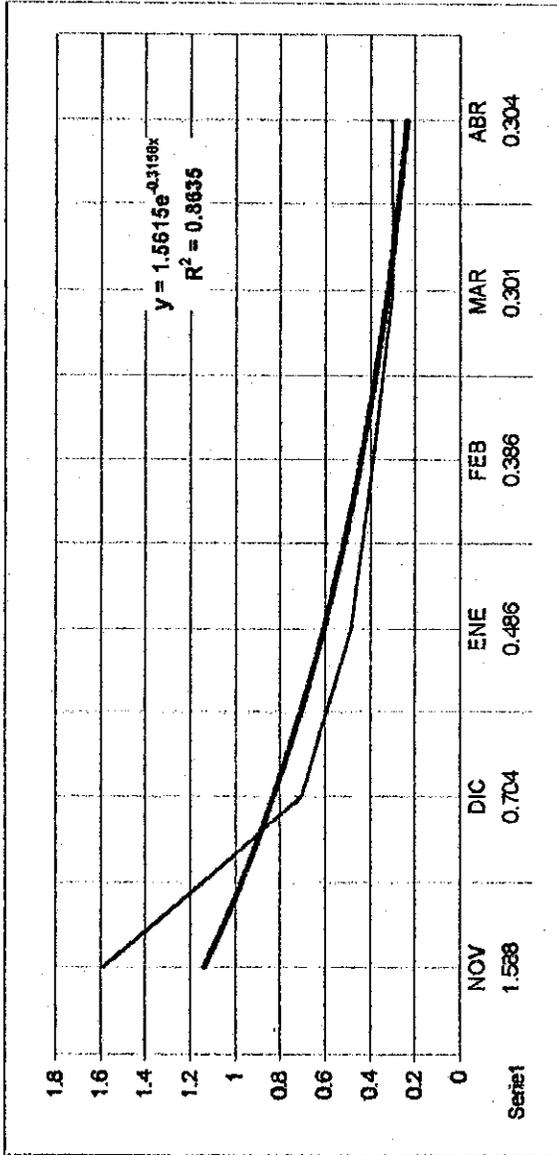
Para el mes actual, y

$$\Delta \text{almacenamiento} = \text{remanente} * (10^\beta)$$

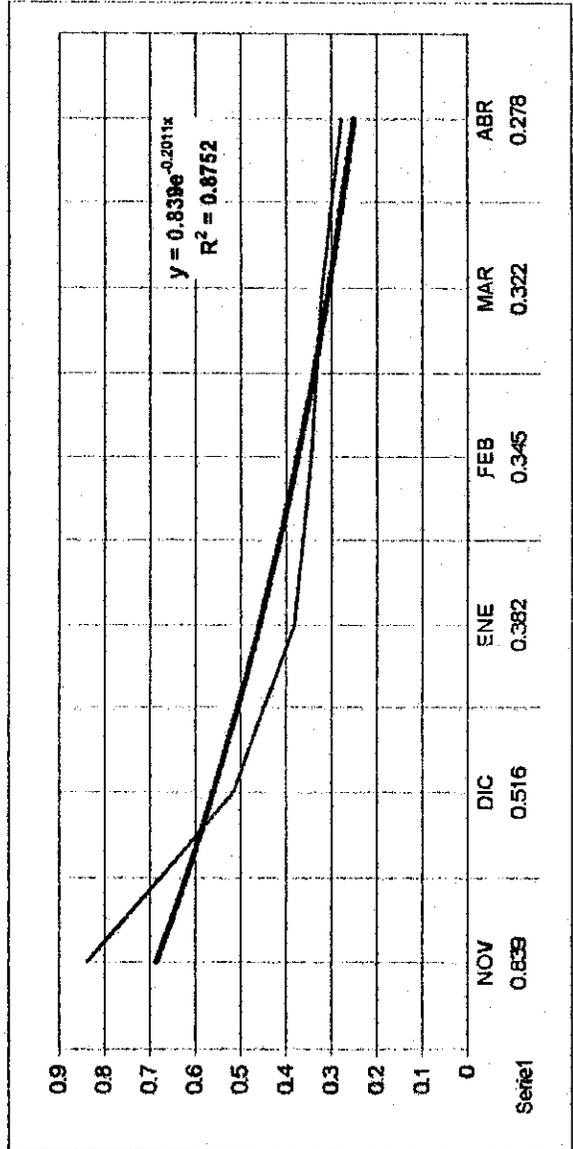
De donde:

β : Factor calculado de las observaciones de los caudales de estiaje, mostrado en la gráfica No. 5.1, en la distribución de los siguientes meses, hasta agotarse.

GRÁFICA No. 5.1
CURVAS DE RECESIÓN DE CAUDALES



HUMEDO	
NOV	1.588
DIC	0.704
ENE	0.486
FEB	0.386
MAR	0.301
ABR	0.304



SECO	
NOV	0.839
DIC	0.516
ENE	0.382
FEB	0.345
MAR	0.322
ABR	0.278

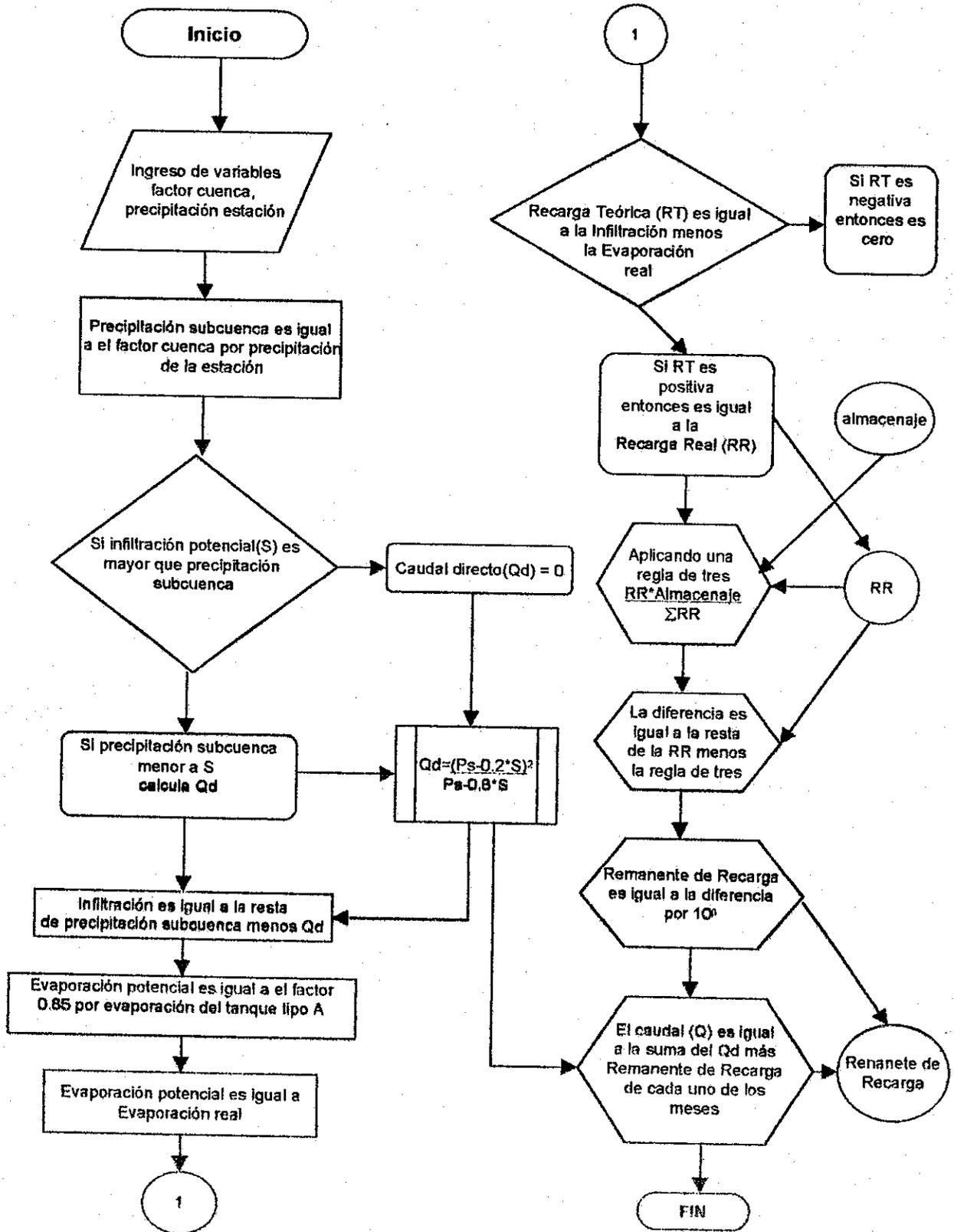
A la sumatoria de todos los cambios de almacenaje ocurridos en el mismo mes se le conoce como caudal subterráneo (Q_{sub}), que es el último término utilizado por el modelo para calcular los caudales totales.

PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR LOS CUADROS 5.1, 5.2 y 5.3:

1. Se ingresa el factor de cuenca para todo el año hidrológico.
2. Multiplicar el factor de cuenca por la precipitación de la estación base, haciéndose la sumatoria de todos los meses.
3. Utilizando el número de curva (Cn) adecuado a las condiciones del estudio, se utiliza en la ecuación de caudal directo, encontrando así el flujo superficial sobre la subcuenca.
4. La infiltración mensual se calcula como la diferencia entre la precipitación y el caudal directo.
5. La evaporación Potencial es un 85% de la evaporación del tanque tipo A, de la estación base.
6. Almacenaje aparece al final de la época lluviosa, es el resultado de la saturación del suelo ocasionado por la infiltración de las lluvias al mismo.
7. La evaporación Real se divide en dos períodos:
 - Para los meses de lluvia (mayo a noviembre) la evaporación real es igual a la evaporación potencial.
 - Para los meses secos (diciembre a abril) la evaporación real se calcula como la distribución del almacenaje que satura el suelo, obtenido de la época de lluvia y la evaporación real de los tres meses anteriores.
8. El remanente de almacenaje, para los meses siguientes a noviembre, es la diferencia entre el almacenaje total y la evaporación real del mes.
9. La recarga teórica es la diferencia entre la infiltración y la evaporación real de cada mes.

10. La recarga real son todos los valores positivos (que son aportes reales al subsuelo) en cada uno de los meses y haciendo cero a los negativos. Sumando todos los resultados positivos se obtiene el almacenaje real en el año.
11. Es necesaria una regla de tres para hallar el aporte de cada mes al almacenaje de saturación, basándose en el almacenaje total.
12. La diferencia es la recarga total menos la regla de tres.
13. Remanente de recarga equivale al valor obtenido en la diferencia multiplicado por una constante exponencial $(1-10^b)$, obteniendo así el Δ almacenaje actual para el mes siguiente y Δ almacenaje se obtiene multiplicando el Δ almacenaje anterior por otra constante exponencial (10^b) . La sumatoria de todas ellas equivale, aproximadamente, a la diferencia entre el almacenaje total y el almacenaje de saturación.
14. El caudal total es la suma del caudal directo y todos los remanentes de recarga ocurridos en el mes.

**DIAGRAMA DE FLUJO
DEL MODELO
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA**



CUADRO 5.1
HOJA DE CÁLCULO TÍPICO POR AÑO HIDROLÓGICO
DEL MODELO DE SIMULACIÓN

AÑO 78-79

SUSCUENCA No. 1	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
FACTOR DE CUENCA	0.7979	0.7979	0.7979	0.7979	0.7979	0.7979	0.7979	0.7979	1.1895	1.1895	1.1895	1.1895
PRECIPITACION DE SUSCUENCA	81.6	157.3	278.5	215.5	249.9	124.8	37.5	4.1	1.3	1.0	22.1	51.1
Cn	54	34	25	30	30	43	40	40	40	40	40	56
Qd	1.431	6.252	17.917	13.637	23.636	6.374	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.599
INFILTRACION	60.167	151.094	290.630	201.875	228.067	116.417	37.501	4.089	1.308	0.952	22.125	50.550
EV TANQUE	130.5	167.5	120.6	123.1	38.7	108.7	91.7	114.5	148.5	140.2	183.7	131.6
EVAPOT	110.93	142.38	102.51	104.64	32.90	92.40	77.95	97.33	124.53	119.17	139.15	111.86
ALMACENAJE							450	352.68	320.24	232.52	180.94	120.88
FORMID ALIMACE								401.34	-321.41	292.10	250.51	178.59
EV REAL	110.93	142.38	102.51	104.64	32.90	92.40	77.95	5.23	0.99	0.16	0.00	0.00
REMANENTE DEL ALM.								444.77	351.69	320.09	232.52	180.94
RECARGA TEORICA	-51	8.72	158.12	97.24	193.17	24.02	-40	-1	0	1	22	51
RECARGA REAL	0	8.72	158.12	97.24	193.17	24.02	0.00	0.00	0.32	0.79	22.12	50.95
REGLA DE TRES	0.00	8.15	147.85	90.92	180.82	22.46	0.00	0.00	0.30	0.74	20.69	47.27
DIFERENCIA	0	0.57	10.27	6.32	12.55	1.56	0.00	0.00	0.02	0.55	1.44	3.28
REMANENTE DE REC.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.17			0.08	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
				3.00	2.12	1.19	0.42	0.27	0.17	0.11	0.09	0.06
					1.95	1.04	0.37	0.23	0.15	0.09	0.08	0.05
						5.49	1.95	1.23	0.78	0.49	0.44	0.28
							1.01	0.84	0.40	0.25	0.23	0.14
Q TOTAL mm/mes	1.43064	5.25179	18.0826	16.7553	27.9883	16.1463	3.76494	2.37952	1.49885	0.94571	0.84287	1.1305

CUADRO 5.3
HOJA DE CÁLCULO TÍPICO POR AÑO HIDROLÓGICO
DEL MODELO DE SIMULACIÓN

AÑO 78-79

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
SUBCUENCA NO. 3												
FACTOR DE CUENCA	0.8183	0.8183	0.8183	0.8183	0.8183	0.8183	0.8183	0.8183	1.1514	1.1514	1.1514	1.1514
PRECIPITACION DE SUBCUENCA	53.2	161.4	255.7	221.0	256.3	128.0	38.5	4.2	1.3	0.9	21.4	49.5
Ch	54	34	25	30	30	43	40	40	40	40	40	56
Qd	1.676	7.086	19.238	15.110	25.981	9.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.440
INFILTRACION	61.497	154.283	265.830	205.912	230.310	118.727	38.480	4.173	1.267	0.921	21.416	49.070
EV TANQUE	130.5	167.5	120.6	123.1	38.7	108.7	91.7	114.5	146.5	140.2	163.7	131.6
EVAPOT	110.93	142.38	102.51	104.64	32.90	92.40	77.95	87.33	124.53	119.17	139.15	111.86
ALMACENAJE							470	372.66	340.24	232.52	200.94	140.66
FORMD ALMACE								421.34	-341.30	312.10	270.51	196.59
EV REAL	110.93	142.38	102.51	104.64	32.90	92.40	77.95	5.23	0.99	0.16	0.00	0.00
REMANENTE DEL ALM.								484.77	371.69	340.09	252.52	200.94
RECARGA TEORICA	-49	11.91	163.32	101.26	197.42	26.33	-39	-1	0	1	21	49
RECARGA REAL	0	11.91	163.32	101.26	197.42	26.33	0.00	0.00	0.28	0.76	21.41	49.07
REGLA DE TRES	0.00	11.19	153.44	95.15	165.48	24.74	0.00	0.00	0.28	0.72	20.12	46.10
DIFERENCIA	0	0.72	9.88	6.12	11.94	1.59	0.00	0.00	0.02	0.05	1.30	2.97
REMANENTE DE REC.												
	0.00	0.00	0.21	0.15	0.11	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
				2.88	2.04	1.15	0.41	0.28	0.16	0.10	0.09	0.08
				1.79	1.01	0.36	0.23	0.14	0.09	0.03	0.05	3.74
					5.23	1.85	1.17	0.74	0.47	0.42	0.26	10.13
						1.03	0.65	0.41	0.26	0.23	0.15	2.72
Q TOTAL mm/mes	1.67588	7.08537	20.0485	16.1439	29.9175	16.6939	3.66672	2.31354	1.46975	0.92104	0.82068	0.95317

**CUADRO 5.4
CALIBRACIÓN DEL MODELO DE LA CUENCA DE LA ESTACIÓN CHICHÉ**

Año 78-79	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	54	34	25	30	30	43	40	40	40	40	40	56
Qd + Qb, subcuena 1	1.431	6.252	18.083	16.755	27.888	16.147	3.765	2.376	1.499	0.946	0.843	1.131
Qd + Qb, subcuena 2	2.257	9.016	24.455	20.967	34.041	17.213	3.034	1.914	1.208	0.762	0.679	0.927
Qd + Qb, subcuena 3	1.676	7.086	20.048	18.144	29.917	16.694	3.667	2.314	1.460	0.921	0.821	0.958
Modelo Qd + Qb	5.36	22.35	62.59	55.87	91.85	50.054	10.47	6.60	4.17	2.629	2.343	3.016
Registro mm/mes	5.15	21.17	59.83	54.94	91.14	49.40	10.11	6.01	4.00	3.13	3.46	3.46
modelo m3/seg	0.42	1.74	4.86	4.34	7.14	3.89	0.81	0.51	0.32	0.20	0.18	0.23
Registro m3/seg	0.40	1.65	4.65	4.27	7.08	3.64	0.79	0.47	0.31	0.24	0.27	0.27

Año 79-80	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	70	35	37	38	27	48	40	40	40	40	40	82
Qd + Qb, subcuena 1	4.188	4.504	10.835	15.322	55.448	21.210	4.277	2.699	1.703	1.074	0.958	1.321
Qd + Qb, subcuena 2	5.430	6.735	13.827	19.272	67.599	23.960	4.271	2.695	1.700	1.073	0.956	1.250
Qd + Qb, subcuena 3	4.571	5.173	11.386	16.194	58.715	20.951	3.804	2.400	1.514	0.955	0.852	1.143
Modelo Qd + Qb	14.19	16.41	35.85	50.79	181.76	66.122	12.35	7.79	4.92	3.103	2.765	3.714
Registro	15.82	17.31	35.51	52.24	184.27	64.97	13.32	11.19	6.50	4.44	3.68	3.59
modelo m3/seg	1.10	1.28	2.79	3.85	14.13	5.14	0.98	0.61	0.38	0.24	0.21	0.29
Registro m3/seg	1.23	1.35	2.76	4.06	14.32	5.05	1.04	0.87	0.51	0.35	0.29	0.28

Año 80-81	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	97	36	40	30	39	80	40	40	40	40	40	59
Qd + Qb, subcuena 1	2.078	6.068	10.091	12.243	23.761	16.177	4.763	3.005	1.896	1.196	1.066	1.677
Qd + Qb, subcuena 2	2.433	8.691	13.748	17.292	29.797	18.467	5.297	3.342	2.109	1.331	1.186	1.621
Qd + Qb, subcuena 3	2.190	6.860	11.211	13.791	25.596	16.826	4.908	3.097	1.954	1.233	1.099	1.488
Modelo Qd + Qb	6.70	21.62	35.05	43.33	79.15	51.470	14.97	9.44	5.96	3.760	3.351	4.786
Registro	7.86	23.47	33.12	44.08	78.49	53.88	15.56	8.41	5.81	4.19	4.21	4.05
modelo m3/seg	0.52	1.68	2.72	3.37	6.15	4.00	1.16	0.73	0.46	0.29	0.26	0.37
Registro m3/seg	0.61	1.82	2.57	3.43	6.10	4.19	1.21	0.65	0.45	0.33	0.33	0.31

Año 81-82	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	41	26	22	24	28	30	40	40	40	40	40	60
Qd + Qb, subcuena 1	1.820	7.121	10.394	14.599	27.213	18.787	5.587	3.525	2.224	1.403	1.251	0.789
Qd + Qb, subcuena 2	3.010	10.603	14.051	18.259	32.985	22.225	4.654	2.937	1.853	1.169	1.042	0.657
Qd + Qb, subcuena 3	2.170	8.165	11.543	15.810	29.123	19.986	5.439	3.432	2.165	1.368	1.218	0.768
Modelo Qd + Qb	7.00	25.89	35.99	48.67	89.32	60.999	15.68	9.89	6.24	3.939	3.510	2.215
Registro	7.70	25.30	35.10	47.20	87.50	60.90	16.90	8.60	6.00	4.40	4.20	4.00
modelo m3/seg	0.54	2.01	2.80	3.78	6.94	4.74	1.22	0.77	0.49	0.31	0.27	0.17
Registro m3/seg	0.60	1.97	2.81	3.67	6.80	4.73	1.31	0.67	0.47	0.34	0.33	0.31

Año 83-84	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	88	27	25	37	48	51	40	40	40	40	40	72
Qd + Qb, subcuena 1	2.018	7.201	12.441	15.156	26.356	17.634	4.643	2.930	1.848	1.166	1.039	1.471
Qd + Qb, subcuena 2	2.542	10.635	13.453	18.677	31.321	21.436	5.256	3.317	2.093	1.320	1.177	1.464
Qd + Qb, subcuena 3	2.180	8.233	12.841	15.794	28.002	18.994	4.828	3.109	1.962	1.236	1.103	1.362
Modelo Qd + Qb	6.74	26.07	38.73	47.63	85.76	58.064	14.83	9.36	5.90	3.724	3.318	4.297
Registro	7.70	25.10	39.60	47.70	86.70	58.80	17.20	8.40	5.90	4.40	4.10	4.00
modelo m3/seg	0.52	2.03	3.01	3.70	6.67	4.51	1.15	0.73	0.46	0.29	0.26	0.33
Registro m3/seg	0.60	1.95	3.08	3.71	6.74	4.57	1.34	0.65	0.46	0.34	0.32	0.31

Año 84-85	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	24	26	18	25	29	48	40	40	40	40	40	84
Qd + Qb, subcuena 1	1.441	7.025	13.132	18.001	24.661	14.727	4.985	2.754	1.738	1.096	0.977	1.016
Qd + Qb, subcuena 2	2.977	9.856	18.255	19.426	30.746	17.091	4.763	3.005	1.896	1.196	1.066	1.026
Qd + Qb, subcuena 3	1.875	8.013	14.903	17.554	26.992	15.963	4.672	2.948	1.860	1.174	1.046	0.986
Modelo Qd + Qb	6.29	24.89	46.29	52.98	82.40	47.781	13.60	8.71	5.49	3.467	3.090	3.028
Registro	7.80	24.10	43.40	51.30	81.00	51.10	16.20	8.00	5.60	4.10	4.00	3.90
modelo m3/seg	0.49	1.93	3.60	4.12	6.40	3.71	1.07	0.68	0.43	0.27	0.24	0.24
Registro m3/seg	0.61	1.87	3.37	3.99	6.30	3.97	1.28	0.62	0.44	0.32	0.31	0.30

Año 85-86	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Cn	42	21	41	53	27	25	40	40	40	40	40	75
Qd + Qb, subcuena 1	2.057	3.867	13.142	14.952	24.066	16.573	5.702	3.598	2.270	1.432	1.277	0.851
Qd + Qb, subcuena 2	3.309	8.367	15.792	17.876	31.099	19.702	3.183	2.009	1.267	0.800	0.713	0.480
Qd + Qb, subcuena 3	2.427	6.904	14.057	15.943	27.195	17.700	5.181	3.269	2.083	1.302	1.160	0.754
Modelo Qd + Qb	7.79	22.14	42.99	48.77	84.18	53.975	14.07	8.88	5.60	3.538	3.149	2.084
Registro	7.50	23.30	42.00	50.50	82.50	54.50	17.10	8.10	5.70	4.20	4.10	4.00
modelo m3/seg	0.61	1.72	3.34	3.79	6.54	4.20	1.09	0.69	0.44	0.27	0.24	0.16
Registro m3/seg	0.58	1.81	3.26	3.93	6.41	4.24	1.33	0.63	0.44	0.33	0.32	0.31

promedio Cn Secco	52	29	31	36	28	37	40	40	40	40	40	68
promedio Cn Húmedo	70	30	28	31	39	60	40	40	40	40	40	72

5.2 TRANSPOSICIÓN DEL MODELO AL SITIO CHUARANCAJAY

Para lograr la transposición de caudales de la estación Chiché al sitio, y sobre la base de la calibración se harán las siguientes suposiciones:

1. La geomorfología de las cuencas es similar.
2. La Evaporación rige igual sobre ambas cuencas.
3. La cuenca del sitio Chuarancajay cuenta con una estación pluviométrica representativa.
4. Se conocen, de la calibración del modelo sobre la cuenca de la estación Chiché, los valores de C_n , válidos para ambas cuencas.
5. El modelo estocástico de la estación Chiché es válido para la simulación de los caudales hasta Chuarancajay.

5.2.1 GEOMORFOLOGÍA:

De la geomorfología se conoce que las regiones son conformadas por depósitos de rocas, con iguales características de impermeabilidad. Por lo cual el método de Número de curva es valido.

5.2.2 EVAPORACIÓN:

De la vegetación y uso del suelo, que son similares en ambas cuencas y debido a que las variables meteorológicas que la determinan no son muy variables en áreas pequeñas, para determinar la evaporación del año 1994 al 2000, se relacionaron las estaciones de San Martín Jilotepeque, Chinique y Chiguilá. Por medio del programa HEC-4 se procedió a extender los registros de evaporación piche, por no diferir de los registros de evaporación del tanque de la estación Chiguilá. Se asume que la evaporación no varía sustancialmente en la cuenca estudiada.

5.2.3 CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN:

Para trabajar la simulación, y al igual que en la calibración, se divide la cuenca en estudio en subcuencas, las cuales para este caso serán dos, denominándolas como Chiché y Palamá, que juntas completan la cuenca hasta el sitio Chuarancajay. Para cada una de las cuales se cuentan con dos estaciones pluviométricas representativas (estación Chiguila y estación Aldea Palamá, respectivamente), que por encontrarse en las cercanías de cada una de las cuencas son representativas de la precipitación sobre las mismas, por lo que se puede relacionar con su régimen de precipitación.

De los registros de precipitación, y al igual que en la calibración, se determina el año más seco así como el más húmedo de precipitación sobre las subcuencas, para determinar un factor K aplicable a los años secos y otro a los años húmedos, hasta Chuarancajay, utilizado en la estimación de los caudales:

Cuenca	Año Húmedo	Año Seco
Chiché	0.8227	0.6118
Palamá	0.8122	0.9604

VALORES DE CN:

Del modelo de la estación Chiché se determinaron los siguientes valores de Cn para los diferentes años, estableciendo del promedio de los años ya calibrados, siendo éstos:

AÑO SECO

MES	May	Jul	Jun	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Cn	52	29	41	36	28	37	40	40	40	40	40	68

AÑO HÚMEDO

MES	May	Jul	Jun	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Cn	70	30	28	31	39	60	40	40	40	40	40	72

5.3 MODELO DE SIMULACIÓN:

Por utilizarse el método de similitud de cuencas se aplica el mismo modelo precipitación-escorrentía de la estación Chiché para la simulación de caudales en la cuenca hasta el sitio Chuarancajay. Utilizando tanto el mismo formato como el procedimiento de cálculo.

CUADRO 5.5
MODELO DE SIMULACIÓN POR AÑO HIDROLÓGICO
DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA HASTA EL SITIO CHUARANCAJAY

Año 70-71	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	34	333	448	328	578	370	27	71	10	37	8	20
Precipitación Chiguallá	191	154	171	288	503	274	66	81	2	20	6	34
Cn	35	54	60	40	28	48	40	40	40	40	40	72
Modelo Palamá	0.000	116.365	219.460	68.205	123.427	137.939	14.338	9.047	5.708	3.602	3.210	2.025
Modelo Est. Chiché	7.36	26.13	44.31	51.22	96.16	98.70	18.99	11.98	7.56	4.77	4.25	3.31
Modelo Chuarancajaj	7.377	142.494	263.768	119.426	219.585	236.634	33.328	21.029	13.268	8.372	7.461	5.339
Caudal m ³ /seg	1.542	30.781	55.140	24.968	47.433	49.467	7.199	4.396	2.774	1.938	1.560	1.153

Año 71-72	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	126	318	247	317	309	298	116	27	12	11	46	34
Precipitación Chiguallá	16	215	125	266	317	182	72	10	3	2	1	17
Cn	52	52	84	58	60	75	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	17.603	135.926	197.510	157.764	173.183	217.396	7.429	2.808	1.772	1.118	0.996	2.118
Modelo Est. Chiché	0.000	22.452	43.540	50.191	88.734	58.779	3.194	2.015	1.272	0.802	0.715	0.451
Modelo Chuarancajaj	17.80	158.38	241.05	207.95	281.92	276.18	10.62	4.82	3.04	1.92	1.71	2.57
Caudal m ³ /seg	3.722	34.212	50.391	43.472	56.578	57.733	2.295	1.008	0.636	0.444	0.358	0.555

Año 72-73	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	110	469	201	203	219	199	65	22	11	3	17	52
Precipitación Chiguallá	25	289	223	136	189	130	31	9	1	3	2	7
Cn	52	42	52	74	84	88	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	11.772	197.845	60.140	122.153	164.772	159.750	0.619	0.391	0.246	0.155	0.139	0.752
Modelo Est. Chiché	0.000	24.870	41.316	49.637	88.302	80.041	3.109	1.961	1.238	0.781	0.696	0.439
Modelo Chuarancajaj	11.77	222.71	101.46	171.79	253.09	219.79	3.73	2.35	1.48	0.94	0.83	1.19
Caudal m ³ /seg	2.461	48.110	21.209	35.912	54.672	45.947	0.805	0.482	0.310	0.217	0.174	0.257

Año 73-74	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	127	305	209	314	328	289	43	28	5	8	18	73
Precipitación Chiguallá	11	165	119	250	351	266	16	8	17	8	24	7
Cn	52	65	80	70	45	62	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	18.210	175.292	143.051	203.194	115.633	145.359	5.285	3.322	2.098	1.323	1.179	5.268
Modelo Est. Chiché	0.000	25.746	29.226	71.689	50.320	85.375	8.901	5.616	3.544	2.236	1.993	1.257
Modelo Chuarancajaj	18.21	201.04	172.28	274.88	165.95	230.73	14.17	8.94	5.64	3.56	3.17	6.52
Caudal m ³ /seg	3.837	43.427	38.014	57.463	35.848	48.234	3.060	1.869	1.179	0.824	0.663	1.409

Año 74-75	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	253	284	183	139	235	121	38	34	7	1	23	3
Precipitación Chiguallá	246	248	412	257	281	103	9	4	14	2	38	10
Cn	39	43	30	25	40	60	40	40	40	40	40	67
Modelo Qd + Qb	50.695	79.004	7.073	2.514	44.515	29.877	1.042	0.658	0.415	0.262	0.233	0.147
Modelo Est. Chiché	10.778	23.192	35.435	29.946	51.710	36.017	11.260	7.105	4.483	2.828	2.521	1.581
Modelo Chuarancajaj	60.87	102.20	42.51	32.46	96.22	65.89	12.30	7.76	4.90	3.09	2.75	1.74
Caudal m ³ /seg	12.725	22.076	8.886	6.786	20.786	13.775	2.657	1.623	1.024	0.715	0.576	0.375

Año 75-76												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	203	304	274	266	379	241	43	31	10	21	45	94
Precipitación Chiguilá	36	140	149	174	326	174	19	9	2	5	1	32
Cn	65	70	79	75	62	75	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	92.294	192.595	177.040	227.491	172.029	6.462	6.462	4.077	2.573	1.623	1.447	11.995
Modelo Est. Chiché	0.000	23.524	41.538	46.007	87.437	52.335	2.245	1.417	0.894	0.584	0.503	0.317
Modelo Chuarancajay	92.29	216.22	239.44	223.05	314.93	224.36	8.71	5.49	3.47	2.19	1.95	12.31
Caudal m³/seg	19.294	46.707	50.055	46.627	68.029	46.903	1.881	1.149	0.725	0.506	0.408	2.660

Año 76-77												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	194	262	200	204	264	206	60	26	11	3	17	52
Precipitación Chiguilá	114	188	77	101	195	220	45	9	17	8	24	7
Cn	51	58	80	70	64	60	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	33.528	94.170	118.278	91.234	111.650	67.116	2.945	1.858	1.173	0.740	0.659	4.583
Modelo Est. Chiché	7.000	46.067	27.157	25.412	65.628	70.574	0.771	0.486	0.307	0.194	0.173	0.109
Modelo Chuarancajay	40.53	140.24	145.44	116.65	177.28	137.59	3.72	2.34	1.48	0.93	0.83	4.69
Caudal m³/seg	3.472	30.293	30.403	24.384	38.295	28.784	0.803	0.490	0.309	0.216	0.174	1.014

Año 77-78												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	127	305	209	314	328	269	43	28	19	1	34	21
Precipitación Chiguilá	107	185	144	68	151	16	17	7	11	3	15	46
Cn	65	55	55	70	75	75	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	38.590	137.596	88.347	226.401	258.401	194.061	5.439	3.432	2.185	1.366	1.218	0.786
Modelo Est. Chiché	8.305	18.356	15.778	8.198	39.193	2.047	0.726	0.458	0.289	0.182	0.163	0.103
Modelo Chuarancajay	46.99	155.95	104.12	234.60	298.59	196.11	6.17	3.89	2.45	1.55	1.38	0.87
Caudal m³/seg	9.824	33.688	21.767	49.042	64.501	40.996	1.332	0.813	0.513	0.358	0.289	0.188

Año 78-79												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	114	310	352	283	353	148	54	22	5	9	24	97
Precipitación Chiguilá	76	196	350	271	314	157	47	6	2	1	19	44
Cn	71	54	48	55	64	73	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	40.908	137.515	143.955	131.125	215.679	73.718	1.865	1.177	0.742	0.468	0.417	12.465
Modelo Est. Chiché	5.565	20.605	56.287	55.838	96.573	59.205	8.635	5.448	3.438	2.169	1.933	1.220
Modelo Chuarancajay	46.47	156.12	202.24	187.06	312.25	132.92	10.50	6.62	4.18	2.64	2.35	13.68
Caudal m³/seg	9.715	34.156	42.278	39.104	67.451	27.787	2.268	1.385	0.874	0.610	0.491	2.956

Año 79-80												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	216	253	411	271	680	184	16	73	4	39	28	63
Precipitación Chiguilá	57	179	191	202	441	147	11	31	22	5	1	15
Cn	80	45	45	50	48	56	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	117.058	45.308	130.912	76.278	330.464	53.173	7.064	4.457	2.812	1.774	1.582	6.577
Modelo Est. Chiché	11.968	18.338	30.439	49.165	181.797	53.753	12.786	8.068	5.090	3.212	2.862	1.806
Modelo Chuarancajay	129.03	63.65	161.35	125.44	512.26	106.93	19.85	12.52	7.90	4.99	4.44	10.38
Caudal m³/seg	25.973	13.748	33.730	26.223	110.656	22.363	4.288	2.618	1.652	1.154	0.928	2.243

Año 80-81												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	160	307	361	255	296	184	36	30	16	31	10	2
Precipitación Chiguilá	9	183	169	248	208	35	5	7	1	8	1	42
Cn	52	50	60	65	59	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	33.409	122.388	211.536	142.967	152.342	113.495	4.553	2.873	1.813	1.144	1.019	0.643
Modelo Est. Chiché	0.000	11.869	20.238	59.879	30.803	5.304	1.509	0.952	0.801	0.379	0.338	0.213
Modelo Chuarancayaj	33.41	134.26	231.77	202.65	183.15	118.80	6.06	3.82	2.41	1.52	1.36	0.86
Caudal m ³ /seg	6.984	29.001	48.451	42.362	39.562	24.835	1.309	0.800	0.504	0.352	0.284	0.185

Año 81-82												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	159	355	283	308	388	321	12	39	3	87	40	20
Precipitación Chiguilá	126	272	337	321	327	265	3	19	2	21	1	8
Cn	47	40	38	45	74	74	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	14.411	75.868	52.099	91.027	250.745	190.032	4.409	2.782	1.755	1.108	0.987	0.623
Modelo Est. Chiché	6.462	41.202	71.486	87.523	205.885	150.009	4.104	2.589	1.634	1.031	0.919	0.580
Modelo Chuarancayaj	20.87	117.07	123.56	188.55	456.64	340.04	8.51	5.37	3.39	2.14	1.91	1.20
Caudal m ³ /seg	4.363	25.289	25.831	39.416	98.641	71.084	1.839	1.123	0.708	0.495	0.398	0.260

Año 82-83												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	233	354	349	174	373	152	18	17	13	13	21	15
Precipitación Chiguilá	207	177	235	81	281	109	26	5	1	52	8	15
Cn	42	55	54	80	70	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	46.789	179.471	180.871	129.619	268.515	100.635	3.677	2.320	1.484	0.924	0.823	0.519
Modelo Est. Chiché	7.836	16.217	37.739	27.884	87.230	30.520	2.027	1.279	0.807	0.509	0.454	0.286
Modelo Chuarancayaj	54.62	195.69	218.61	157.50	355.75	131.15	5.70	3.60	2.27	1.43	1.28	0.81
Caudal m ³ /seg	11.419	42.271	45.700	32.926	76.846	27.417	1.232	0.752	0.475	0.332	0.267	0.174

Año 83-84												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	7	450	310	234	217	247	164	18	7	15	30	20
Precipitación Chiguilá	21	265	231	145	162	124	55	5	3	4	5	25
Cn	90	37	50	70	79	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	0.040	153.561	155.041	162.352	166.167	187.059	18.571	2.696	1.701	1.073	0.956	0.603
Modelo Est. Chiché	1.465	11.257	39.275	36.455	55.623	35.863	1.549	0.977	0.617	0.389	0.347	0.219
Modelo Chuarancayaj	1.50	164.82	194.32	199.81	221.79	222.92	20.12	3.67	2.32	1.46	1.30	0.82
Caudal m ³ /seg	0.314	55.603	40.621	41.560	47.910	46.601	4.346	0.788	0.484	0.338	0.272	0.178

Año 84-85												
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	281	303	379	314	255	141	34	21	1	3	4	107
Precipitación Chiguilá	246	248	412	257	281	103	9	11	1	6	12	13
Cn	30	38	35	56	54	72	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	17.132	49.041	71.230	119.263	76.589	52.077	2.014	1.271	0.802	0.506	0.451	27.460
Modelo Est. Chiché	10.393	40.906	104.338	120.751	118.060	57.863	11.381	7.181	4.531	2.859	2.548	1.808
Modelo Chuarancayaj	27.53	89.95	175.57	240.01	194.65	109.94	13.40	8.45	5.33	3.36	3.00	29.07
Caudal m ³ /seg	5.754	19.430	36.702	50.174	42.047	22.983	2.894	1.767	1.115	0.779	0.627	6.279

Año 85-86	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	97	374	204	273	396	246	32	32	4	7	13	52
Precipitación Chigüilá	123	336	179	135	350	321	32	25	4	2	4	16
Cn	53	32	48	75	58	53	35	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	8.467	78.800	48.157	183.568	224.624	89.405	1.813	1.144	0.722	0.455	0.406	0.920
Modelo Est. Chiché	3.571	15.298	20.917	37.113	93.026	77.835	25.103	15.839	9.993	6.305	5.620	3.546
Modelo Chuarancajay	12.04	95.10	70.07	220.68	317.65	167.24	26.92	16.98	10.72	6.76	6.03	4.47
Caudal m ³ /seg	2.517	20.543	14.649	46.132	68.617	34.961	5.814	3.550	2.240	1.565	1.260	0.965

Año 86-87	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	237	282	327	259	386	195	58	23	14	29	15	13
Precipitación Chigüilá	127	245	193	253	252	196	38	9	13	61	34	1
Cn	52	48	65	57	75	57	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	78.665	95.738	196.853	112.080	286.843	68.924	6.123	3.864	2.438	1.538	1.371	0.865
Modelo Est. Chiché	3.578	24.317	36.180	44.026	84.877	24.366	0.772	0.487	0.307	0.194	0.173	0.108
Modelo Chuarancajay	82.24	120.06	233.03	156.11	371.72	90.29	6.90	4.35	2.75	1.73	1.54	0.97
Caudal m ³ /seg	17.193	25.934	48.715	32.634	80.297	18.875	1.490	0.910	0.574	0.401	0.323	0.210

Año 87-88	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	129	354	552	295	387	37	20	34	13	61	34	1
Precipitación Chigüilá	75	462	108	368	290	221	85	14	1	5	1	28
Cn	66	20	69	28	47	47	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	29.499	4.275	341.087	19.517	127.627	9.031	3.204	2.022	1.276	0.805	0.717	0.453
Modelo Est. Chiché	7.588	25.230	43.947	49.879	91.106	59.115	17.492	11.037	6.964	4.394	3.916	2.576
Modelo Chuarancajay	37.09	30.50	385.03	69.40	218.73	68.15	20.70	13.06	8.24	5.20	4.63	3.03
Caudal m ³ /seg	7.753	6.589	60.490	14.507	47.250	14.246	4.471	2.730	1.722	1.203	0.969	0.654

Año 88-89	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	75	462	108	368	290	221	85	14	3	7	18	31
Precipitación Chigüilá	75	437	171	393	176	213	35	3	13	10	2	67
Cn	66	21	51	25	68	45	40	40	40	40	40	60
Modelo Qd + Qb	7.290	29.750	10.089	27.318	140.751	35.314	2.811	1.774	1.119	0.706	0.629	0.397
Modelo Est. Chiché	7.588	25.236	50.277	53.985	94.274	49.054	15.666	9.885	6.237	3.935	3.507	4.583
Modelo Chuarancajay	14.88	54.99	60.38	81.30	235.02	84.37	18.48	11.66	7.36	4.64	4.14	4.98
Caudal m ³ /seg	3.110	11.878	12.621	16.986	50.769	17.637	3.991	2.437	1.538	1.074	0.865	1.076

Año 89-90	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	270	235	449	286	500	244	111	68	2	24	20	19
Precipitación Chigüilá	80	208	238	279	389	169	43	45	12	3	29	67
Cn	64	43	45	40	35	47	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	109.036	39.156	153.286	54.612	135.131	70.943	21.524	13.270	8.973	5.283	4.708	2.971
Modelo Est. Chiché	7.700	24.482	44.127	48.791	82.067	41.093	16.824	10.615	6.698	4.226	3.766	11.700
Modelo Chuarancajay	116.74	57.61	197.41	103.40	217.20	112.04	38.35	23.88	15.07	9.51	8.47	14.67
Caudal m ³ /seg	24.403	12.444	41.268	21.616	48.918	23.421	8.284	4.993	3.150	2.201	1.772	3.169

Año 90-91	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	142	304	435	210	397	202	77	47	11	13	29	53
Precipitación Chigüilá	99	171	209	109	283	148	40	49	16	8	1	3
Cn	65	62	65	82	70	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	48.358	163.337	293.734	152.483	276.498	138.900	1.642	1.036	0.654	0.412	0.368	1.007
Modelo Est. Chiché	6.490	23.963	42.577	27.712	88.048	45.890	1.070	0.675	0.426	0.269	0.240	0.151
Modelo Chuarancalaj	54.85	186.90	336.31	180.20	368.55	184.79	2.71	1.71	1.08	0.68	0.61	1.18
Caudal m ³ /seg	11.466	40.373	70.305	37.669	79.179	38.630	0.586	0.358	0.226	0.158	0.127	0.250

Año 91-92	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	268	328	283	198	367	334	21	21	13	13	2	35
Precipitación Chigüilá	158	332	87	108	284	144	11	7	1	2	16	52
Cn	50	37	60	68	65	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	92.661	63.811	160.346	119.448	247.049	287.076	4.134	2.608	1.646	1.038	0.925	0.584
Modelo Est. Chiché	7.015	24.769	22.109	25.243	76.520	46.601	2.012	1.270	0.801	0.505	0.480	0.284
Modelo Chuarancalaj	99.68	108.58	182.45	144.68	323.57	313.68	6.15	3.88	2.45	1.54	1.38	0.87
Caudal m ³ /seg	20.837	23.455	38.142	30.247	69.896	65.573	1.328	0.811	0.511	0.357	0.288	0.188

Año 92-93	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	140	274	289	260	298	188	53	42	9	8	14	31
Precipitación Chigüilá	31	222	154	159	179	118	30	39	3	3	5	50
Cn	80	52	65	65	65	70	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	80.022	103.761	175.947	155.379	189.163	109.018	5.256	3.316	2.093	1.320	1.177	0.742
Modelo Est. Chiché	0.563	24.454	28.662	28.403	34.194	17.852	0.671	0.423	0.267	0.168	0.150	0.095
Modelo Chuarancalaj	80.58	128.22	204.61	183.78	223.36	126.87	5.93	3.74	2.36	1.49	1.33	0.84
Caudal m ³ /seg	16.846	27.696	42.773	38.419	48.248	26.521	1.280	0.782	0.493	0.345	0.277	0.181

Año 93-94	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	192	342	321	365	466	227	61	23	9	18	15	64
Precipitación Chigüilá	142	276	215	328	348	278	8	6	6	8	4	34
Cn	44	35	48	38	45	50	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	20.102	51.469	97.084	84.700	170.051	66.237	10.494	6.621	4.178	2.636	2.349	9.409
Modelo Est. Chiché	7.249	28.143	46.592	68.979	110.923	93.758	14.973	9.447	5.961	3.761	3.352	2.746
Modelo Chuarancalaj	27.35	80.61	143.68	153.68	280.97	160.00	25.47	16.07	10.14	6.40	5.70	12.16
Caudal m ³ /seg	5.718	17.413	30.035	32.126	60.695	33.448	5.501	3.359	2.119	1.481	1.192	2.626

Año 94-95	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	237	285	351	299	323	193	54	27	19	28	20	27
Precipitación Chigüilá	100	117	185	194	220	165	65	14	1	1	1	88
Cn	66	78	70	80	59	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	122.121	203.762	234.770	223.696	167.986	130.578	1.542	0.973	0.614	0.387	0.345	0.218
Modelo Est. Chiché	7.390	25.431	41.724	66.280	35.748	51.800	0.171	0.108	0.068	0.043	0.038	1.016
Modelo Chuarancalaj	129.51	229.19	276.49	289.98	203.73	182.36	1.71	1.08	0.68	0.43	0.38	1.23
Caudal m ³ /seg	27.074	49.509	57.800	60.618	44.009	38.125	0.370	0.226	0.143	0.100	0.090	0.267

Año 96-96	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	216	345	322	310	578	252	18	31	8	1	27	50
Precipitación Chigüilá	186	242	58	411	507	227	11	25	1	1	10	140
Cn	57	88	58	62	80	79	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	57.190	177.977	128.356	144.463	418.195	150.943	3.430	2.164	1.366	0.862	0.768	4.120
Modelo Est. Chiché	8.199	27.280	44.488	66.669	131.873	84.192	1.932	1.219	0.769	0.485	0.433	17.637
Modelo Chuarancajay	65.39	205.26	172.85	211.16	550.07	235.13	5.36	3.38	2.13	1.35	1.20	21.76
Cautal m ³ /seg	13.669	44.338	38.134	44.143	118.823	49.154	1.158	0.707	0.446	0.312	0.251	4.700

Año 96-97	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	265	263	366	223	296	121	83	24	1	19	1	23
Precipitación Chigüilá	265	104	309	181	229	100	97	6	1	8	9	18
Cn	28	80	34	51	63	80	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	9.702	98.951	63.118	60.532	136.429	58.711	3.401	2.146	1.354	0.854	0.761	0.480
Modelo Est. Chiché	10.312	28.372	48.853	58.056	108.102	54.336	6.408	4.022	2.538	1.601	1.427	0.900
Modelo Chuarancajay	20.01	127.32	111.97	118.60	244.53	113.05	9.81	6.17	3.69	2.48	2.19	1.38
Cautal m ³ /seg	4.184	27.504	23.407	24.792	52.822	23.632	2.119	1.289	0.814	0.568	0.457	0.298

Año 97-98	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	266	315	280	261	550	190	46	74	9	9	18	70
Precipitación Chigüilá	124	302	144	175	425	145	28	41	3	3	4	43
Cn	50	32	69	64	38	80	40	40	40	40	40	72
Modelo Qd + Qb	65.131	33.827	139.931	109.183	175.774	113.698	5.648	3.564	2.249	1.419	1.265	10.927
Modelo Est. Chiché	8.594	29.021	63.983	65.982	116.208	103.592	13.055	8.237	5.197	3.279	2.923	3.977
Modelo Chuarancajay	73.73	62.85	203.91	175.16	291.98	217.29	18.70	11.80	7.45	4.70	4.19	14.90
Cautal m ³ /seg	15.412	13.578	42.628	36.618	63.072	45.423	4.040	2.467	1.557	1.087	0.875	3.219

Año 98-99	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	249	238	248	289	293	202	58	20	5	5	8	48
Precipitación Chigüilá	97	237	270	171	252	158	43	5	2	3	9	45
Cn	67	50	53	76	80	80	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	135.152	73.186	94.451	209.624	224.057	138.052	1.341	0.846	0.534	0.337	0.300	0.493
Modelo Est. Chiché	7.390	25.483	49.469	63.606	109.768	54.625	2.419	1.526	0.963	0.608	0.541	0.342
Modelo Chuarancajay	142.54	90.68	143.92	273.23	333.82	192.68	3.76	2.37	1.50	0.94	0.84	0.83
Cautal m ³ /seg	29.798	21.316	30.086	57.118	72.111	40.278	0.812	0.496	0.313	0.219	0.176	0.180

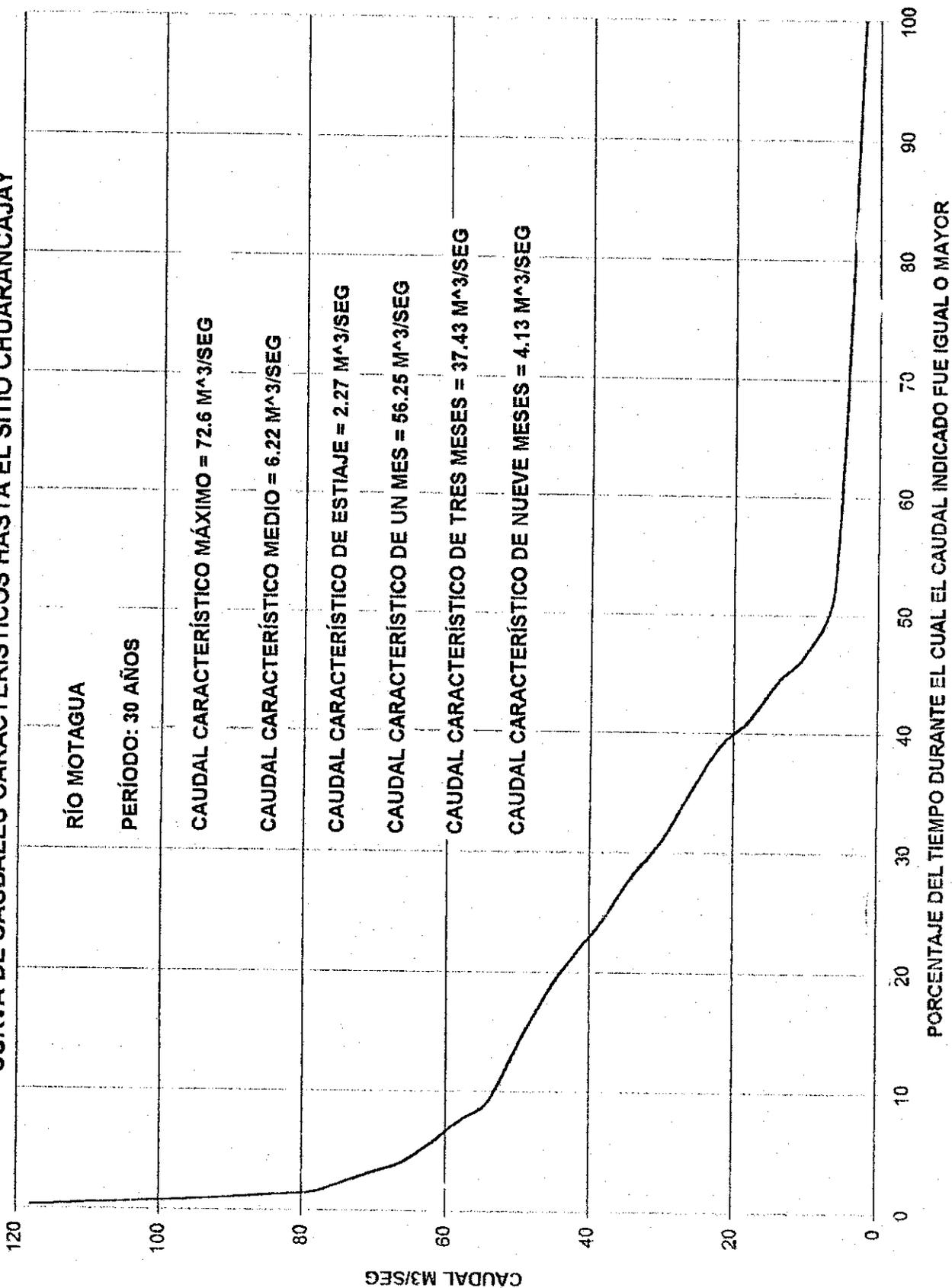
Año 99-2000	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Precipitación Aldea Palamá	183	338	393	157	329	265	41	29	5	15	24	29
Precipitación Chigüilá	134	226	183	130	352	207	29	12	1	3	2	26
Cn	58	50	70	80	59	72	40	40	40	40	40	57
Modelo Qd + Qb	59.608	142.161	200.203	101.876	173.718	177.586	4.385	2.787	1.748	1.102	0.982	0.619
Modelo Est. Chiché	8.915	22.405	45.256	37.381	90.164	70.538	5.318	3.355	2.117	1.336	1.190	0.751
Modelo Chuarancajay	66.72	164.57	245.46	139.26	263.88	248.12	9.70	6.12	3.86	2.44	2.17	1.37
Cautal m ³ /seg	14.366	35.549	51.312	29.111	57.002	51.869	2.096	1.280	0.808	0.564	0.454	0.286

CUADRO No. 5.6
CAUDALES MENSUALES
HASTA EL SITIO CHUARANCAJAY

ANOS	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1970	1.54	30.78	55.14	24.97	47.43	49.47	7.20	4.40	2.77	1.94	1.56	1.153
1971	3.72	34.21	50.39	43.47	56.58	57.73	2.29	1.01	0.64	0.44	0.36	0.555
1972	2.46	48.11	21.21	36.91	54.67	45.95	0.81	0.49	0.31	0.22	0.17	0.257
1973	3.81	43.43	36.01	57.46	35.85	48.23	3.06	1.87	1.18	0.82	0.66	1.409
1974	12.73	22.08	8.89	6.79	20.79	13.77	2.66	1.62	1.02	0.72	0.58	0.375
1975	19.29	46.71	50.05	46.63	68.03	46.90	1.88	1.15	0.72	0.51	0.41	2.690
1976	8.47	30.29	30.40	24.38	36.29	28.76	0.80	0.49	0.31	0.22	0.17	1.014
1977	9.82	33.69	21.77	49.04	64.50	40.90	1.33	0.81	0.51	0.36	0.28	0.188
1978	9.72	34.16	42.28	39.10	67.45	27.79	2.27	1.38	0.87	0.61	0.49	2.956
1979	26.97	13.75	33.73	26.22	110.66	22.35	4.29	2.82	1.65	1.15	0.93	2.243
1980	6.98	29.00	48.45	42.36	39.50	24.80	1.31	0.80	0.50	0.35	0.28	0.185
1981	4.36	25.29	25.63	39.42	98.84	71.08	1.84	1.12	0.71	0.49	0.40	0.260
1982	11.42	42.27	45.70	32.90	76.80	27.40	1.23	0.75	0.48	0.33	0.27	0.174
1983	0.31	35.60	40.60	41.50	47.90	46.60	4.35	0.77	0.48	0.34	0.27	0.178
1984	5.75	19.43	36.70	50.17	42.05	22.98	2.89	1.77	1.11	0.76	0.63	6.279
1985	2.52	20.54	14.65	46.13	68.62	34.96	5.81	3.55	2.24	1.56	1.26	0.965
1986	17.19	25.93	48.71	32.63	80.30	18.87	1.49	0.91	0.57	0.40	0.32	0.210
1987	7.75	6.59	80.49	14.51	47.25	14.25	4.47	2.73	1.72	1.20	0.97	0.654
1988	3.11	11.88	12.62	17.00	50.77	17.64	3.99	2.44	1.54	1.07	0.86	1.076
1989	24.40	12.44	41.27	21.62	46.92	23.42	8.28	4.89	3.15	2.20	1.77	3.169
1990	11.47	40.37	70.30	37.67	79.18	36.63	0.69	0.36	0.23	0.16	0.13	0.250
1991	20.84	23.46	36.14	30.25	69.90	65.57	1.33	0.81	0.51	0.36	0.29	0.188
1992	16.85	27.70	42.77	38.42	42.25	26.52	1.28	0.78	0.49	0.35	0.28	0.181
1993	5.72	17.41	30.03	32.13	60.69	33.45	5.50	3.36	2.12	1.48	1.19	2.626
1994	27.07	49.51	57.80	60.62	44.01	36.13	0.37	0.23	0.14	0.10	0.08	0.267
1995	13.67	44.34	36.13	44.14	118.82	49.15	1.16	0.71	0.45	0.31	0.25	4.700
1996	4.18	27.50	23.41	24.79	52.82	23.63	2.12	1.29	0.81	0.57	0.46	0.298
1997	15.41	13.58	42.63	36.62	63.07	45.42	4.04	2.47	1.56	1.09	0.88	3.219
1998	29.80	21.32	30.09	57.12	72.11	40.28	0.81	0.50	0.31	0.22	0.18	0.180
1999	14.37	35.55	51.31	29.11	57.00	51.87	2.10	1.28	0.81	0.56	0.45	0.296
2000	5.89	28.50	26.47	33.08	39.11	48.07	8.14	4.97				
MINIMO	0.31	6.59	8.89	6.79	20.79	13.77	0.37	0.23	0.14	0.10	0.08	0.174
PROMEDIO	11.21	28.88	36.52	36.00	60.06	36.92	2.89	1.69	1.00	0.70	0.56	1.27
MAXIMO	29.80	48.51	80.49	60.62	118.82	71.08	8.28	4.99	3.15	2.20	1.77	6.28

ÁREA 559.91 KM²

GRÁFICA No. 5.2
CURVA DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS HASTA EL SITIO CHUARANCAJAY



6 SEDIMENTOS

Son todas las partículas, cualquiera que sea su tamaño, proveniente de las rocas y suelos de una cuenca, que son arrastrados y transportados por una corriente. No se consideran como sedimentos a la materia orgánica ni sales disueltas en el agua. El estudio de transportes de sedimentos es de utilidad para resolver problemas tales como: una estimación de la cantidad de material lavado de material de la cuenca de un río.

TRANSPORTE DE SEDIMENTO: Es el fenómeno debido al cual las partículas del fondo y orillas de los cauces provenientes de la cuenca de éstos, son transportadas por el agua que conduce. Las formas comunes de transporte de las partículas son:

- a) Las partículas gruesas ruedan o se deslizan una sobre otra.
- b) Las partículas de tamaño medio ruedan una sobre otra, si la velocidad del flujo es baja y transportadas en suspensión, si la velocidad es alta.
- c) Las partículas finas son transportadas en suspensión.

El análisis de la granulometría del sedimento es importante para el diseño de obras tales como canales y desarenadores; así como el arrastre de material abrasivo (piedra pómez) característico de la zona, que puede causar deterioro en las máquinas hidráulicas de un sistema de bombeo.

6.1 CURVAS DE CAUDAL LÍQUIDO-SÓLIDO

Es un gráfico representativo de la relación entre el caudal sólido y el líquido, que se obtiene del muestreo esporádico de los sedimentos. Se determina por medio de una interpolación logarítmica de una curva que se ajuste lo más posible a la dispersión de aforos de sedimentos. Con la curva de gasto sólido se puede llegar a determinar el total de sedimento que arrastra un río en un determinado tiempo.

$$Q_{\text{sólido}} = \alpha * Q_{\text{líquido}}^{\beta}$$

Donde

$Q_{\text{sólido}}$ = gasto sólido

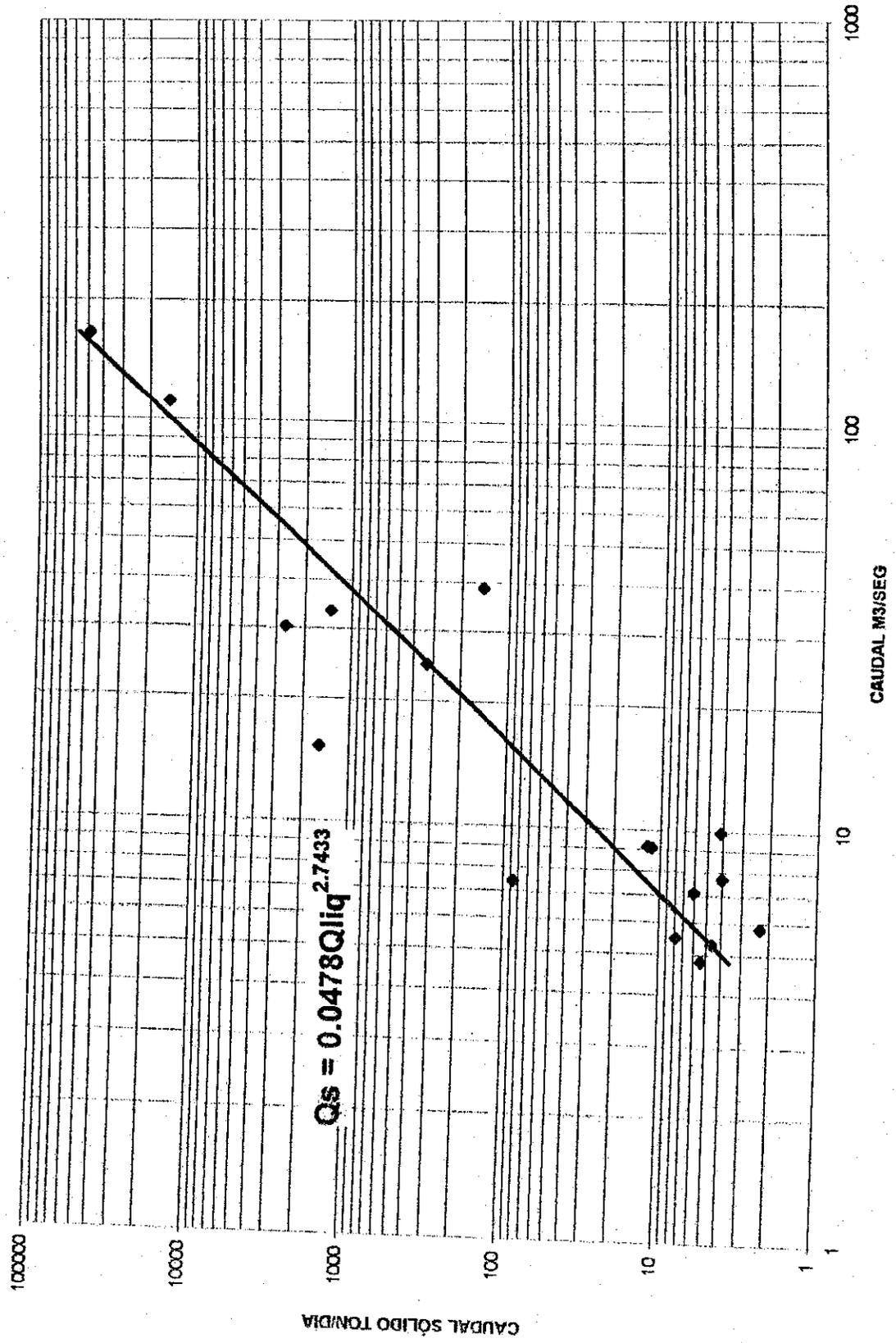
α , β = Constantes que se determinan de la regresión entre los logaritmos de los caudales sólidos versus los logaritmos de caudales líquidos.

$Q_{\text{líquido}}$ = gasto líquido.

6.2 DETERMINACIÓN DEL GASTO SÓLIDO

Para relacionar los caudales mensuales generados para el sitio Chuarancajay es necesario la determinación de la curva de descarga. Ésta se determinó por medio de la interpolación logarítmica de la curva que más se ajusta a la dispersión de aforos de sedimentos de la estación Concuá II (gráfica No.6.1). Utilizando las constantes de la curva se relacionaron los caudales medios mensuales generados para encontrar los caudales sólidos en un período de 30 años, los cuales se resumen mensualmente en el cuadro No.6.1.

GRÁFICA No 6.1
CURVA DE DESCARGA DE SEDIMENTOS



CUADRO No. 6.1
SEDIMENTOS EN TONELADAS/MES
HASTA EL SITIO CHUARANCAJAY

AÑOS	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Ton/Año	Ton/AñoKm ²
1970	0.15	578.39	2862.80	325.66	1894.23	2125.47	10.75	2.78	0.78	0.29	0.16	0.07	9771.5	17.5
1971	1.76	772.94	2236.06	1491.19	3072.30	3247.53	0.47	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	12793.3	22.8
1972	0.57	1969.22	208.20	882.91	2796.60	1735.75	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	9565.3	17.1
1973	1.87	1486.95	889.81	3205.99	878.61	1983.23	1.03	0.27	0.08	0.03	0.02	0.12	10421.0	18.6
1974	51.27	232.38	19.14	9.14	197.00	63.72	0.70	0.18	0.05	0.02	0.01	0.00	2547.6	4.6
1975	180.59	1815.64	2195.41	1807.21	5094.02	1836.84	0.27	0.07	0.02	0.01	0.00	0.70	14885.6	26.6
1976	16.80	553.61	569.11	305.28	1053.05	481.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	4945.1	8.8
1977	25.21	741.01	223.65	2075.46	401.42	1261.45	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	10705.3	19.1
1978	24.45	769.47	1381.48	1115.28	4976.15	436.84	0.45	0.12	0.03	0.01	0.01	0.93	10683.2	19.1
1979	402.60	60.39	743.41	372.67	19949.3	240.46	2.59	0.67	0.19	0.07	0.04	0.44	23154.8	41.4
1980	9.89	491.16	2007.68	1388.85	1146.50	319.76	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	7344.0	13.1
1981	2.72	337.35	357.56	1139.78	14116.4	5746.47	0.25	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	23681.6	42.3
1982	38.09	1380.77	1710.31	694.31	7104.60	420.35	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	13330.5	23.8
1983	0.00	862.03	1236.22	1312.86	1946.77	1804.31	2.69	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	9146.9	16.3
1984	5.81	163.72	937.21	2209.80	1360.89	259.51	0.88	0.23	0.06	0.02	0.01	7.38	6929.5	12.4
1985	0.60	190.74	75.43	1755.05	5215.69	820.24	5.98	1.54	0.44	0.16	0.09	0.04	10051.0	18.0
1986	117.04	361.48	2037.92	678.99	8027.71	151.20	0.14	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	13360.6	23.9
1987	13.17	8.43	8080.75	73.45	1874.14	69.88	2.91	0.75	0.21	0.08	0.04	0.01	12110.8	21.6
1988	1.07	42.44	50.13	113.41	2282.40	125.52	2.13	0.55	0.16	0.06	0.03	0.06	4606.0	8.2
1989	305.92	48.22	1292.87	219.34	1838.28	273.31	15.79	3.94	1.11	0.42	0.23	1.13	5989.6	10.70
1990	38.52	1217.36	5575.19	1006.54	7724.87	1078.53	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18631.0	33.28
1991	158.41	274.41	1041.58	551.29	5486.73	4605.21	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	14148.8	25.3
1992	110.68	432.92	1426.32	1062.46	1378.80	384.38	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	6787.7	12.1
1993	5.71	121.21	540.76	650.42	3725.14	726.40	5.14	1.33	0.38	0.14	0.08	0.68	7770.4	13.9
1994	406.77	2130.36	3257.83	3712.33	1542.29	1040.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14083.9	25.2
1995	62.39	1574.13	897.99	1555.15	23523.4	2088.74	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	3.34	31700.3	56.6
1996	2.42	424.72	272.87	319.50	2544.68	280.13	0.38	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00	5840.8	10.4
1997	86.71	51.23	1413.05	931.32	4139.29	1682.04	2.20	0.57	0.16	0.06	0.03	1.18	10314.9	18.4
1998	528.13	211.09	543.28	3153.41	5977.01	1209.55	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	13621.5	24.3
1999	71.51	359.62	2350.08	496.35	3135.94	2420.72	0.36	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	11332.7	20.2
2000	6.21	468.32	382.23	704.55	1115.42	1964.27	15.06	3.89	0.00	0.00	0.00	0.00	6660.0	11.9

SEDIMENTOS EN TONELADAS/MES
ESTACIÓN CONCUÁ II

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TON/AÑO	TON/AÑO/KM ²
1972	1355	105980	155742	100420	73200	60610	8260	2838	2100	1104	1322	668	513599	197.5
1973	2515	120893	127505	160060	98175	240255	21290	8619	2207	910	1469	432	784330	302.4
1974	11729	45150	68676	19619	82681	44804	7812	1119	153	65	174	0	281984	111.7

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dentro de los resultados obtenidos en las simulaciones de este trabajo se concluye que:

- De la gráfica No. 7.1 los caudales obtenidos de la calibración de la cuenca de la estación Chiché vrs los caudales registrados en la estación Chiché se pueden dividir en:

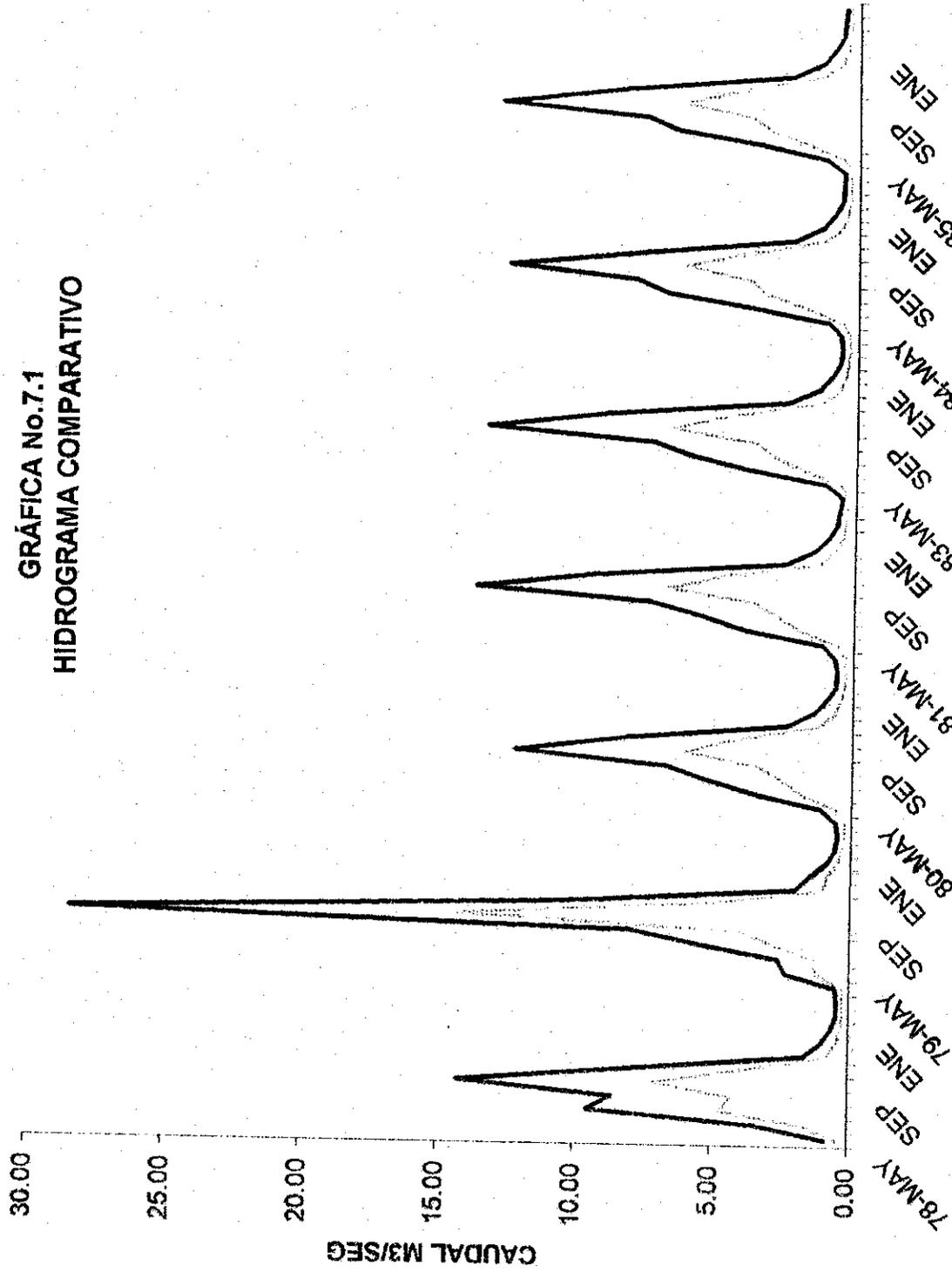
Caudales en época lluviosa: La calibración muestra un comportamiento similar en su ciclo, pero no fiel a los registros, debido a que el modelo no asimila los cambios en el régimen de las lluvias de un año a otro. Debido en parte a que constantemente se modifica el uso del suelo en la cuenca, afectando al modelo en la estimación de su número de curva.

Caudales en época seca: El modelo es más fiel, tanto en su ciclo como en los registros, esto debido a que los remanentes de almacenaje de la época lluviosa son constantes en los años, por lo que el modelo funciona en mejor forma en esta época.

- En la gráfica No. 7.1 se muestra que la tendencia de la calibración de la cuenca de la estación Chiché versus los registros históricos medidos en la misma estación concuerdan, por lo que es aceptable para ser aplicada a la simulación del sitio Chuarancajay.
- De la gráfica No. 7.2, los caudales obtenidos de la simulación de la cuenca del sitio Chuarancajay, comprueban que es posible generar datos donde no existen registros, usando como base el registro histórico de la estación Chiché sobre el río Sepelá, que a su vez aguas abajo se convierte en el río Motagua, usado como indicador, por pertenecer al mismo sistema fluvial deben comportarse igual en un mismo ciclo.

- En la gráfica No. 7.3 se observan los porcentajes de área que representan cada cuenca individualmente sobre un solo sistema formado por ambas. Por lo cual las gráficas 7.1 y 7.2 siguen una misma tendencia en distintas escalas de caudales, en función del área drenada en cada cuenca.

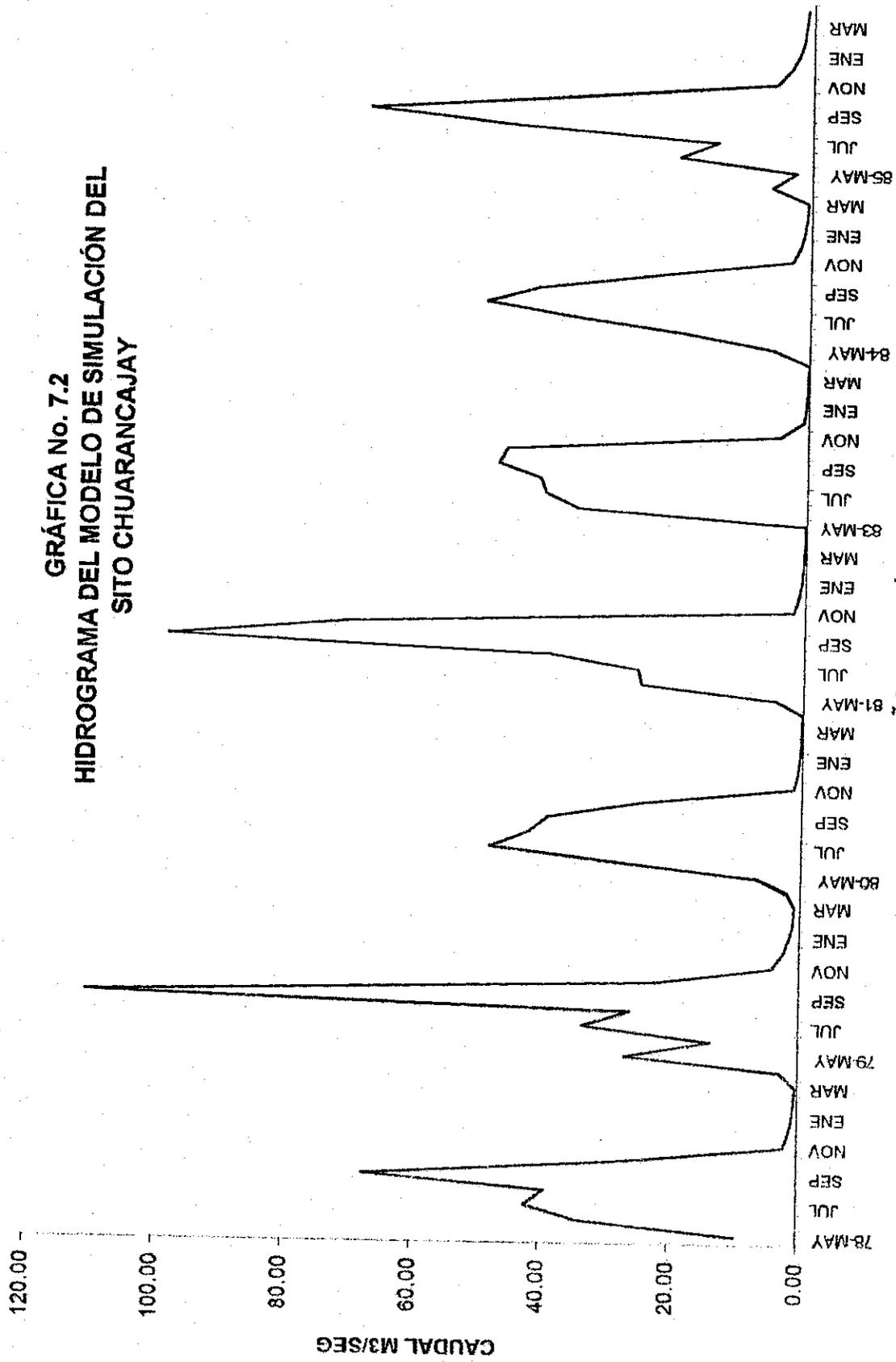
**GRÁFICA No.7.1
HIDROGRAMA COMPARATIVO**



AÑO HIDROLÓGICO

..... CALIBRACIÓN DEL MODELO ESTACIÓN CHICHÉ — REGISTROS ESTACIÓN CHICHÉ

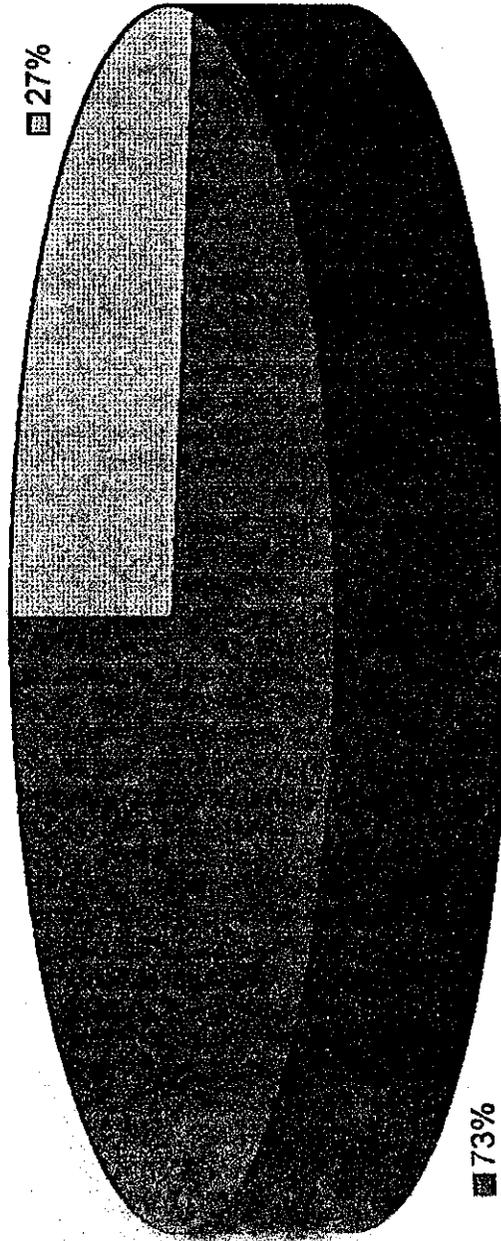
GRÁFICA No. 7.2
HIDROGRAMA DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL
SITO CHUARANCAJAY



MODELO DE SIMULACIÓN DEL SITIO CHUARANCAJAY

**GRÁFICA No. 7.3
COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS**

ÁREA DE LA CUENCA EST. CHICHÉ



ÁREA DE LA CUENCA DEL SITIO CHUARANCAJAY

8 USOS DEL AGUA

Como se mencionó al principio, el agua es el recurso más importante de los países. Para Guatemala el orden de importancia es el siguiente:

1. Agricultura
2. Generación eléctrica
3. Otros usos (recreación, Etc.)
4. Consumo doméstico.

En términos reales, la cantidad de agua en el mundo se mantiene constante, pero resulta que varía en el corto plazo de tiempo y en el espacio al no estar distribuida uniformemente en el mundo y en los países.

Por lo cual surgen los siguientes usos para el agua:

1. SUMINISTRO DE AGUA:

1.1. Uso Doméstico y Municipal

- a) Uso Doméstico (casas y condominios)
- b) Institucional y Semipúblico (hospitales, oficinas, instituciones, Etc.)
- c) Públicos (fuentes públicas, incendios y trabajos públicos)

1.2. Uso Industrial

- a) Catalítico
- b) Materia prima
- c) Limpieza
- d) Refrigerante
- e) Solvente
- f) Origen del Vapor (Generación de energía)
- g) Transporte (Remoción de desperdicios)

2. PROPAGACIÓN DE VIDA ACUÁTICA:

2.1. Crianza y Comercialización de peces y mariscos

3. NATACIÓN Y DEPORTES ACUÁTICOS

4. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

5. NAVEGACIÓN

6. DISPOSICIÓN DE DESECHOS: Es el uso más discutido, por depositar en el agua desechos industriales y residuos de riego.

Por los usos del agua ésta se divide en:

1. USO EXTRACTIVO: Es la remoción del agua de su cauce natural.

1.1. **USO EXTRACTIVO CONSUMIDOR:** Es la extracción del agua de su cauce natural, utilizándola y perdiéndose por su consumo.

1.2. **USO EXTRACTIVO NO CONSUMIDOR:** Es el uso del agua y su posterior devolución a su cauce natural.

2. USO EN EL MISMO LUGAR: Es cuando no hay remoción del cauce o lugar.

3. USO DEL FLUJO: Es el uso del agua en movimiento.

Desde el punto de vista de los Recursos Hidráulicos, de todos los usos descritos anteriormente, solo se pueden llegar a considerar el Consumo Extractivo No Consumidor, por tener el recurso como en el principio.

Tomando en cuenta los siguientes usos del agua, para el presente trabajo de tesis se mencionarán los aspectos básicos mínimos con que debe funcionar un sistema de abastecimiento de agua potable.

Abastecimiento de Agua: es un sistema que consta de obras, equipos y servicios que son destinados para abastecer de agua potable de una o varias comunidades con fines de consumo doméstico, público, industrial, Etc. El sistema debe cumplir con proveer una cantidad de agua potable suficiente y de una calidad aceptable para su consumo.

Parámetros de estudio para la elaboración de proyectos: para emprender dicho proyecto se tienen que tener en cuenta, de la forma más clara, las obras a realizar, teniendo una capacidad definida para las necesidades actuales y futuras, en función de la demografía local y en base de la capacidad máxima de extracción para hacer un uso razonable del recurso. Para la elaboración del proyecto se tienen elementos importantes tales como:

1. Plano de levantamiento topográfico.
2. Información económica.
3. Demografía.
4. Evaluación del crecimiento de la población por años, y su evolución con los años del alcance del proyecto (de 10 a 30 años).
5. Aspectos físicos como: Geología, Recursos hídricos, Geomorfología e Hidrogeología, clima, infraestructura existente, Etc.
6. Determinación y cuantificación de los recursos disponibles.
7. Determinación de los volúmenes necesarios de agua.

Además de los elementos propios del proyecto:

1. Fases en que se construirá el proyecto.
2. Dotaciones diarias por personas.
3. Coeficientes de variación de consumo.
4. Coeficiente de días y de horas de mayor consumo.
5. Horas diarias que funcionará el proyecto.

CONCLUSIONES

1. Como parte del estudio de la cuenca del río Motagua hasta el sitio Chuarancajay, se determinaron los aspectos morfométricos propios de la cuenca, para estudios futuros de la misma.

Área.....	559.90 Km ²
Longitud del río.....	52.00 Kms
Longitud total de los cauces.....	1624.00 Kms
Elevación media	2337.31 m.s.n.m
Factor de forma	4.59
Pendiente del río.....	38.40 Mt/Km

2. El estudio muestra que para las subcuencas del río, la clasificación del número de curva es demasiado estricto y no presenta alternativas para casos intermedios, creando la necesidad de conocer las condiciones propias de la vegetación y el uso del suelo para cada año hidrológico.
3. Un parámetro importante en el modelo precipitación-escorrentía es la evaporación en la cuenca. Debido a que en la cuenca solo existe una estación que registra lecturas del tanque de evaporación, pero sabiendo que la evaporación de una zona no varía en forma significativa a lo largo de grandes extensiones con similares condiciones geográficas. Se optó por usar la misma evaporación de la estación en todas las cuencas estudiadas por estar contenidas en una misma área
4. Con el avance de las computadoras, los modelos de simulación de registros de parámetros hidrológicos (precipitación, temperatura, evaporación, Etc.) son una herramienta imprescindible dentro de la hidrología actual. Siendo para el presente trabajo la utilización del modelo HEC-4.
5. El modelo precipitación-escorrentía tiene la ventaja de poder manejar una cuenca en pequeñas subcuencas, que dan mejores conclusiones de cómo la lluvia efectiva eventualmente se convierte en escorrentía aportada a un río. Del método precipitación-escorrentía usado para la generación de caudales, resulta una estimación aceptable en un estudio básico hidrológico para determinar el potencial de las cuencas.

6. De la curva de duración hasta el sitio Chuarancajay, la inclinación de los extremos de la curva permite concluir que el extremo superior la pendiente de la curva es alta, infiriéndose que la cuenca posee muy poca capacidad de almacenamiento en la zona de crecida, por el contrario se ve que en el extremo inferior la pendiente es baja, de donde se deduce que el flujo base es bastante estable. Además se observa claramente que las curvas de duración de Chuarancajay y Chiché son similares en su forma, lo que concluye que se encuentran en un mismo río y que la simulación es aceptable.
7. De la hidrología de la cuenca del río Motagua hasta el sitio Chuarancajay se concluye que por los afluentes de sus subcuencas y sus características propias tales como su localización y precipitación anual, es un recurso potencialmente aprovechable. El aporte estimado, basándose en la simulación de caudales es de:

Q..... 2.27 m³/seg
Q..... 35,980 gal/min
Q 98,064 pajas/mes
Vol..... 71.586,720 m³ /año

8. Aun cuando puede parecer deseable subdividir la cuenca del río Motagua en subcuencas para representar correctamente las variaciones características de los suelos, vegetación y su topografía, se esperan pocas ventajas si se va a deducir la precipitación a partir de una sola estación meteorológica representativa para las mismas subcuencas.

RECOMENDACIONES

1. Para una buena hidrometría se debe abarcar un régimen anual completo de los ríos en las subcuencas, controlando eficientemente las mismas en un espacio de varios años.
2. Es necesario un aumento de la información pluviométrica y de pluviografos, para medir la precipitación, teniendo especial cuidado de situarlos en las cercanías de los sitios donde se proyecta una obra hidráulica, muy necesarios en la estimación de crecidas máximas.
3. Para estudios futuros más detallados de prefactibilidad y factibilidad, se debe hacer un estudio geológico detallado del sitio Chuarancajay, por estar en una zona próxima a fallas geológicas importantes.
4. Es necesario un control de la reforestación en la cuenca, a fin de contrarrestar la erosión. Se deben implementar técnicas adecuadas de cultivos, para evitar que los materiales removidos por los agricultores, sean arrastrados por las corrientes de agua en las épocas de lluvia.
5. Es necesario, en lo posible, un control de la medición de los sedimento en el río Motagua, ya que en el presente trabajo solo se realizó una estimación de los mismos, siendo un muestreo esencial para determinar el tipo de obra de protección y obra hidráulica propia para el lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- AZEVEDO NETTO, J.M, Guillermo Acosta. Manual De Hidráulica. 6ed, México, Editorial HARLA, 1994
- CRUZ LÓPEZ, Eduardo José. Estudio Hidrológico del río Motagua Hasta la estación Concuá. (Tesis de graduación de ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala) Guatemala, 1975.
- DAHMEN E. R, HALL M.H. Screening of Hydrological Data: Tests for Stationarity and Relative Consistency. Publicación No. 49, Editorial International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Holanda, 1990.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL Estudio Morfométrico de la cuenca del río Motagua. División de Hidrografía, Guatemala, Febrero de 1973.
- GARCÍA SÁNCHEZ, Noe S. Transporte de Sedimentos. Departamento de Irrigación de la Universidad Autonoma Chapingo, México, 1981.
- GRANADOS RODRÍGUEZ, Edwar Otoniel. Diagnóstico Físico De Las Cuencas De Los Ríos Xavá y Pixcayá. (Tesis de graduación de ingeniero agronomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala) Guatemala, 1983.
- HERRERA IBÁÑEZ, Isaac R. Manual de Hidrología. Primera edición, Guatemala, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1995.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. Manual del usuario del Programa de Simulación de Registros Mensuales (HEC-4)
- LINSLEY, Ray, Koler, Max y Paulilus, Joseph. Hidrología para Ingenieros. 2ed, México, Editorial Mc Graw-Hill, 1988.

PELLECER MEZA, Axel Conrado. Obtención de curvas de duración de caudales mediante el índice de variabilidad aplicación a cuencas de Guatemala. (Tesis de graduación de Ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), Guatemala, 1968.

PROYECTO HIDROMETEOROLÓGICO CENTROAMERICANO. Manual de Instrucciones Estudios Básicos. Publicación No. 70 Costa Rica, Mayo 1972.

QUEZADA VEGA, Carlos Francisco. Hidrología del Sub-Sistema Chichicastenango Del Proyecto Nor-Occidental. (Tesis de graduación de ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala) Guatemala, 1979.

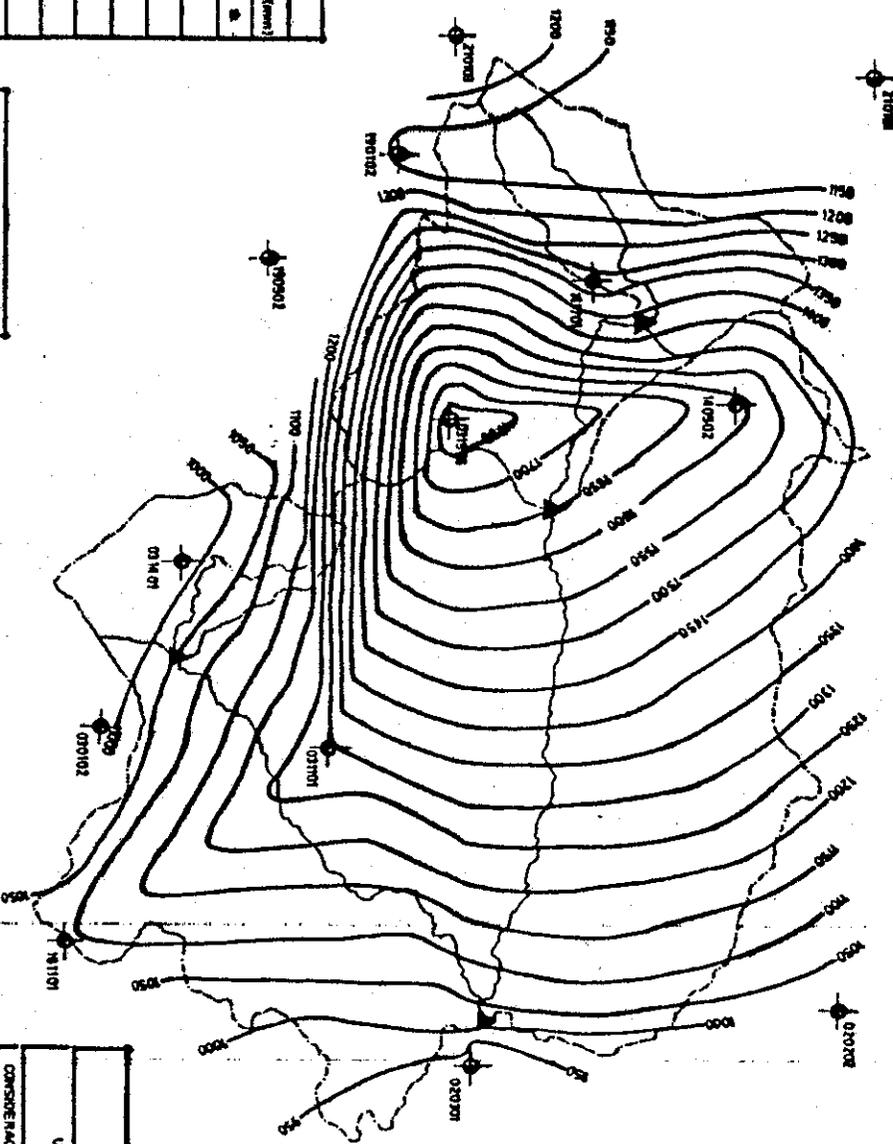
ROJAS, Rafael. Hidrología de Tierras Agrícolas. Serie Hidrología No. H-19, Venezuela, 1983.

ESTACIONES METEOROLOGICAS		
COORDO	NOMBRE	P. METEOROLOGICA
010102	QUIBLDO	5006.2 S.
020101	CHICUA	5061.1
030102	ALAMEDA CTA	5063.5
031101	SAN MARTIN MOTEPEQUE	5069.7
031401	SANTA CRUZ BALANTA	5068.9
031506	ALDEA PALMAY	5068.6
140902	CHAMPOE	6122.7
141701	CHAMOLA	5061.6
161101	LA SUZA CONTENYA	5061.4
190702	CHAMALTA	5061.7
190502	CANTON XEJUTO	5098.7
210102	RANCHO DE TEJA	5060.6
210701	SANTA LUCIA LA NEGRERA	5061.6

◆ CON BASE EN LOS NIVELES MARIENOS Y EXTENDIDOS

SIMBOLOGIA	
	ESTACION METEOROLOGICA
	ESTACION MONTOMETRICA
	PRO
	DIVISION PRINCIPAL DE AGUAS
	ISOTETA
	ESTACION METEOROLOGICA

MAPA BASICO, RED DE ISOTETAS MEDIAS ANUALES



APENDICE 3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

CONSERVACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO NOTABUA HASTA LA ESTACION CHICUA E APLICANDO EL METODO DE SHALTO DE CUENCAS HASTA CHUARRACALAN, CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

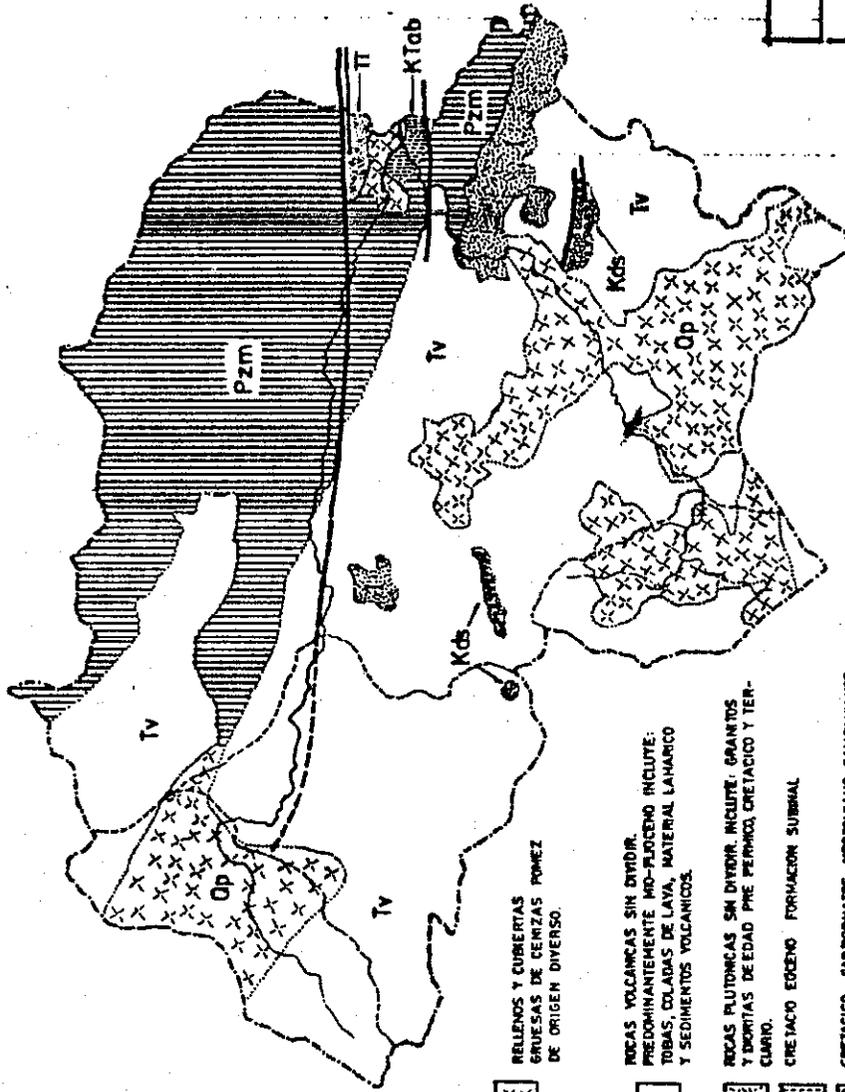
MAPA BASICO, RED DE ISOTETAS MEDIAS ANUALES

PLANTEO: MARCUCCI, RUIZ
DIBUJO: M.A. RUIZ

ASESOR: ING. ARTURO ACUJARDIN

ESCALA: 1:25000

HOJA: 3/4



CUATERNARIO



RELLENOS Y CUBIERTAS
GRUESAS DE CENIZAS POMEZ
DE ORIGEN DIVERSO.

TERCIARIO



ROCAS VOLCANICAS SIN DIVIDIR.
PREDOMINANTEMENTE MIO-PLIOCENO INCLUYE:
TOBAS, COLADAS DE LAVA, MATERIAL LAHARICO
Y SEDIMENTOS VOLCANICOS.

MESOZOICO



ROCAS PLUTONICAS SIN DIVIDIR. INCLUYE: GRANITOS
Y DIORITAS DE EDAD PRE PERMIICO, CRETACICO Y TER-
CIARIO.



CRETACICO EOCENO FORMACION SUBIBAL



CRETACICO CARBONATOS MEOCOMIANO-CAMPIANOS
FORMACIONES COBAYAN Y CAMPUR.

PALEOZOICO



PALEOZOICO ROCAS METAMORFICAS SIN DIVIDIR. FILITAS, ESQUISTOS
CLORITICOS Y GRANATIFEROS



ROCAS PLUTONICAS SIN DIVIDIR. INCLUYE GRANITOS Y DIORITAS DE
EDAD PRE-PERMIICO, CRETACICO Y TERCIARIO.



FALLA GEOLOGICA

APENDICE 4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA

CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA
DEL RIO MOTAGUA HASTA LA ESTACION CONQUIA
APLICANDO EL METODO DE SIMILITUD DE CUENCAS
HASTA OSMARICAJAY, CON EL PROPOSITO DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

MAPA GEOLOGICO

PLANIFICADO:
MARCUCCI, RUIZ

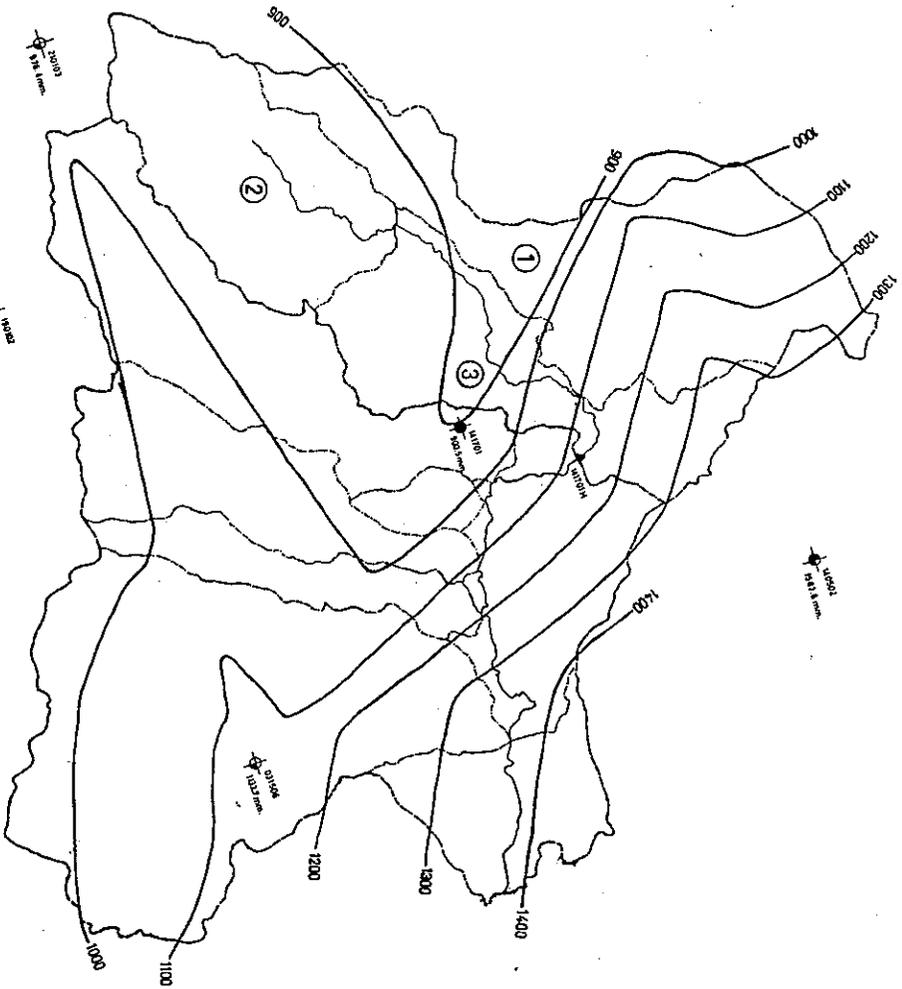
DIBUJO:
MA RUIZ

ASESOR:
MG. ARTURO ALCALAJON

ESCALA:
1:750,000

HOJA
4

4



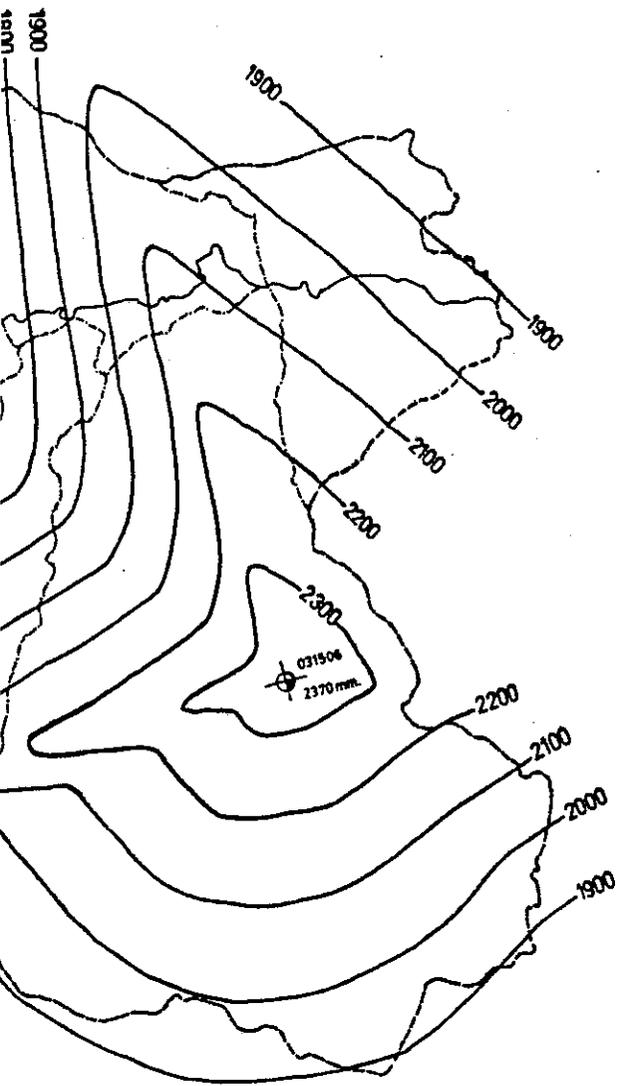
PUENCA ① = 1088.90 mm.
 PUENCA ② = 1071.20 mm.
 PUENCA ③ = 1050.00 mm.
 PUENCA ④ = 1036.90 mm.

APENDICE 5

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA
 DEL RIO MAYALIA HASTA LA ESTACION CONDUCA &
 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE
 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
 DISEÑO DEL PLAN DE
 ESTUDIO COMPLEMENTARIO

PLANTON:	MARCUCCI, RUIZ	GRUPO:	MA, RUIZ
ASISTENTE:	MR. ARTURO ACAYAHN	ESCUELA:	18000
		SECCION:	5

140502
2130.8 mm.



$P_{CUENCA} = 1925.04 \text{ mm.}$
 $P_{CUENCA \textcircled{1}} = 1371.40 \text{ mm.}$
 $P_{CUENCA \textcircled{2}} = 1481.10 \text{ mm.}$
 $P_{CUENCA \textcircled{3}} = 1406.40 \text{ mm.}$

0507
405 mm.

APENDICE 6		
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS FACULTAD DE INGENIERIA		
CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO MOTAGUA HASTA LA ESTACION CUENCA II APLICANDO EL METODO DE SIMILITUD DE CUENCAS HASTA CHUARANCAJAY, CON EL PROPOSITO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE		
ISOYETAS DEL AÑO HUMEDO CUENCA CHUARANCAJAY		
PLANIFICO: MARCUCCI, RUIZ	DIBUJO: M. A. RUIZ	
ASESOR ING. ARTURO ACAJABÓN	ESCALA: 1:80,000	HOJA 5