

38
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"GENERACION DE ESCURRIMIENTOS CON
APLICACION A DOS SUBCUENCAS DEL SISTEMA
CUTZAMALA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
FERNANDO ESCAMILLA RAMIREZ

DIRECTOR DE TESIS: M.I. FRANCISCO ECHAVARRIA ALFARO



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-075/96

Señor
FERNANDO ESCAMILLA RAMIREZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. FRANCISCO JAVIER ECHAVARRIA ALFARO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"GENERACION DE ESCURRIMIENTOS CON APLICACION A DOS SUBCUENCAS DEL SISTEMA CUTZAMALA"

- INTRODUCCION**
- I. INFORMACION DISPONIBLE**
 - II. METODOLOGIA APLICABLE**
 - III. GENERACION DE GASTOS DIARIOS EN LA ESTACION HIDROMETRICA LA COMUNIDAD A-12**
 - IV. GENERACION DE VOLUMENES MENSUALES EN LA ESTACION HIDROMETRICA ZITACUARO**
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 21 de mayo de 1996.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*jbr

A DIOS:
Gracias por haberme
permitido llegar, hasta
estos momentos.

A mis padres, Isabel y Alfredo:
A ellos por ser los mejores
amigos de mi vida, con todo
caríño.

A mis hermanos, Luis, Rosario y Concepción:
Juntos aprendimos del pasado,
vivimos el presente y
proyectamos nuestro futuro.

**Agradezco al M.I Francisco J. Echavarría Alfaro
por el apoyo y el tiempo otorgado en
la realización del presente trabajo.**

**Al Ing. Carlos G. Franco D.
Por su valiosa ayuda prestada
para la realización de este trabajo.**

**A la Universidad y Facultad de Ingeniería
Que me han hecho sentir orgulloso
de ser parte de ellas.**

GENERACIÓN DE ESCURRIMIENTOS CON APLICACIÓN A DOS SUBCUENCAS DEL SISTEMA CUTZAMALA.

página

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	i
Objetivo	iii
Alcances	iv

I.- INFORMACIÓN DISPONIBLE

I	Sistema Cutzamala	1
I.1	La Cuenca	3
I.2	Escurreimientos	8
I.2.1	Diferentes tipos de escurrimientos	8
I.2.2	Representación del escurrimiento	8
I.2.3	Tipos de aforos	10
I.2.4	Estaciones hidrométricas	13
I.3	Precipitación	17
I.3.1	Definiciones	17
I.3.2	Medición de la Precipitación	17
I.3.3	Análisis de los datos de Precipitación	18
I.3.4	Método de Thiessen o de los polígonos de influencia	19
I.3.5	Estación Climatológica	20

II.- METODOLOGÍA APLICABLE

Métodos para el cálculo de escurrimientos	25	
II.1	Coefficientes de escurrimiento	26
II.2	Us Soil Conservation Service	28
II.3	Correlación y regresión lineal	36
II.4	Correlación y regresión logarítmica y exponencial	39
II.5	Balance Hídrico Edafológico	40
II.6	United States Bureau of Reclamation	44

III.- GENERACIÓN DE GASTOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA LA COMUNIDAD A-12

III.1	Ubicación de la Estación	46
III.2	Estaciones climatológicas que intervienen en el calculo	47
III.3	Aplicación del método coeficientes de escurrimiento	47

III.4	Aplicación del método correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial.	50
III.5	Aplicación del método us soil conservation service	52
III.6	Comparación de resultados	54
IV.-	GENERACIÓN DE VOLÚMENES MENSUALES EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA ZITÁCUARO	
IV.1	Ubicación de la Estación	77
IV.2	Estaciones climatológicas que intervienen en el calculo	78
IV.3	Aplicación del método coeficientes de escurrimiento	79
IV.4	Aplicación del método correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial.	80
IV.5	Aplicación del método balance hídrico edafológico	81
IV.6	Comparación de resultados	83
V.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA.	106

INDICE DE TABLAS

- I.1 Estaciones hidrométricas que componen el Sistema Cutzamala.
- I.2 Años de registros de las estaciones hidrométricas y climatológicas.
- I.3 Localización de las estaciones climatológicas.
- II.2.1 Número de curvas de escurrimiento para uso del suelo en (U.S. S.C.S)
- II.5.1 Capacidad de almacenamiento de agua según suelo y cultivo.
- II.5.2 Humedad retenida en el suelo según las laminas de agua utilizable en evapotranspiración, suelo con capacidad de agua utilizable de 100 mm.
- III.3.1 Cálculo del coeficiente de escurrimiento a nivel diario, estación La Comunidad, año de 1983
- III.3.2 Generación de volúmenes con el coeficiente de escurrimiento a nivel diario, estación La Comunidad, año de 1986
- III.3.3 Resumen de gastos generados con el método de coeficientes de escurrimiento a nivel diario, para el periodo de 1986 a 1994, estación La Comunidad.
- III.3.4 Resumen de gastos generados con el método de coeficientes de escurrimiento a nivel mensual, para el periodo de 1986 a 1994, estación La Comunidad.
- III.3.5 Resumen de coeficientes de escurrimiento en la estación La Comunidad.
- III.4.1 Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de estiaje en la estación La Comunidad.
- III.4.2 Resumen de gastos generados con correlación y regresiones en época de estiaje, para el período de 1986 a 1994 en la estación La Comunidad.
- III.4.3 Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de lluvia en la estación La Comunidad.
- III.4.4 Resumen de gastos generados con correlación y regresiones en época de lluvia, para el período de 1986 a 1994 en la estación La Comunidad.
- III.5.1 Determinación del escurrimiento a nivel diario a partir de la precipitación mediante el método de Us Soil Conservation Service, en el periodo de 1986 a 1994
- IV.3.1 Cálculo del coeficiente de escurrimiento a nivel mensual, estación Zitácuaro.
- IV.3.2 Generación de volúmenes con el coeficiente de escurrimiento a nivel mensual, estación Zitácuaro para el periodo de 1986 a 1994
- IV.4.1 Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de estiaje en la estación Zitácuaro.
- IV.4.2 Resumen de volúmenes generados con correlación y regresiones en época de estiaje, para el período de 1986 a 1994 en la estación Zitácuaro
- IV.4.3 Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de lluvia en la estación Zitácuaro.
- IV.4.4 Resumen de volúmenes generados con correlación y regresiones en época de lluvia, para el período de 1986 a 1994 en la estación Zitácuaro.
- IV.5.1 Determinación del escurrimiento a nivel mensual a través del método de Balance Hídrico Edafológico, en el periodo de 1986 a 1994

INDICE DE FIGURAS

- II.2.1 Hidrograma Unitario Triangular
- II.2.2 Hidrograma unitario triangular (resultado del ejemplo 3)
- III.1 Croquis de localización de la cuenca delimitada por la estación La Comunidad.
- III.2 Método gráfico correlación y regresión en época de estiaje (Temascaltepec - La Comunidad)
- III.3 Método gráfico correlación y regresión en época de lluvia (Temascaltepec - La Comunidad)

- III.4 Generación de gastos en la estación La Comunidad:
 - III.4 Método de Coeficientes de escurrimiento
 - III.5 Método de Correlación y regresión lineal
 - III.6 Método de Correlación y regresión logarítmica
 - III.7 Método de Correlación y regresión exponencial
 - III.8 Método Us Soil Conservation Service
 - III.9 Comparación de gastos históricos y Generados
- IV.1 Croquis de localización de la cuenca delimitada por la estación Zitácuaro
- IV.2 Método gráfico correlación y regresión en época de estiaje (Río Grande - Zitácuaro)
- IV.3 Método gráfico correlación y regresión en época de lluvia (Río Grande - Zitácuaro)
 - La Comunidad)
 - IV.4 Generación de volúmenes en la estación Zitácuaro
 - IV.4 Método de Coeficientes de escurrimiento
 - IV.5 Método de Correlación y regresión lineal
 - IV.6 Método de Correlación y regresión logarítmica
 - IV.7 Método de Correlación y regresión exponencial
 - IV.8 Método Balance Hídrico Edafológico
 - IV.9 Comparación de gastos históricos y Generados
 - IV.9 Plano general de la zona en estudio

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES:

El problema de abastecimiento de agua a la Ciudad de México ha sido motivo de una gran preocupación permanente que se remonta a la fundación de la Gran Tenochtitlan. A diferencia de otras grandes civilizaciones que nacieron generalmente en las márgenes de un gran río, la de los aztecas se asentó a más de 2,000 metros sobre el nivel del mar, en un llano rodeado por lagos y por sierras de más de 5,000 metros de altura. Así, la ubicación de la Ciudad ha dificultado desde siempre el suministro de agua a sus habitantes.

Desde los orígenes de la tierra, el agua ha sido un factor primordial en la evolución y supervivencia de todo tipo de vida, desde la forma más primitiva hasta la más compleja "EL HOMBRE". Actualmente el hombre aprovecha el agua para diferentes usos, de los cuales se mencionan los más importantes:

* **Uso Municipal.-** Es el uso que se le da al agua potable en diferentes actividades domésticas, industriales, comerciales y públicas.

* **Uso Agrícola.-** El agua es destinada al riego de terrenos agrícolas.

* **Generación de Energía.**- El agua es usada para la producción de energía eléctrica, aprovechando la carga potencial del agua para hacer girar una turbina - generador.

* **Uso Pecuario.**- Este uso es aprovechado principalmente en represas o abrevaderos, y se destina generalmente para el consumo del ganado.

* **Uso Piscícola.**- Uso destinado al cultivo de peces.

* **Uso Silvícola.**- Uso destinado a la formación de viveros.

* **Uso Turístico.**- En este uso el objetivo es que el agua se represa en un vaso natural o artificial, con el objetivo de proporcionar recreación a la población o a las prácticas de deportes acuáticos.

Para captar el agua se requiere de obras de ingeniería de acuerdo a la localización del agua, se clasifican en:

- Pozos profundos
- Norias
- Manantiales
- Galerías filtrantes, etc.

Los aprovechamientos superficiales del agua se hacen a través de:

- Presas de almacenamiento
- Presas derivadoras
- Vasos naturales
- Estaciones de bombeo en cauces

Para la construcción y la adecuada operación de una obra de captación superficial, se requiere una gran variedad de temas, uno de los cuales son los datos hidrométricos (escurrimientos), motivo por el cual el presente trabajo tiene el objetivo de familiarizar al lector en los diferentes métodos de generación de escurrimientos, cuando por alguna razón no se cuentan con los registros.

Para brindar el servicio de agua potable a la creciente población del Distrito Federal y su área metropolitana y ante la carencia de fuentes superficiales de abastecimiento en la zona, ha sido necesario explotar el acuífero del Valle de México.

La acción anterior no ha cumplido satisfactoriamente con las demandas de la población, por tal motivo se han construido grandes obras, cuyo costo debe ser medido tanto en términos económicos como sociales. El más reciente ejemplo de ello lo constituye las cuencas que integran el Sistema Cutzamala, donde el agua tiene que conducirse 127 km. y vencer un desnivel de 1,200 m para llegar a la ciudad de México. Actualmente el 22 por ciento del agua que se suministra proviene del Sistema Cutzamala.

El Sistema Cutzamala esta compuesto por varias presas cuya finalidad es principalmente aprovechar sus caudales en el abastecimiento de agua potable, destinada a la área metropolitana de la Ciudad de México.

Las presas almacenadoras que integran al Sistema Cutzamala son: Villa Victoria, Valle de Bravo, Colorines, El Bosque y Tuxpan; así como las presas derivadoras de Ixtapan del Oro y Chilesdo.

También se ha considerado que formará parte del Sistema Cutzamala, las cuencas del Río Temascaltepec, las cuales son; La Comunidad, Real de Arriba, Río Verde, Temascaltepec, Paso del Cobre.

En este Río se construirá una presa para aprovechar sus caudales.

OBJETIVOS:

De 1986 a 1994 por diversas causas la operación de las estaciones hidrométricas que delimitan el área de las presas mencionadas anteriormente no ha sido constante, por lo que a la fecha, la mayoría de ellas están suspendidas

Por tal motivo el objetivo de este trabajo fue determinar los escurrimientos que se generan en la cuenca de captación de dos subcuencas del Sistema Cutzamala, es decir completar los registros de escurrimientos para los años de 1986 a 1994. Con la obtención de estos datos se podrá efectuar los análisis de simulación del funcionamiento de las presas, para el aprovechamiento óptimo de sus caudales para el abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la Ciudad de México, así como de la adecuada operación de las estructuras hidráulicas de control y conducción.

Una de las subcuencas en estudio es la delimitada por la estación hidrométrica La Comunidad, que pertenece a la cuenca del Río Temascaltepec, en esta estación se requiere obtener la información de los gastos y volúmenes a nivel diario, mensual y anual.

Otra subcuenca más en estudio es la que delimita la estación hidrométrica Zitácuaro cuyo escurrimiento alimenta a la presa El Bosque. Para esta estación se requiere obtener la información de los volúmenes y gastos a nivel mensual y anual.

La diferencia de que en una estación se requiere conocer los escurrimientos a nivel diario y en otra no, es porque en la estación La Comunidad próximamente se construirá una presa, por tal motivo se requiere una información más precisa.

Los métodos que se estudiaron en este trabajo son los siguientes:

1. Coeficientes de escurrimiento
2. Correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial
3. US Soil Conservation Service
4. Balance Hídrico Edafológico
5. United States Bureau of Reclamation

ALCANCES:

En el capítulo 2 se hizo una amplia explicación de los métodos propuestos para la generación de escurrimientos y dependiendo de la información disponible se aplica el método para la determinación de gastos diarios o volúmenes mensuales.

Calculados los escurrimientos (capítulo 3 y 4), se analizan y se comparan los resultados de los diferentes métodos aplicados con los valores registrados anteriormente al período de análisis (1986 a 1994), o con los registros de cuencas delimitadas por estaciones vecinas a la estación en estudio.

Al final del capítulo tres y cuatro se determinara cual de los cinco métodos analizados fue el mejor para determinar los escurrimientos en los períodos de los cuales no se cuentan con registros, así poder dar una recomendación más amplia para la operación adecuada de las estaciones hidrométricas.

CAPITULO I

INFORMACIÓN DISPONIBLE

I.- Sistema Cutzamala

El sistema Cutzamala cuenta con varias presas para el almacenamiento, derivación y control de los caudales generados en sus cuencas, los cuales son aprovechados en el abastecimiento de agua potable para suministrar a la población del área metropolitana de la Ciudad de México. El agua tiene que conducirse 127 km y vencer un desnivel de 1 200 metros para llegar a la Ciudad, actualmente el 22 por ciento del agua que se suministra a la Ciudad de México proviene del Sistema Cutzamala. Las presas almacenadoras son: Villa Victoria, Valle de Bravo, Colorines, El Bosque y Tuxpan; así como las presas derivadoras Ixtapan del Oro y Chilesdo. También se ha considerado que formará parte del Sistema Cutzamala, la cuenca del Río Temascaltepec, en donde se construirá una presa para aprovechar sus caudales para el abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la Ciudad de México.

La conducción principal del sistema Cutzamala parte de la obra de toma de la presa Colorines y llega hasta el portal de salida del túnel Analco-San José con un desarrollo total de 127 km. La conducción a través de tuberías se integra por 90.5 km de doble tubería de concreto presforzado de 2.51 m de diámetro interior y 8 km de tubería de acero, con diámetro que varía entre 1.37 m y 3.5 m, utilizados en líneas a presión y en la succión y descarga de las plantas de bombeo.

Al utilizar la infraestructura del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán se aprovechan 73.5 km de canales, túneles y sifones en la conducción de la presa Tuxpan a la presa Colorines

así como 13 km del canal Héctor Martínez de Meza, que conduce el agua de la presa Villa Victoria a la planta potabilizadora “Los Berros”.

a) Captación Villa Victoria. El agua de la presa Villa Victoria es conducida por medio del canal Héctor Martínez de Meza a la planta potabilizadora los Berros.

b) Captación Valle de Bravo. El agua de esta presa es conducida por gravedad a la conexión con la torre de sumergencia N° 2 y al múltiple de succión de la planta de bombeo N° 2, desde el cual es impulsada a su correspondiente torre de oscilación a través de una tubería venciendo una carga de 122 m. Desde este punto, el agua continúa pasando por una serie de torres de sumergencia, múltiple de succión y plantas de bombeo venciendo diferentes cargas hasta la torre de oscilación N° 4 y a partir de esta, el agua es conducida hasta la torre distribuidora que alimenta durante el tiempo de bombeo tanto al canal abierto Donato Guerra como al vaso regulador del mismo nombre. El agua conducida por el canal abierto llega al túnel Agua Escondida, de cuya terminación parten dos tuberías hasta la estructura de conexión con las tuberías provenientes de la presa Chilesdo, donde se combinan para entrar al tanque de recepción de aguas crudas de la planta potabilizadora.

c) Captación Chilesdo. El agua captada mediante la presa Chilesdo es conducida a la planta de bombeo N° 6 y a su torre de sumergencia, que la impulsa hacia la estructura de oscilación venciendo una carga de 275 m. A partir de ésta continúa por gravedad a la conducción procedente de Valle de Bravo a la planta potabilizadora.

d) Captación Colorines. El agua de la presa Colorines proviene del sistema de interpresas Tuxpan-El Bosque-Ixtapan del Oro, mediante el cual la presa derivadora Tuxpan envía el agua por un canal a la presa el Bosque, donde es almacenada y enviada a la presa Colorines mediante túneles y canales, incorporándose en el trayecto las aportaciones de la presa derivadora Ixtapan del Oro.

En la presa Colorines se construyó un canal de llamada revestido de concreto y una estructura que aloja 8 compuertas deslizantes para regular las extracciones. De la obra de toma a la obra de sumergencias N° 1 el agua es bombeada a la torre de oscilación venciendo una carga de 157 m por medio de una tubería de acero que constituye la rampa a presión más larga del sistema y cruza dos barrancas por medio de tubos puente. A partir de esta torre el agua es conducida por gravedad hasta su conexión con el Túnel El Durazno, para continuar hasta la torre de sumergencia N° 2 o bien a la presa de Valle de Bravo.

e) Captación Temascaltepec El proyecto para aprovechar un promedio de 5 m³/s de agua del río Temascaltepec consiste en la construcción de una presa derivadora de 20 m de altura y 70 m de longitud, de tipo gravedad, ubicada a 2 km aguas abajo del poblado Temascaltepec, en el sitio denominado Las Juntas. Adicionalmente, una obra de toma para derivar un gasto máximo de 15 m³/s, un túnel denominado Temascaltepec de 4.7 km de longitud, una conducción con tubería de concreto presforzado con una longitud de 1050 m para conducir agua a la torre de sumergencia y al múltiple de succión de la planta de

bombeo, para elevar el agua 155 m hasta la torre de oscilación mediante una rampa de alta presión con tubería de acero con una longitud de 2380 m

Desde este punto la conducción se hace a gravedad hasta el túnel Santa Teresa y de ahí se conecta hasta el portal de entrada del túnel denominado El Campanario, de aquí parte una conducción con tubería de concreto presforzado hasta llegar a la presa Valle de Bravo, donde aprovechando la infraestructura existente se conducirá el caudal a la zona metropolitana de la ciudad de México.

En las diversas presas del Sistema se instalaron estaciones hidrométricas para la medición de los caudales que entran a ellas, sin embargo por diversas causas la operación de ellas no ha sido constante, por lo anterior en el presente trabajo se analizará la complementación de los registros hidrométricos de dos estaciones del Sistema Cutzamala las cuales son La Comunidad, su análisis será a nivel diario y Zitácuaro cuyo análisis será a nivel mensual. Estas estaciones se localizan en el Río Temascaltepec y Presa El Bosque respectivamente.

Uno de los primeros pasos para la elaboración del presente trabajo fue la ubicación de las estaciones hidrométricas y trazo del parteaguas de las dos cuencas en estudio, en planos topográficos escala 1:50,000. Lo anterior da entrada a la definición de las partes que componen una cuenca.

1.1 La Cuenca

La cuenca de drenaje de una corriente superficial es el área vista en planta que contribuye al escurrimiento superficial de la misma, así mismo existe también cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial.

Fundamentalmente existen dos tipos de cuencas, desde el punto de vista de la salida de la corriente las cuales son: endorreicas y exorreicas (cerradas y abiertas respectivamente). En las primeras el punto de salida o la descarga está dentro de los límites de la cuenca y generalmente son cuerpos de agua, como presas y lagos. En las segundas el punto de descarga se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

La respuesta de una cuenca ante una tormenta dada están controladas por las características geomorfológicas y su urbanización, y se pueden clasificar en dos tipos; las primeras que condicionan el volumen de escurrimiento, como el tipo de suelo y el área de la cuenca, y las segundas las que condicionan la velocidad de respuesta (el orden de corriente, cauces, pendiente de la cuenca y de la corriente principal).

Es importante mencionar las características de mayor importancia de la cuenca y del cauce por sus efectos en la relación precipitación - escurrimiento. A continuación se hace mención de algunos conceptos básicos.

El parteaguas es la línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel que delimita a la cuenca y que distribuye los escurrimientos hacia dentro y afuera de la misma. El parteaguas nunca cruza una corriente, salvo en el sitio de interés.

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas o simplemente es el área vista en planta delimitada por el parteaguas. El cálculo del área se puede determinar a través de planímetros, realizando una cuadrícula en el plano o trazando diferentes figuras geométricas. En el caso de este trabajo se calculó el área de las diferentes cuencas a través de realizar diferentes figuras geométricas regulares en ellas. En el siguiente cuadro se nombran las estaciones hidrométricas que delimitan las cuencas que componen el Sistema Cutzamala y sus respectivas áreas.

Tabla I.1

PRESA	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	ÁREA DE LA CUENCA km
VILLA VICTORIA	La Compañita	302.00
	El Molino	22.60
	San Diego	92.00
	El Ramal	67.90
VALLE DE BRAVO	El Salto	242.50
	El Molino	152.20
	Santa Mónica	13.20
	Vertedor González	36.50
	El Carrizal	9.30
EL BOSQUE	Zitácuaro	366.50
	El Oro	4.40
	La Garita	0.90
	Km 21+740	107.90
TUXPAN	Río Chiquito	240.50
	Río Grande	875.70
IXTAPAN DEL ORO	Ixtapan del Oro	137.60
	Km 0+700	18.90
CHILESDO	Río San José Malacatepec	1043.30
RÍO TEMASCALTEPEC	La Comunidad	135.90
	Real de Arriba	109.40
	Río Verde	221.70
	Temascaltepec	314.40
	Paso del Cobre	664.60

Cuando una corriente pasa por la salida de la cuenca, la llamaremos corriente principal, esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas ó abiertas, las demás corrientes se denominan corrientes tributarias. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Las corrientes se clasifican en :

Corrientes efímeras o influentes, son aquellas que transportan agua solamente cuando se presenta precipitación, en el caso de estas corrientes el nivel freático está siempre abajo del fondo del cauce, cabe mencionar que alimentan a los almacenamientos de agua subterránea.

Corrientes intermitentes, son aquellas que transportan agua durante una parte del año, principalmente en época de lluvias, en este tipo de corriente el nivel freático asciende hasta quedar por encima del nivel mínimo del cauce.

Corrientes perennes, son aquellas que transportan agua durante todo el año, por tal motivo el nivel de aguas freáticas siempre está por encima del mínimo nivel del cauce.

El grado de bifurcación de un sistema de drenaje dará una respuesta mas rápida a la precipitación si la cuenca cuenta con mayor número de corrientes tributarias. Otros indicadores del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes D_s , definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje D_d , definida como la longitud de corrientes por unidad de área.

$$D_s = \frac{N_s}{A} \quad (I.1)$$

$$D_d = \frac{L_s}{A} \quad (I.2)$$

donde

N_s número de corrientes perenes e intermitentes

L_s longitud total de las corrientes, en km

A área de la cuenca, en km

Una densidad de corrientes elevada, refleja una cuenca altamente disectada, que responde rápidamente a una tormenta. Las densidades u órdenes de corriente pequeñas se observan donde los suelos son muy resistentes a la erosión o muy permeables; donde estos indicadores

son elevados, los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa.

Uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente de la corriente principal, por tal motivo es necesario definir una pendiente media, la cual es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre la longitud medida en planta.

La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas abajo de la corriente, hace que se tenga áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y abajo de dicha línea, a este método se le llama pendiente compensada.

Otro método más es el propuesto por Taylor-Schwarz, estos autores desarrollaron un fórmula que permite obtener la pendiente promedio del cauce principal. A continuación se deduce la ecuación de estos autores.

Se divide el cauce principal en varios tramos "m" iguales de longitud l_i , entonces el tiempo de recorrido t_i por el tramo i será:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}$$

donde:

v_i = velocidad media del flujo a través tramo i
empleando la fórmula de Chézy tenemos:

$$v_i = c_i \sqrt{R_i S_i} = k_i \sqrt{s_i}$$

donde:

k_i = constante

s_i = pendiente media en el tramo i .

por lo tanto tenemos

$$t = \frac{l_i}{k_i \sqrt{s_i}}$$

Si el tiempo total de recorrido es igual a la suma de los tiempos parciales, t_i , se tiene lo siguiente

$$T = \frac{l_1}{k_1 \sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{k_2 \sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_m}{k_m \sqrt{s_m}}$$

si $l_i = l_2 = l_m$ y $l = \frac{L}{m}$

por lo tanto se tiene lo siguiente

$$T = \frac{L}{m} \left(\frac{1}{k_1 \sqrt{s_1}} + \frac{1}{k_2 \sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{k_m \sqrt{s_m}} \right)^2$$

De un canal uniforme, se considera que tiene elementos hidráulicos equivalentes a los valores promedios del cauce por lo que

$$T = \frac{L}{v} = \frac{L}{k \sqrt{s}}$$

Igualando las dos últimas ecuaciones

$$\frac{L}{k \sqrt{s}} = \frac{L}{m} \left(\frac{1}{k_1 \sqrt{s_1}} + \frac{1}{k_2 \sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{k_m \sqrt{s_m}} \right)$$

despejando la pendiente

$$s = \left(\frac{m}{\frac{k}{k_1 \sqrt{s_1}} + \frac{k}{k_2 \sqrt{s_2}} + \dots + \frac{k}{k_m \sqrt{s_m}}} \right)^2$$

si $\frac{k}{k_i}$ tiende hacia la unidad se tiene finalmente la pendiente del cauce principal por el método de Taylor-Schwarz.

$$s = \left(\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_m}}} \right)^2$$

donde

s= pendiente media del cauce principal

m= número de tramos iguales, en los cuales se divide el cauce principal

s_i= pendiente de cada tramo

1.2 ESCURRIMIENTOS

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

1.2.1 Diferentes tipos de escurrimiento.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienza a llenar las depresiones del terreno y al mismo tiempo el agua comienza a escurrir sobre la superficie terrestre, este escurrimiento es llamado flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos, una vez que llega a una corriente bien definida el flujo se convierte en escurrimiento en corrientes. El escurrimiento de corrientes y el flujo sobre el terreno, juntos forman el escurrimiento superficial.

El escurrimiento subsuperficial es aquel que después de infiltrado escurre por encima del nivel freático a consecuencia de un manto impermeable que le impide llegar hasta el acuífero.

El escurrimiento subterráneo es la otra parte del agua que se infiltra hasta niveles inferiores del freático. De los tres tipos de escurrimiento el que mas rápido llega a la salida de la cuenca es el escurrimiento superficial. El escurrimiento subterráneo es el que más lento llega a la salida de la cuenca. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes en época de estiaje y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

El escurrimiento subsuperficial puede ser tan rápido como el superficial o lento como el subterráneo, esto dependerá de las características del suelo, pero en realidad lo importante es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto determinará la magnitud de las correspondientes avenidas.

1.2.2 Representación del escurrimiento

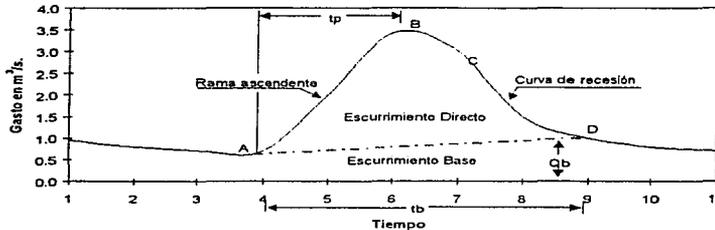
El propósito de la representación es conocer el régimen de una corriente, que se define como la variación del gasto respecto al tiempo. De acuerdo a la unidad de tiempo que se escoja: segundo, hora, día, mes, año, se tendrá régimen horario, régimen diario, etc.

La representación gráfica del escurrimiento se hace a través de un hidrograma, gráfica que muestra la variación con respecto al tiempo del gasto.

La variedad de formas de los hidrogramas varía con respecto a la características de las cuencas, de la forma que se presenta la tormenta (duración, intensidad, uniformidad), pero si es posible, en general, distinguir las siguientes partes en cada hidrograma.

Basándonos en la figura I.2 se puede hacer el siguiente análisis.

Fig I.2 Hidrograma Aislado



"A" es el punto de levantamiento, se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que cesó de llover.

El punto "B" representa el gasto máximo producido por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.

"C" es el punto de inflexión, este punto es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno y de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.

El punto "D" representa el final del escurrimiento directo, de este punto en adelante el escurrimiento es sólo el base.

t_p es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma, se llama tiempo de pico.

t_b es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el punto final del escurrimiento directo, por lo tanto es el tiempo que dura el escurrimiento directo, a este tiempo se le llama tiempo base.

El área bajo el hidrograma es el volumen total escurrido mientras que el área bajo el hidrograma y arriba de la línea de separación entre el gasto base y directo, es el volumen de escurrimiento directo. Debido a que el escurrimiento directo proviene de la precipitación, casi siempre aporta un componente del gasto total en un hidrograma mucho mayor que el que genera el escurrimiento base. Por otra parte, el escurrimiento base está formado normalmente por agua proveniente de varias tormentas.

1.2.3 Tipos de aforos

Se llaman estaciones de aforos a los lugares en los cuales se practican observaciones sistemáticas para conocer el régimen de una corriente.

El gasto o volumen de agua que pasa por la sección transversal de una corriente en la unidad de tiempo se determina, mediante una serie de operaciones, que constituyen lo que se llama un aforo. El gasto depende directamente del área de la sección transversal de la corriente y de la velocidad media del agua, obteniéndose el gasto por la multiplicación de estos dos factores.

En nuestro país se usan tres tipos de métodos para aforar corrientes, los cuales son; sección control, relación sección-pendiente y relación sección-velocidad.

- Sección de control:

Una sección de control de una corriente se define como aquella en la que existe una relación única entre el tirante y el gasto, los más comunes son las que en seguida se mencionan.

- * Vertedor de cresta delgada y orificios
- * Vertedor de cresta ancha
- * Conducto medidor Parshall

El método de las secciones de control es el más preciso de todos para aforar, pero presenta algunos inconvenientes. En primer lugar es relativamente costoso y solo se puede usar cuando los gastos son relativamente pequeños. En la sección de aforo se restringe el paso de objetos arrastrados por la corriente, otro inconveniente de esta sección de control es que aguas arriba de la sección se presenta un remanso.

- Relación sección - pendiente:

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente, en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforo. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida. Se basa en la fórmula de Manning, la velocidad es:

$$v = \frac{1}{n} R h^{2/3} S_f^{1/2} \quad (1.3)$$

donde

v = velocidad, en m/s

Rh = radio hidráulico

S_f = pendiente del tramo en estudio

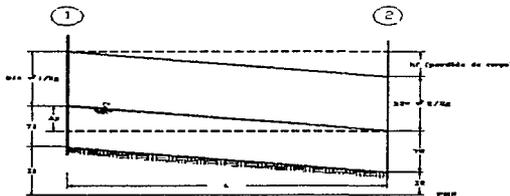
n = coeficiente de rugosidad
 además de la ecuación de continuidad se tiene que :

$$Q = vA \tag{I.4}$$

donde
 Q = gasto, en m³/s
 A = área hidráulica, en m²

A apoyados en la figura I.3 y aplicando la ecuación de la energía, en cada uno de los extremos del tramo en estudio se obtiene lo siguiente:

FIG. I.3 SECCION-PENDIENTE



$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \tag{I.5}$$

de la ecuación I.4 y I.5 tenemos:

$$h_f = \Delta y + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \tag{I.6}$$

donde

$\Delta y = (z_1 + y_1) - (z_2 + y_2)$ = diferencia en elevación de las marcas del nivel máximo del agua en los extremos del tramo.

$$h_f = \Delta y + \frac{Q^2}{bg} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \tag{I.7}$$

donde $b=2$ si $A_1 > A_2$ y $b=4$ si $A_2 > A_1$

Utilizando las ecuaciones I.3 y I.4 se puede escribir:

$$Q = \frac{A}{n} R h^{2/3} S f^{1/2} = K_d S f^{1/2} \quad (1.8)$$

donde

$K_d = \frac{A R h^{2/3}}{n}$ es el coeficiente de conducción medio en el tramo que puede calcularse como el promedio geométrico de los coeficientes de conducción en los extremos del mismo:

$$K_d = \sqrt{K_{d1} K_{d2}}; K_{d1} = \frac{A_1 R h_1^{2/3}}{n_1} \quad (1.9)$$

Utilizando las ecuaciones 1.7 y 1.8 y si se toma en cuenta que $h_f = S_f L$ se tiene lo siguiente:

$$\frac{Q^2}{K_d^2} = \frac{\Delta y}{L} + \frac{Q^2}{b g L} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (1.10)$$

despejando Q se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{\sqrt{\Delta y / L}}{\sqrt{\frac{1}{K_d^2} - \frac{1}{b g L} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right)}} \quad (1.11)$$

Con la ecuación 1.11 es posible estimar el gasto pico de una avenida si se conocen las marcas del nivel máximo del agua en las márgenes, la rugosidad del tramo y la topografía del mismo.

- Relación sección - velocidad

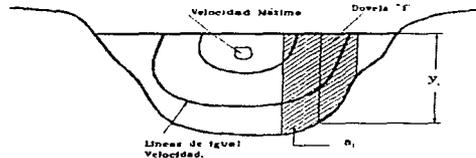
Este es el método más usado en México para aforar corrientes y el más usado en las estaciones hidrométricas en el Sistema Cutzamala, consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad. La determinación del gasto no es suficiente con medir la velocidad en un solo punto, por tal motivo es necesario dividir la sección transversal del cauce en varias subsecciones llamadas dovelas.

El gasto en cada una de las dovelas será:

$$q_i = a_i v_{mi} \quad (1.12)$$

donde a_i es el área de la dovela i y v_{mi} es la velocidad media en la misma dovela, ver figura I.4.

Fig. 1.4 Sección - Velocidad



La velocidad media es necesario que se mida a una cierta profundidad, por lo general al 20% y 80% de la profundidad del nivel del agua. Los registros de la velocidad se miden con unos aparatos llamados molinetes, que tienen una hélice o rueda de aspas o copas que giran impulsadas por la corriente, y mediante un mecanismo eléctrico transmite por un cable el número de revoluciones por minuto o por segundo con que gira la hélice. Esta velocidad angular se traduce después a velocidad del agua usando una fórmula de calibración que previamente se determina para cada aparato en particular.

Estos tres métodos no son los únicos que existen, sin embargo son los más utilizados, otro método para aforar es el de trazadores, que consiste en colocar una cantidad conocida de partículas fluorescentes, en una sección situada a una cierta distancia aguas arriba de la sección de aforos para medir el tiempo en que tarda en llegar a la última.

I.2.4 Estaciones Hidrométricas

En los estudios y proyectos relacionados con los aprovechamientos hidráulicos, son básicos los datos hidrométricos de las corrientes naturales, por tal motivo el medir el agua es sin duda, la base fundamental de su adecuada administración para planear y definir sus usos alternativos. De ahí que en el presente trabajo se otorgue importancia a las estaciones hidrométricas y a los datos hidrometeorológicos.

Las estaciones hidrométricas son lugares donde se miden los gastos de una corriente dada, así como otras características como la velocidad, el área de la sección y las elevaciones del nivel del agua, estas estaciones están constituidas por un tramo del cauce llamado "tramo de aforo", donde se practican todas las operaciones del aforo, y en el cual están localizadas:

- Las sección o secciones del cauce en las que hacen los aforos, designándose por ella "secciones de aforo".

- Una estructura que se aprovecha o destina especialmente para hacer las maniobras y observaciones llamada "estructura de aforo" (puente pasarela, sistema de cable y canastilla)
- Reglas graduadas llamadas escala, debidamente referidas a bancos fijos de nivel, para observar en ellas la elevación del nivel del agua en períodos determinados.
- El equipo y útiles necesarios para la medición de la sección y la velocidad de la corriente.
- Un aparato registrador de las alturas del agua (limnógrafo), en las estaciones de importancia o cuando se trata de corrientes con fluctuaciones de nivel considerable. Cabe mencionar que éste aparato debe estar protegido, por lo general se encuentra dentro de una caseta.

Elección del tramo de aforos

Deberá tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones, las cuales serán de gran utilidad durante la operación de la estación tanto para la calidad de los datos como para facilitar las labores y disminuir los gastos de mantenimiento.

* Ubicación

Como primera condición, la sección de aforo deberá estar situada en el tramo en que se necesita conocer el régimen de la corriente. Hay ocasiones en que dentro de dicho tramo no hay un sitio adecuado y entonces deberá instalarse lo más cerca posible del mismo, procurando que no haya aportaciones o aprovechamientos entre uno y otro sitio, en caso que los haya, se deberán instalar estaciones también en ellos a fin de cuantificarlos.

* Acceso

De ser posible siempre se deberán instalar las estaciones en lugares próximos y accesibles a poblados, con el fin de que el personal pueda atender fácilmente sus necesidades sin abandonar la estación periódicamente y por largos ratos.

* Estructura

Siempre que exista alguna estructura que pueda servir como viaducto para cruzar la corriente, deberá estudiarse la conveniencia de utilizarla, teniendo cuidado, si se trata de un puente, se debe observar que los soportes del mismo no causen remolinos perjudiciales, que afecten las mediciones, en cuyo caso conviene desecharla.

* Escurrimiento

El régimen de escurrimiento deberá ser lento, y no conviene que la velocidad del agua sea ni muy pequeña ni demasiado grande; en primer caso porque el molinete no funcionará o su funcionamiento será inadecuado, y el segundo porque a grandes velocidades el aparato puede dañarse con los cuerpos extraños que transporta el agua, además que resulta casi imposible practicar sondeos, se corre el riesgo que la corriente pueda dañar la escala, el limnógrafo etc. y puede ser un peligro para los mismos aforadores.

*** Tramo de aforos**

Debe buscarse siempre un tramo recto de la corriente en el cual la sección transversal sea uniforme y regular, procurando que la forma de la misma sea favorable para medir adecuadamente el caudal en todos los tirantes.

*** Forma de la sección**

El cauce deberá tener una amplitud tal que permita contener el gasto máximo, cuando se trate de estaciones de registro permanente que funcione todo el año. Si la capacidad del cauce es reducida, parte del escurrimiento se desbordará por las márgenes, con lo cual la relación escala - gasto se vuelve incierta.

La forma ideal de la sección de un río en el que se va a instalar una estación hidrométrica es la de una "V", es decir, aquella que tiene taludes inclinados que se abren desde el centro del cauce hacia ambos lados, con lo cual se tienen mejores condiciones para medir los gastos pequeños, así como los mayores.

*** Control**

Abajo del sitio de la estación debe buscarse que exista, o sea fácil construir una sección invariable (sección de control), cuyo objetivo es semejante al de la cresta de un vertedor y garantiza mejor la relación escala - gasto.

Planificación

Una vez elegido el sitio más conveniente para localizar la sección hidrométrica, se procederá a efectuar los levantamientos topográficos necesarios para la formación de un plano que se utilizará para el proyecto de los diferentes elementos de la estación y que comprenderá las siguientes partes; situación, plano de conjunto, secciones, referencias y cotas.

La operación de una estación hidrométrica, agrupa todos los trabajos necesarios para que llene la función para la cual fue construida, es decir, deben recabarse los datos hidrométricos de la corriente, de acuerdo con las normas establecidas, y también, según las instrucciones que en particular se hayan dado en cada caso, es recomendable ver el Instructivo para aforo de corrientes, editado por La Comisión Nacional del Agua.

La operación de una estación hidrométrica puede dividirse en cuatro partes principales que son:

- 1.- La obtención sistemática de los niveles del agua de la corriente, referidos a una escala. (lecturas de escala).
- 2.- La práctica sistemática de los aforos, a fin de conocer el gasto correspondiente a cada altura del agua. (aforos)

3.- La inspección periódica de la estación hidrométrica, vigilar la forma en que se efectúa las mediciones y el estado de las estructuras y equipo.

4.- La conservación en buen estado de todas las instalaciones y aparatos.

En el curso de la operación de una estación hidrométrica, es inevitable tener que vencer dificultades, unas de carácter técnico y otras de orden humano, siendo importantes unas como otras.

Entre las de carácter técnico suelen presentarse las siguientes:

- a) Excesiva variabilidad de las condiciones del cauce, lo cual altera constantemente la relación escala - gasto, tan importante en una estación.
- b) El deterioro, en mayor o menor grado, de algunas de las estructuras.
- c) La descompostura de los aparatos de medición o funcionamiento defectuosos de los mismos.

Entre los que pertenecen al orden humano se cuentan:

- a) El inconveniente que significa el aislamiento en que se encuentra algunas estaciones y que obliga al encargado a dejar la estación periódicamente, a fin de proveerse de alimentos y de otras cosas indispensables para su uso.
- b) El incumplimiento del personal, que puede anular todos los esfuerzos encaminados a obtener datos verídicos.

A lo anterior debe añadirse que las condiciones meteorológicas pueden ser causa de graves trastornos en el funcionamiento regular de una estación, los cuales, como es natural, se reflejan en deficiencias en el registro de los datos.

Las estaciones hidrométricas que se utilizaron en proyecto de la generación de escurrimientos del Sistema Cutzamala son las que se mencionan en la tabla 1.1. Como ya se dijo analizarán las estaciones hidrométricas La Comunidad localizada en el Río Temascaltepec y la estación Zitácuaro localizada en la Presa El Bosque. La descripción de ambas estaciones se menciona en los capítulos III y IV respectivamente.

En la estación hidrométrica La Comunidad se cuenta con información para los periodos de 1959 a 1977 y de 1979 a 1985. En la estación de Zitácuaro se cuenta con los siguientes años de información 1948 a 1977 y de 1981 a 1985, esta información se ilustra en la tabla 1.2 anexada al final del capítulo.

I.3 Precipitación

I.3.1 Definición

Para la determinación de los escurrimientos es necesario conocer los registros de la precipitación, de ahí que se hace un análisis sobre el tema.

Para el hidrólogo, la precipitación es el término general que abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes y caen en la superficie terrestre. Desde el momento de su formación en el atmósfera hasta que llega a la tierra, la precipitación tiene mayor interés para el meteorólogo que para el hidrólogo. No obstante en cuanto llega a la tierra, principalmente a la superficie terrestre, se convierte en un elemento básico de la hidrología.

La precipitación por lo general se puede presentar en tres diferentes estados físicos como pueden ser en forma de lluvia, granizo y de nieve. La precipitación se clasifica a menudo, según el factor que provoca dicha elevación. Así pues, la precipitación ciclónica resulta de la elevación del aire convergente en un área de baja presión, o ciclón. La mayoría de las borrascas (término que se hace extensivo a los ciclones o zonas de baja presión) en regiones llanas son de este tipo.

La precipitación por convección está causada por la elevación natural del aire más ligero y cálido, rodeado de zonas de aire más denso y más frío, la diferencia de temperatura puede provenir del desigual calentamiento de la superficie, desigual enfriamiento de la parte superior de la capa de aire, o la elevación mecánica cuando el aire se ve forzado a pasar sobre una masa de aire más densa y fría o sobre una barrera de montañas. La precipitación por convección es esporádica, y su intensidad puede oscilar desde ligeras lluvias con corta duración hasta tormentas repentinas, aguaceros con viento de corta duración.

La precipitación orográfica proviene de la elevación mecánica sobre barreras montañosas. En terreno abrupto, la influencia orográfica es tan marcada que las características de la precipitación tormentosa tienden a representar las de la precipitación media anual.

I.3.2 Medición de la precipitación

Se han desarrollado gran variedad de instrumentos y técnicas para recoger información de las diversas fases de la precipitación. Los más importantes son los instrumentos para medir la cantidad e intensidad de la precipitación. Los aparatos más usuales en México para medir la precipitación son los pluviómetros y los pluviógrafos, a continuación se hace una descripción breve de estos aparatos.

Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico graduado el cual se encuentra a dentro de otro recipiente cilíndrico de mayores dimensiones, en la parte superior de este último se coloca un embudo que capta el agua de lluvia. Se acostumbra colocar en el

embudo una malla para evitar la entrada de basura u otros objetos. El área de captación del recipiente mayor es diez veces mayor que el área del recipiente menor, con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente.

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel. El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón.

El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama pluviograma, éste registro se obtiene directamente de un pluviógrafo de flotador y sifón, los descensos ocurren cuando se ha llenado el recipiente, esto es, cuando se han alcanzado 10 mm de precipitación y se desaloja el agua contenida en él por medio del sifón.

Se tienen otros tipos de registros de la precipitación como son, la precipitación acumulada contra el tiempo llamada curva masa de precipitación. Hay que mencionar que esta curva es no decreciente, y que su pendiente, en cualquier tiempo, es igual a la intensidad de la lluvia (altura de precipitación por unidad de tiempo) en ese instante. A partir de una curva masa de precipitación es posible dibujar diagramas de barras que representan las variaciones de la altura de precipitación o de su intensidad en intervalos de tiempo previamente seleccionados, estos diagramas de barras se llaman hietogramas.

I.3.3 Análisis de los datos de precipitación

Para evitar conclusiones erróneas, es importante dar la interpretación apropiada a los datos de precipitación, que, a menudo no puede aceptarse como valor definitivo. Por ejemplo, el valor de la precipitación media anual, para una estación, puede tener poca importancia si el emplazamiento del pluviómetro se cambió apreciablemente durante el periodo de cálculo de dicha media. Además, hay varios sistemas para calcular la precipitación media sobre un área, cada una de las cuales puede dar un resultado diferente.

Para calcular la lluvia media de una tormenta dada, existen tres métodos de uso generalizado:

-Método aritmético

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} \quad (I.13)$$

donde

h_p es la altura de precipitación media, en mm

h_{pi} es la altura de precipitación registrada en la estación i y n es el número de estaciones bajo análisis.

- Método de las Isoyetas

Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante como se trazan las curvas de nivel en topografía.

La precipitación media se calcula con la ecuación siguiente:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^{n'} (\bar{h}_{pi} A'_i) \quad (I.14)$$

donde

A'_i es el área entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas

\bar{h}_{pi} , n' es el número de áreas A'_i consideradas.

-Polígonos de Thiessen

El método consiste en:

1.- Unir mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (líneas discontinuas). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.

2.- Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos (líneas rectas continuas). Por geometría elemental, las líneas rectas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.

3.- Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso anterior, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la sección correspondiente.

4.- La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi} \quad (I.15)$$

donde

A_i es el área de influencia de la estación i

A_T es el área total de la cuenca.

El método de polígonos de Thiessen es el que se empleó en la elaboración de la generación de escurrimientos, en este trabajo.

I.3.4 Estación Climatológica

Así como las estaciones hidrométricas son de gran importancia para los estudios y proyectos relacionados con los aprovechamientos hidráulicos, también las estaciones climatológicas juegan un papel importante, tanto por sus datos registrados como también su localización, pues de ésta última estará relacionada con el análisis de la precipitación (áreas de influencia, en el método de polígonos de Thiessen).

Las estaciones climatológicas son lugares donde se miden los datos de precipitación diaria, mensual y anual. Las temperaturas máximas, mínimas y media. La evaporación, insolación diaria, evapotranspiración, viento y humedad relativa.

Las estaciones climatológicas cuenta con parte o con la totalidad del siguiente equipo:

- 1.- Caseta de Termómetro
- 2.- Pluviómetro
- 3.- Tanque de evaporación
- 4.- Anemómetro
- 5.- Pluviógrafo

Las estaciones climatológicas que emplearon en este proyecto son, las que se muestran en la tabla I.3

Tabla I.3 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS					
ESTACION CLIMATOLOGICA	ESTADO	LOCALIZACION			CONTROLADA POR
		LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	
		Grados y Minutos		(m.s.n.m)	
Amanalco de Becerra	México	19° 15'	100° 01'	2 330	S.A.R.H
Campo Berros	México	19° 23'	100° 04'	2 544	S.A.R.H
Cieneguilla de Lara	México	19° 01'	99° 55'	2 875	S.A.R.H
Ciudad Hidalgo	Michoacán	19° 42'	100° 33'	...	S.R.H
Colorines	México	19° 12'	100° 14'	2 434	C.F.E
El Bosque	Michoacán	18° 58'	102° 43'	1 751	C.F.E
Envegé	México	19° 34'	99° 54'	2 550	S.A.R.H
Ixtapan del Oro	México	19° 16'	100° 16'	1 680	S.A.R.H
Jungapeo	Michoacán	19° 27'	100° 30'	...	S.M.N
La Comunidad	México	19° 08'	99° 56'	2 500	S.A.R.H
Los Azufres	Michoacán	19° 40'	100° 38'	...	S.A.R.H
Palizada	México	19° 30'	100° 06'	2 622	S.A.R.H
Paso del Cobre	México	18° 58'	100° 00'	1 250	C.F.E
Presa Agostillán	Michoacán	19° 33'	100° 37'	...	S.A.R.H
Presa Pucuate	Michoacán	19° 38'	100° 42'	...	S.R.H
Presa Sabaneta	Michoacán	19° 37'	100° 41'	...	S.R.H
Presa Tuxpan	Michoacán	19° 30'	100° 06'	1 792	C.F.E
Presa Valle de Bravo	México	19° 12'	100° 07'	1 846	C.F.E
Presa Villa Victoria	México	19° 27'	99° 59'	2 680	C.F.E
Pueblo Nuevo	México	19° 34'	100° 03'	2 680	S.A.R.H
Puente Andaró	México	19° 03'	100° 01'	1 840	C.N.A
San Felipe del Progreso	México	19° 42'	99° 57'	2 550	S.M.N
San Francisco Oxtotilpan	México	19° 09'	99° 54'	2 605	C.N.A
San Onofre	México	18° 42'	100° 06'	2 630	S.A.R.H
Senquio	Michoacán	19° 44'	100° 21'	...	S.A.R.H
Temascaltepec	México	19° 02'	100° 03'	1 830	C.N.A
Tequesquipan	México	19° 04'	99° 57'	2 415	D.G.O.H
Tzilzio	Michoacán	19° 35'	100° 55'	...	S.A.R.H
Villa de Allende	México	19° 22'	100° 05'	2 380	S.M.N
Zitácuaro	Michoacán	19° 06'	100° 22'	...	C.N.A

De las estaciones mencionadas anteriormente se emplearon para el desarrollo del presente aquellas estaciones climatológicas cercanas a las estaciones hidrométricas para poder realizar el cálculo de los escurrimientos. En seguida se mencionan las estaciones climatológicas que tienen relación con las estaciones hidrométricas de Zitácuaro y La Comunidad.

Estación Zitácuaro:

- Zitácuaro
- Villa de Allende
- Tuxpan
- Palizada

Estación La Comunidad :

- San Francisco Oxtotilpan
- La Comunidad

CAPITULO II

METODOLOGÍA APLICABLE

Es común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de las obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento, por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación. Las características de las cuencas se conocen por medio de planos topográficos y de uso del suelo y en el caso de la precipitación por mediciones directas.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes:

- a) Área de la cuenca
- b) Altura total de precipitación
- c) Características generales o promedio de la cuenca
- d) Distribución de la lluvia en el tiempo
- e) Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

Para la elaboración del presente estudio se han considerado los siguientes conceptos.

- * Localización de estaciones hidrométricas
- * Trazo de las cuencas en estudio
- * Localización de las estaciones climatológicas
- * Recopilación y análisis de información hidrométrica y climatológica

- * Determinación de los escurrimientos
- * Generación de gastos y volúmenes

La primera actividad necesaria para el desarrollo del presente trabajo, consistió en la recopilación de la información hidrológica básica necesaria, entre las dependencias de las cuales se recabó dicha información se tiene la Gerencia de Aguas del Valle de México, Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal de Electricidad y otras dependencias, así como información cartográfica, topográfica y del uso del suelo, estudios previos y toda la que se consideró necesaria, para después analizarla, depurarla y definir lo que fue de utilidad, para así capturarla y procesarla.

En la determinación de los caudales que ingresan a las diversas Presas del Sistema Cutzamala y del Río Temascaltepec, se consideró toda la información hidrológica disponible en las cuencas de aportación y aledaños de cada presa o corriente y se analizaron diversos métodos para la determinación de los escurrimientos, como:

- Coeficientes de Ecurrimiento
- US Soil Conservation Service
- Correlación y Relación Lineal
- Correlación y Relación Logarítmica y Exponencial
- Balance Hidrológico Edafológico
- United States Bureau of Reclamation

Con la información disponible se aplicaron los métodos antes mencionados, para evaluarlos y contar así con los elementos de juicio para seleccionar la metodología más apropiada para la generación de los escurrimientos.

A continuación se describe la metodología para calcular los escurrimientos de entrada a las presas, para así contar con datos que permitan efectuar la simulación del funcionamiento del sistema para el aprovechamiento óptimo de dichos caudales, así como la adecuada operación de las diversas estructuras hidráulicas de control y conducción.

II.1.- Coeficientes de Ecurrimiento.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. La infiltración juega un papel importante en la relación lluvia-escurre. En general, el volumen de infiltración es varias veces mayor que el de escurrimiento durante una tormenta dada.

Existen varios factores que afectan la capacidad de infiltración, los cuales varían de una cuenca a otra, de esta forma se vuelve necesario para el estudio de una cuenca específica, la obtención de un parámetro que sea representativo de las características de la cuenca.

Con este criterio se supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de lluvia:

$$f = (1 - C_e) i, \text{ es decir } r = C_e i$$

donde

f= infiltración

i= intensidad

r= pérdidas

Donde la constante de proporcionalidad C_e , sin unidades, se denomina coeficiente de escurrimiento, que también se puede definir como

$$C_e = \frac{V_{ed}}{VII} \quad (II.1)$$

donde:

V_{ed} volumen de escurrimiento directo.

C_e coeficiente de escurrimiento.

VII volumen llovido.

o también :

$$V_{ed} = C_e * VII \quad (II.2)$$

El volumen llovido se obtiene como la altura de precipitación por el área de influencia de las estaciones, definidas éstas con el Método de los Polígonos de Thiessen. El volumen de escurrimiento directo es el registrado en la estación menos el gasto base.

En el caso de que la cuenca en estudio no tenga registros ya sea de escurrimiento o de lluvias, se vuelve necesario el estudio de cuencas vecinas instrumentadas en medición de escurrimientos y precipitación.

A partir del análisis diario de la relación lluvia-escurrimiento, se pueden obtener los coeficientes de escurrimiento, los cuales permiten conocer el volumen escurrido o el de precipitación aproximado de la cuenca en estudio.

II.1.1.- Obtención de Gastos Base.

Como los coeficientes de escurrimiento se obtiene de los volúmenes de escurrimiento superficial, es necesario a los caudales registrados quitarles el gasto base.

El procedimiento que se siguió en la obtención de los gastos base para cada una de las estaciones hidrométricas del Sistema Cutzamala, fue el siguiente:

a).- De la información de escurrimiento disponible de la estación se separó la correspondiente al período de estiaje de aquella correspondiente al período de lluvias.

b).- Se tomó un promedio de los gastos de estiaje y así se determinó el gasto base en los meses que corresponden a esta época del año (noviembre a abril).

c).- Para los meses correspondientes al período de lluvias, se llevó a cabo una interpolación lineal entre los gastos base de abril y noviembre; de esta forma se obtuvieron los valores de gasto base para la época de lluvias (mayo a octubre).

Con los gastos base así obtenidos para cada una de las estaciones hidrométricas, se calcularon el escurrimiento directo, y con los volúmenes llovidos se pudo determinar los coeficientes de escurrimiento a nivel diario y mensual, cuyos calculos se encuentran en los capítulos III y IV.

II.2.- Us Soil Conservation Service.

El método formulado por el Soil Conservation Service en el año de 1957 está basado en un hidrograma adimensional, desarrollado con un gran número de hidrogramas unitarios clasificados por tamaño y localización geográfica. El hidrograma está representado como un simple triángulo (Fig. II.2.1) , con una duración de lluvia D (hr), un tiempo de ascenso T_R (hr) , un tiempo de descenso B (hr) , y un Gasto pico Q_p (cfs) (Escurrecimiento pico). El volumen del escurrimiento directo es

$$\text{Vol} = \frac{Q_p \cdot T_R}{2} + \frac{Q_p \cdot B}{2} \quad \text{ó}$$
$$Q_p = \frac{2\text{Vol}}{T_R + B} \quad (\text{II.3})$$

Revisando una gran cantidad de hidrogramas, se encontró que

$$B = 1.67 * T_R \quad (\text{II.4})$$

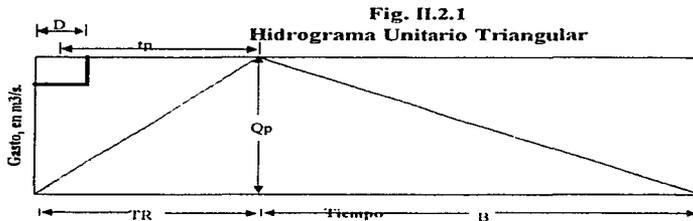
por lo tanto, la ecuación II.3 se expresa, para 1 pulgada de lluvia en exceso,

$$\begin{aligned}
 Q_p &= \frac{0.75Vol}{T_R} \\
 &= \frac{(0.75)(640)A(1.008)}{T_R} \\
 &= \frac{484A}{T_R}
 \end{aligned}
 \tag{II.5}$$

donde :

A área de la cuenca, en mi^2
 T_R tiempo de ascenso, en h
 1.008 factor para convertir ac-in/hr a pies cúbicos sobre segundo

Capece et al. (1984) encontró que se puede usar un factor de 10 a 50 para cuencas planas con un nivel freático alto, en lugar del valor 484 presentado aquí.



De la figura II.2.1 se puede ver que

$$T_R = \frac{D}{2} + t_p
 \tag{II.6}$$

donde:

D duración de la tormenta, en h
 t_p tiempo de retraso del centroide de la tormenta al Q_p , en h

El tiempo de retraso t_p lo podemos estimar con alguna de las ecuaciones empíricas utilizadas por el SCS, tal como

$$t_p = \frac{L^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad (\text{II.7})$$

donde:

t_p	tiempo de retraso, en h
L	longitud del cauce, en ft
y	pendiente promedio de la cuenca, en %
S	= 1000/ CN -10, (Pérdida potencial)
CN	Número de Curva de diversos suelos/ Uso de la tierra (Ver tabla II.2.1)

El hidrograma unitario adimensional del SCS puede ser empleado para desarrollar un hidrograma curvo, usando los mismos t_p y Q_p como en el hidrograma triangular de la fig. II.2.1

En el año de 1964, el Soil Conservation Service, adopta una relación entre la tormenta acumulada total P , el escurrimiento Q , y la infiltración más la pérdida inicial ($F + I_a$) para el cálculo del escurrimiento. Es decir

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e} \quad (\text{II.8})$$

Donde F es la infiltración que ocurre después de que el escurrimiento comienza, S es la pérdida potencial, Q es el escurrimiento directo en pulgadas, y P_e es el escurrimiento efectivo producido por la tormenta ($P - I_a$). Con $F = (P_e - Q)$ y $P_e = (P - I_a) = (P - 0.2S)$ basado en datos de cuencas pequeñas.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (\text{II.9})$$

El método SCS emplea el número de curva CN , relacionado a la pérdida potencial como $CN = 1000 / (S + 10)$, o S (in) = $(1000) / CN - 10$. La figura II.2.2 nos presenta la ecuación (II.9) en forma gráfica para un rango de valores de CN y de precipitación. Los números de curva para usos de tierra definidos se presentan en la tabla II.2.1, en donde el grupo de suelo hidrológico A son arenas con poco limo y arcilla; muy permeables, el grupo B son arenas finas y limos, el grupo C son arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla, y el grupo D son arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; muy impermeables.

Los valores de CN en la fig. II.2.2 suponen antecedentes normales de humedad para condición II, otros antecedentes en condiciones de humedad y efectos de urbanización pueden ser tomados utilizando el informe del SCS sobre Hidrología Urbana para Cuencas pequeñas (1986). Para una cuenca formada de varios tipos de suelo y usos de tierra, un valor compuesto de CN se puede calcular como se muestra en el siguiente ejemplo.

Figura III.2.2 Solución de la ecuación II.9

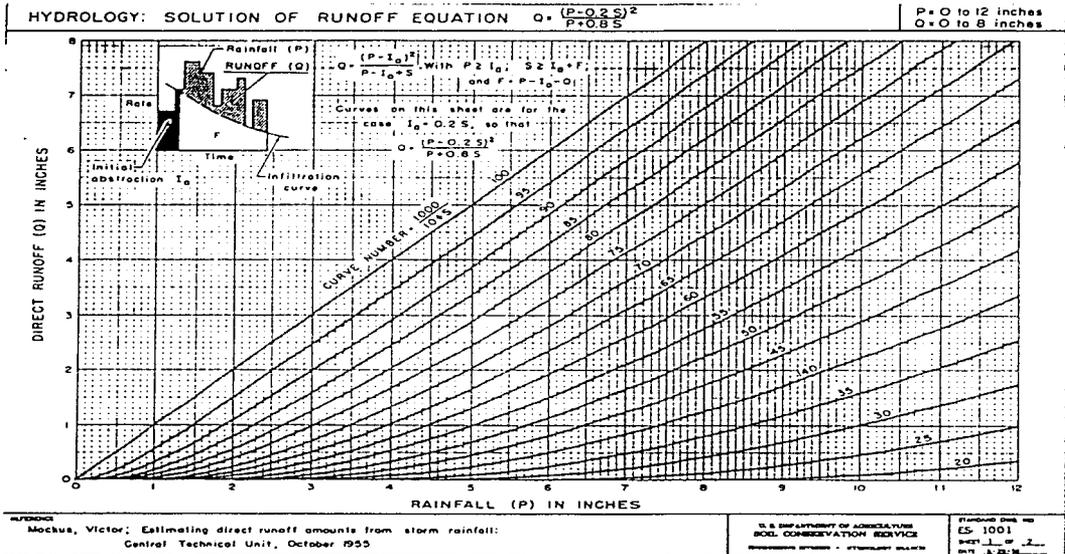


Tabla II.2.1
NUMEROS DE CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA USO DEL SUELO
EN ZONA AGRICOLA, SUBURBANA, Y URBANA.
(CONDICION ANTECEDENTE DE HUMEDAD II ; I_a = 0.2 S)

Descripción del uso del suelo	GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Suelo cultivado ¹				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento para conservación	62	71	78	81
Pastizal				
Malas condiciones	68	79	86	89
Buenas condiciones	39	61	74	80
Pradera				
Buenas Condiciones	30	58	71	78
Bosque natural				
Descubierto	45	66	77	83
Con una buena cubierta ²	25	55	70	77
Espacios abiertos, pasto, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Buenas condiciones: el pasto cubre un 75% o más del área.	39	61	74	80
Condiciones regulares: el pasto abarca entre un 50-75% del área.	49	69	79	84
Áreas comerciales y de negocios. (impermeable en un 85%)	89	92	94	95
Zonas industriales (impermeable en un 72%)	81	88	91	93
Zona Residencial ³				
Tamaño de lote prom. Imperm. promedio % ⁴				
1/8 ac o menos 65	77	85	90	92
1/4 ac 38	61	75	83	87
1/3 ac 30	57	72	81	86
1/2 ac 25	54	70	80	85
1 ac 20	51	68	79	84
Lotes para estacionamiento pavimentados, techos, entradas, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentadas con bordillos y alcantarillas. ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Terracerías	72	82	87	89

1. Para una descripción más detallada del uso del número de curva en suelo agrícola, vease el *National Engineering Handbook*, Sección 4, "Hidrología", Capítulo 9, Agosto. 1972

2. Este tipo de suelo esta protegido contra el pastoreo, disposición de basura y maleza.
3. Estos números de curva están calculados suponiendo que el escurrimiento de la casa y entrada es directo hacia la calle con un mínimo de agua directa del techo al césped, donde la infiltración adicional se puede presentar.
4. Las áreas permeables restantes son consideradas en buenas condiciones de cubierta para estos números de curva.
5. En algunos climas calurosos puede ser empleado un número de curva de 95.

Ejemplo 1

Se tiene una cuenca arbolada en un 40 % (en buenas condiciones) y 60 % de zona residencial (con lotes de 1/4 de acre). La cuenca posee un 50% del suelo Grupo B y un 50% del suelo Grupo C. Determine el volumen de escurrimiento si la lluvia es de 7 in. Suponga los antecedentes para condiciones de humedad número II.

USO DEL SUELO	GRUPO	AREA	CN
BOSQUE	B	0.4 (0.5) = 0.2	55
	C	0.4 (0.5) = 0.2	70
ZONA RESIDENCIAL	B	0.6 (0.5) = 0.3	75
	C	0.6 (0.5) = 0.3	83

El valor promedio de CN es

$$CN = 0.2 (55) + 0.2 (70) + 0.3 (75) + 0.3 (83) = 73.4$$

usando CN = 73, el volumen de escurrimiento es 4.0 in. para la lluvia dada. (Fig II.2.2)

Dado que $F = P_e - Q$, donde $P_e = P - I_u$ de la ecuación (II.9),

$$F = P_e - P_e^2 / (P_e + S) = P_e S / (P_e + S). \quad P \geq I_u \quad (II.10)$$

Note que I_u y S son constantes, la ecuación II.10 puede diferenciarse para encontrar el porcentaje de infiltración instantánea,

$$f = dF/dt = S^2 i / (P_e + S)^2 \quad (II.11)$$

En donde $i = dP_e/dt = dP/dt =$ intensidad de lluvia. Se conoce que la dependencia del porcentaje de infiltración sobre la intensidad de lluvia no es físicamente real a menos que

toda la lluvia se infiltre (sin encharcarse) con lo cual $f = i$. Esta es una deficiencia del método SCS cuando es usado con el propósito de obtener el escurrimiento directo y la infiltración durante una tormenta. No obstante, el método SCS es con frecuencia utilizado para obtener un hietograma de escurrimiento directo usando la ecuación (II.9) determinando incrementos de escurrimiento directo como la diferencia entre el escurrimiento acumulado Q en cada intervalo de tiempo. Esto se ilustra en el ejemplo 2. Se puede usar una hoja de cálculo fácilmente para mostrar los cálculos requeridos en el ejemplo 2.

Ejemplo 2.

Incremento de escurrimiento empleando SCS ec. II.9

Se conoce el escurrimiento producido por una tormenta en una cuenca con $CN=75$. Calcular las pérdidas acumuladas y el hietograma de lluvia en exceso para cada hora, aplicando la ecuación (II.10) para F como una función del tiempo.

SOLUCION:

Para $CN = 75$, $S = (1000/75)-10 = 3.33$ in.; $I_a = 0.2 S = 0.67$ in.

La pérdida inicial absorbe toda la lluvia hasta $P = 0.67$ in., incluyendo 0.3 en la primera hora y 0.37 en la segunda hora. Para $P > 0.67$ in., la pérdida F se calcula de la ecuación (II.10): $F = 3.33 (P-0.67)/(P+2.67)$ para cada hora.

La lluvia en exceso es aquella cantidad que queda despues de las pérdidas iniciales y siguientes, $P_e = P - I_a - F_a$.

TIEMPO (hr)	ACUM P (in)	PERDIDAS ACUM		ACUM P _e (in)	HIETOGRAMA DE EXCESO
		I _a	F		
0	0.0	0.00	0.00	0.00	
1	0.3	0.30	0.00	0.00	0.00
2	0.7	0.67	0.03	0.00	0.00
3	1.4	0.67	0.60	0.13	0.13
4	2.8	0.67	1.29	0.83	0.70
5	4.0	0.67	1.66	1.67	0.84
6	4.5	0.67	1.77	2.06	0.39

A pesar de que el método SCS es usado ampliamente en la ingeniería práctica, y se dispone de una versión de PC para cuencas urbanas (TR55, SCS, 1986), el método tiene algunas debilidades como lo señala Capece (1984). Es difícil igualar hidrogramas medidos en cuencas con niveles piezométricos altos, además de que las distintas condiciones (I, II y III) no representan la realidad con precisión. Por otra parte la fortaleza del método SCS es la enorme base de datos sobre información de suelos, mapas de suelos, y relaciones lluvia-escorrimento de sitios específicos. El ejemplo 3 nos ilustra el método del hidrograma unitario en el SCS, basado en el uso de la ecuación II.7 para el cálculo del tiempo de retraso

Ejemplo 3.

Hidrograma Unitario SCS

Para una cuenca de 100 mi², desarrollar un hidrograma unitario empleando el método SCS. La cuenca se forma de prados en buenas condiciones con suelo del grupo D. La pendiente promedio en la cuenca es de 100 ft/mi. La duración de lluvia es de 1.6 h y la longitud del cauce principal es de 18 mi. Dibuje el hidrograma triangular resultante.

SOLUCION

La ecuación II.7 proporciona la siguiente relación para t_p :

$$t_p = \frac{L^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900y^{0.5}}$$

De la tabla II.2.1, se determinó el número de curva como 78. Por lo tanto,

$$\begin{aligned} S &= 1000 / CN - 10 \\ &= 1000 / 78 - 10, \\ &= 2.82 \text{ in.} \end{aligned}$$

Como, $L = 18$ mi., entonces

$$l = (18 \text{ mi}) (5280 \text{ ft/mi}) = 95,040 \text{ ft.}$$

La pendiente es 100 ft/mi, entonces

$$\begin{aligned} y &= (100 \text{ ft / mi}) (1 \text{ mi} / 5280 \text{ ft}) (100\%) \\ &= 1.9 \%, \end{aligned}$$

y

$$t_p = \left[\frac{(95,040)^{0.8} (2.82 + 1)^{0.7}}{1900\sqrt{1.9}} \right]$$

toda la lluvia se infiltre (sin encharcarse) con lo cual $f = i$. Esta es una deficiencia del método SCS cuando es usado con el propósito de obtener el escurrimiento directo y la infiltración durante una tormenta. No obstante, el método SCS es con frecuencia utilizado para obtener un hietograma de escurrimiento directo usando la ecuación (II.9) determinando incrementos de escurrimiento directo como la diferencia entre el escurrimiento acumulado Q en cada intervalo de tiempo. Esto se ilustra en el ejemplo 2. Se puede usar una hoja de cálculo fácilmente para mostrar los cálculos requeridos en el ejemplo 2.

Ejemplo 2.

Incremento de escurrimiento empleando SCS ec. II.9

Se conoce el escurrimiento producido por una tormenta en una cuenca con $CN=75$. Calcular las pérdidas acumuladas y el hietograma de lluvia en exceso para cada hora, aplicando la ecuación (II.10) para F como una función del tiempo.

SOLUCION:

Para $CN = 75$, $S = (1000/75) - 10 = 3.33$ in.; $I_a = 0.2 S = 0.67$ in.

La pérdida inicial absorbe toda la lluvia hasta $P = 0.67$ in., incluyendo 0.3 en la primera hora y 0.37 en la segunda hora. Para $P > 0.67$ in., la pérdida F se calcula de la ecuación (II.10): $F = 3.33 (P - 0.67) / (P + 2.67)$ para cada hora.

La lluvia en exceso es aquella cantidad que queda después de las pérdidas iniciales y siguientes, $P_e = P - I_a - F_a$.

TIEMPO (hr)	ACUM P (in)	PERDIDAS ACUM (in)		ACUM P_e (in)	HIETOGRAMA DE EXCESO
		I_a	F		
0	0.0	0.00	0.00	0.00	
1	0.3	0.30	0.00	0.00	0.00
2	0.7	0.67	0.03	0.00	0.00
3	1.4	0.67	0.60	0.13	0.13
4	2.8	0.67	1.29	0.83	0.70
5	4.0	0.67	1.66	1.67	0.84
6	4.5	0.67	1.77	2.06	0.39

A pesar de que el método SCS es usado ampliamente en la ingeniería práctica, y se dispone de una versión de PC para cuencas urbanas (TR55, SCS, 1986), el método tiene algunas debilidades como lo señala Capece (1984). Es difícil igualar hidrogramas medidos en cuencas con niveles piezométricos altos, además de que las distintas condiciones (I, II y III) no representan la realidad con precisión. Por otra parte la fortaleza del método SCS es la enorme base de datos sobre información de suelos, mapas de suelos, y relaciones lluvia-escorrimento de sitios específicos. El ejemplo 3 nos ilustra el método del hidrograma unitario en el SCS, basado en el uso de la ecuación II.7 para el cálculo del tiempo de retraso

Ejemplo 3. Hidrograma Unitario SCS

Para una cuenca de 100 mi², desarrollar un hidrograma unitario empleando el método SCS. La cuenca se forma de prados en buenas condiciones con suelo del grupo D. La pendiente promedio en la cuenca es de 100 ft/mi. La duración de lluvia es de 1.6 h y la longitud del cauce principal es de 18 mi. Dibuje el hidrograma triangular resultante.

SOLUCION

La ecuación II.7 proporciona la siguiente relación para t_p :

$$t_p = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900y^{0.5}}$$

De la tabla II.2.1, se determinó el número de curva como 78. Por lo tanto,

$$\begin{aligned} S &= 1000 / CN - 10 \\ &= 1000 / 78 - 10, \\ &= 2.82 \text{ in.} \end{aligned}$$

Como, $L = 18 \text{ mi.}$, entonces

$$l = (18 \text{ mi}) (5280 \text{ ft/mi}) = 95,040 \text{ ft.}$$

La pendiente es 100 ft/mi, entonces

$$\begin{aligned} y &= (100 \text{ ft / mi}) (1 \text{ mi} / 5280 \text{ ft}) (100\%) \\ &= 1.9 \%, \end{aligned}$$

y

$$t_p = \left[\frac{(95,040)^{0.8} (2.82 + 1)^{0.7}}{1900\sqrt{1.9}} \right]$$

$$t_p = 9.4 \text{ h.}$$

De la ecuación II.6 y con $D = 1.6 \text{ hr}$

$$T_R = \frac{D}{2} + t_p$$

$$T_R = (1.6 / 2) + 9.4 \text{ hr}$$

$$T_R = 10.2 \text{ hr.}$$

la ecuación II.5 proporciona

$$Q_p = \frac{0.75Vol}{T_R}$$

$$Q_p = \frac{(0.75)(640)A(1.008)}{T_R}$$

$$Q_p = \frac{484A}{T_R}$$

$$= (484 * 100) / 10.2,$$

$$Q_p = 4,745 \text{ cfs.}$$

Para completar la gráfica, es necesario también conocer el tiempo de descenso B . El volumen es 1 pulgada de escurrimiento directo sobre la cuenca, entonces

$$Vol = (100mi^2) \left(\frac{5,280ft}{mi} \right)^2 \left(\frac{ac}{43,560ft^2} \right) (1in.) = 64,000ac - in.$$

De la ecuación II.3

$$Vol = \frac{Q_p \cdot T_R}{2} + \frac{Q_p \cdot B}{2} = 64,000 \text{ ac-in} = 64,000 \text{ cfs-hr.}$$

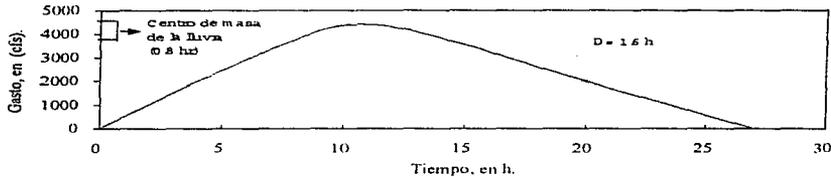
$$64,000cfs - hr = \frac{(4,745cfs \times 10.2hr)}{2} + \frac{(4,745cfs)(Bhr)}{2},$$

Entonces

$$B = 16.8 \text{ hr.}$$

El hidrograma unitario triangular se muestra en la Fig. II.2.3.

Fig. II.2.3.
Hidrograma Unitario Triangular



II.3.- Correlación y Regresión Lineal.

II.3.1.- Correlación.

La correlación y los diagramas de dispersión son herramientas que sirven para decidir si existe una relación lineal entre dos variables. Para poder emplear estas herramientas, la muestra de datos debe ser recabada en pares.

En general, los diagramas de dispersión revelan patrones y son fáciles de trazar, pero las conclusiones que se toman del dibujo tienden a ser subjetivas. Para análisis más precisos y objetivos estos deben ser acompañados del cálculo del coeficiente de correlación lineal, que es denotado por la letra r y está dado por la siguiente fórmula :

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (\text{II.12})$$

Puesto que r es calculado usando una muestra de datos, es una muestra estadística. Se puede pensar en r como un punto estimado del parámetro de población ρ , el cual es el coeficiente de correlación lineal para todos los pares de datos en una población.

A continuación se describe la forma de calcular e interpretar el coeficiente de correlación lineal r teniendo una lista de pares de datos.

n es el número de pares de datos expuestos.

- Σ denota la suma de los números indicados.
 Σx denota la suma de todos los valores x .
 Σx^2 indica que cada valor de x debe ser elevado al cuadrado, de esta forma los valores al cuadrado deben sumarse.
 $(\Sigma x)^2$ indica que los valores de x deben ser sumados y el total de esta suma se debe elevar al cuadrado. Es extremadamente importante evitar confusión entre Σx^2 y $(\Sigma x)^2$.
 Σxy indica que cada valor de x debe ser multiplicado por su correspondiente valor de y . Después obteniendo cada uno de los productos, encontrar su suma.
 r es el coeficiente de correlación lineal, el cual mide la capacidad de la relación entre todos los pares de valores x, y en una muestra.
 ρ es el coeficiente de correlación, el cual mide la capacidad de la relación entre todos los pares de valores x, y en una población. r es un parámetro de la población.

El valor calculado de r de la ecuación (II.12), debe estar siempre en el rango entre -1 y $+1$. Una correlación lineal positiva fuerte entre valores de x , y esta reflejada por un valor de r cercano a $+1$, mientras que una correlación lineal negativa esta indicada por un valor de r cercano a -1 . Si r es cercano a cero, concluimos que no es trascendente la correlación lineal entre x , y .

II.3.2.- Regresión.

Mientras que en el caso anterior, se usó la correlación r (ec. II.12) para evaluar una relación entre dos variables, aquí se presenta un método para obtener la línea de regresión particular (o línea de mejor trazo o línea de mínimos cuadrados) que representa la relación. Se considerarán únicamente relaciones lineales. La relación real entre las dos variables es a menudo lineal, o puede ser no lineal o en casos curvilínea lo que implica dificultades.

Ahora, se quiere una ecuación de la forma $y = mx + b$, donde m y b son la pendiente y la ordenada al origen, respectivamente, de la línea de regresión exacta. Empleando únicamente muestras de datos, no es posible encontrar los valores exactos de los parámetros de la población m y b , pero se pueden encontrar sus puntos estimados m y b usando las siguientes fórmulas.

$$m = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (\text{II.13})$$

$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (\text{II.14})$$

Algunas calculadoras aceptan la entrada de datos en pares y arrojan los valores de m y b directamente. Estas fórmulas son sumamente útiles pero deben tomarse en consideración

tres cosas para hacer el cálculo más simplificado. Primero, si el coeficiente de correlación r ya ha sido calculado, los valores de Σx , Σy , Σx^2 , $(\Sigma x)^2$ y Σxy ya han sido calculados. Estos valores pueden ser utilizados nuevamente en las fórmulas anteriores. Segundo, examinando los denominadores de las fórmulas para m y b (II.13) y (II.14) observamos que son idénticos. Esto significa que el cálculo de $n(\Sigma x)^2 - (\Sigma x)^2$ necesita hacerse una sola vez, y el resultado que se obtenga puede utilizarse en ambas fórmulas. Tercero, la línea de regresión siempre pasa por el centroide (\bar{x}, \bar{y}) , así la ecuación $\bar{y} = m\bar{x} + b$ (II.15) se hace cierta. Esto implica que, $b = \bar{y} - m\bar{x}$ (II.16) lo cual hace más fácil evaluar el valor de b .

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (II.16)$$

II.3.3.- Intervalos de Variación y Predicción.

Se entenderá el valor de r de una manera muy limitada cuando se tome alguna de las tres afirmaciones siguientes:

1. Se presenta una significativa correlación lineal positiva.
2. Se presenta una significativa correlación lineal negativa.
3. No existe una significativa correlación lineal.

Los valores reales de r pueden dar mas información.

Por lo tanto se tiene que dada una colección de pares de datos, la desviación total de un punto en particular (x, y) es $y - \bar{y}$, la desviación explicada es $y' - \bar{y}$, y la desviación inexplicada es $y - y'$.

Para los datos considerados, la desviación total de (5, 19) es:

$$y - \bar{y} = 19 - 9 = 10$$

Si no se tuviera conocimiento de los conceptos de regresión y de correlación y se quisiera predecir un valor de y teniendo un valor de x y una colección de pares de datos (x, y) , la mejor ayuda pudiera ser \bar{y} . Pero se tienen conocimientos de los conceptos de correlación y regresión: Se conoce que en este caso la forma de pronosticar el valor de y cuando $x = 5$ es emplear la ecuación de regresión, que genera $y' = 13$. Es posible aclarar la discrepancia entre $\bar{y} = 9$ y $y' = 13$ por simple observación, ya que existe una significativa correlación lineal positiva de una manera mejor descrita por la regresión lineal. Consecuentemente, cuando $x = 5$, el valor de y debería ser 13 y no 9. Pero mientras y debería ser 13, es 19, y la discrepancia que existe entre 13 y 19 no puede ser explicada por la regresión lineal, de esta forma es llamada una desviación inexplicada o residual. Este caso específico puede ser generalizado como sigue.

$$(\text{desviación total}) = (\text{desviación explicada}) + (\text{desviación inexplicada}) \quad \delta$$

$$(y - \bar{y}) = (y' - \bar{y}) + (y - y') \quad (\text{II.17})$$

La última expresión puede ser además generalizada y modificada para incluir todos los pares de datos de la muestra como se puede ver a continuación.

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum (y' - \bar{y})^2 + \sum (y - y')^2 \quad (\text{II.18})$$

Los miembros de esta última expresión son usados en la definición que se presenta a continuación:

La cantidad de variación en y que es mostrada por la línea de regresión es indicada por el coeficiente de determinación, que está dado por:

$$r^2 = (\text{variación explicada} / \text{variación total}) \quad (\text{II.19})$$

Se puede calcular r^2 empleando esta definición.

II.4.- Correlación y Regresión Logarítmica y Exponencial.

La utilidad del método de regresión y correlación logarítmica y exponencial es la misma que la que se obtiene al aplicar la regresión y correlación lineal, es decir, la posibilidad de predecir el valor de la variable dependiente y , en función de una variable independiente simple x a través de la "curva de regresión de y sobre x ", pero con la diferencia de que este método se aplica cuando la relación entre las variables independiente y dependiente no presenta una tendencia lineal.

Es una práctica común bosquejar parejas de datos, sobre varias clases de hojas para gráficas, con el fin de determinar si para una escala determinada la tendencia de los puntos se adecuan a una línea recta. De ser así, el tipo de transformación (sobre el papel) lleva a una forma funcional de la ecuación de regresión, cuyos parámetros (constantes) se pueden determinar empleando por ejemplo el método de mínimos cuadrados a los datos transformados.

Si se cuenta con parejas de datos que consten de n puntos (x_i, y_i) los cuales "se ajustan" a una recta cuando son graficados sobre papel semilogarítmico, se puede decir que la curva de regresión de y sobre x es exponencial, es decir, para cualquier valor de x , la media de la distribución de las y está dada por la ecuación:

$$y = \alpha \beta^x \quad (\text{II.20})$$

Si se toman logaritmos de base 10 (o cualquier otra base conveniente), y se aplican a la ecuación anterior, será entonces:

$$\log y = \log \alpha + x \log \beta \quad (\text{II.21})$$

ahora se pueden estimar los valores de $\log a$ y $\log b$, y de aquí obtener los valores a y b , aplicando el método de mínimos cuadrados a los n pares de valores $(x_i, \log y_i)$.

II.5.- Balance Hídrico Edafológico.

El término "Balance Hídrico" fue utilizado en 1944 por el meteorólogo C.W. Thornthwaite, para referirse al balance o contabilidad entre las entradas de agua por precipitación y fusión de nieve y las salidas, debidas éstas a evapotranspiración, recarga de agua subterránea y escurrimiento. El balance puede ser aplicado a un perfil de suelo, a una parcela o a toda una cuenca y permite calcular un registro continuo de humedad en el suelo, evapotranspiración real, recarga del agua subterránea y escurrimiento, a partir de un registro climatológico y una serie de observaciones sobre los suelos y la vegetación existente.

El método del balance hídrico propuesto por Thornthwaite ha sido empleado con una gran variedad de propósitos e inclusive ha sido modificado en algunas ocasiones para volverlo más simple, en las cuales se considera al suelo como un tanque, es decir, no se toma en cuenta el agua retenida por el suelo según el nivel de exigencia para la evapotranspiración por la vegetación. El nivel de información requerido es a nivel mensual.

Aquí se presenta el método en una versión práctica, pero sin sacrificar sus grandes atributos.

II.5.1.- Determinaciones y Consideraciones Previas.

Tomando en cuenta que el método del balance hídrico edafológico se aplica a grandes cuencas, se tendrán que realizar algunos ajustes o cálculos complementarios para que los datos de entrada al método sean representativos de toda la cuenca, como se indica a continuación:

a).- Obtener para la cuenca un censo de suelos y sus coberturas, incluyendo la extensión territorial de cada uno. Con la información anterior, se estiman capacidades de retención de humedad en cada suelo, expresándolas en milímetros. La determinación citada se realiza con auxilio de la tabla II.5.1.

El espesor del suelo en el cual se requiere la capacidad de retención de humedad, corresponde a la profundidad de la zona radicular intensiva de la vegetación existente, o menor en casos especiales, como por ejemplo, por la presencia de capas impermeables someras.

Finalmente se estima la capacidad de retención de la cuenca, por "pesado" según la extensión de cada suelo.

Cuando la capacidad de retención de los diversos suelos y coberturas de la cuenca difiera en más de un 100% de la capacidad menor, o en más de 25 mm, habrá que trabajar el balance hídrico por subcuenas.

b).- La evapotranspiración potencial para cada mes del registro anual por analizar, se estima en base al método de Thornthwaite para cada localidad de la cuenca donde exista una estación climatológica. Para obtener la evapotranspiración potencial en la cuenca, se ponderan los valores estimados, lo anterior por medio de la técnica de polígonos de Thiessen.

c).- Al determinar la precipitación mensual sobre la cuenca, por ejemplo, a través de los polígonos de Thiessen, si las lluvias en cada estación pluviométrica varían marcadamente en las diversas localidades o zonas principales de la cuenca, entonces habrá que realizar el balance hídrico por subcuencas. Lo anterior se considera necesario, si a nivel medio anual, la lluvia varía un 30% del menor valor de una zona a otra, o bien, del orden de 75 mm.

d).- Anteriormente se indicó que la evapotranspiración deja de ser potencial conforme el suelo se va secando. Como a lo largo del año hidrológico el suelo se humedece y seca, según sea época de lluvias o de estiaje, se requiere estimar que cantidad de la magnitud (P-ETP) de signo negativo puede ser abastecida por el suelo y de esta forma obtener la evapotranspiración real (ETR). Para llevar a cabo lo anterior, Thornthwaite y Mather proponen un método, como ilustración de las tabulaciones del citado método se presenta la tabla II.5.2.

TABLA II.5.1 CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SEGÚN SUELO Y CULTIVO

TEXTURA DEL SUELO	AGUA UTILIZABLE mm/m	PROFUNDIDAD RADICULAR m	RETENCIÓN DE HUMEDAD APLICABLE AL SUELO mm
Cultivos de raíces someros (espinacas, guisantes, judíos, remolacha, zanahoria, etc.)			
Arenoso fino	100	0.50	50
Franco arenoso fino	150	0.50	75
Franco limoso	200	0.62	125
Franco arcilloso	250	0.40	100
Arcilloso	300	0.25	75
Cultivos de raíces de profundidad moderada (maíz, algodón, tabaco, cereales)			
Arenoso fino	100	0.75	75
Franco arenoso fino	150	1.00	150
Franco limoso	200	1.00	200
Franco arcilloso	250	0.80	200
Arcilloso	300	0.50	150
Cultivos de raíces profundas (alfalfa, praderas, arbustos)			
Arenoso fino	100	1.00	100
Franco arenoso fino	150	1.00	150
Franco limoso	200	1.25	250
Franco arcilloso	250	1.00	250
Arcilloso	300	0.67	200
Arboles frutales			
Arenoso fino	100	1.50	150
Franco arenoso fino	150	1.67	250
Franco limoso	200	1.50	300
Franco arcilloso	250	1.00	250
Arcilloso	300	0.67	200
Bosque cerrado			
Arenoso fino	100	2.50	250
Franco arenoso fino	150	2.00	300
Franco limoso	200	2.00	400
Franco arcilloso	250	1.60	400
Arcilloso	300	1.17	350

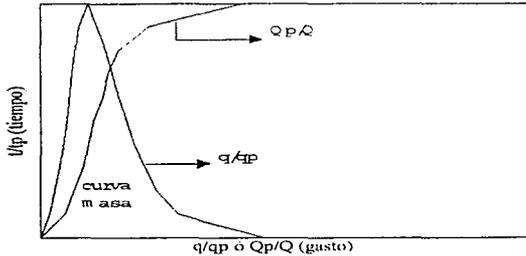
**TABLA II.5.2 HUMEDAD RETENIDA EN EL SUELO SEGUN LAS LAMINAS DE AGUA UTILIZABLE
EN EVAPORATRANSPIRACION, SUELO CON CAPACIDAD DE AGUA UTILIZABLE DE 100 mm**

(P-ETP)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acum										
	AGUA RETENIDA EN EL SUELO (SM)									
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	85	84	83	82
20	81	81	80	79	76	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	69	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	94	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	49	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	36	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	19	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
360	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
370	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
380	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
390	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
140	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

II.6.- Método del United States Bureau of Reclamation.

El United States Bureau of Reclamation, ha adaptado el método desarrollado por los hidrólogos del Soil Conservation Service (SCS), de forma tal que mediante la obtención de un hidrograma unitario sintético adimensional (Fig II.6.1), y con la distribución de los hietogramas del periodo que se analiza; aplicando las propiedades de proporcionalidad y superposición de la teoría del hidrograma unitario, se obtengan los volúmenes que se desea estimar para un momento determinado.

Fig. II.6.1
Hidrograma Unitario Adimensional



Para obtener el hietograma de lluvia en exceso se requiere tener una tormenta tipo ayudados por los registros históricos y con un periodo de análisis de 24 horas, y obtener conocido el número de curva y por ende las pérdidas iniciales e infiltración posterior al escurrimiento, la cantidad de lluvia en exceso acumulada.

Una vez que se ha obtenido la lluvia en exceso en ese periodo de 24 horas, se obtiene el hidrograma unitario triangular adimensional que propone el SCS. Este hidrograma está definido por: la duración de la tormenta para alcanzar una pulgada de lluvia en exceso (D), el tiempo de retraso del centroide de la lluvia al momento en que se presenta el gasto pico (t_p), el mismo gasto pico (Q_p), el tiempo de ascenso (T_r) y el tiempo de descenso del hidrograma (B), como se ve en la fig II.2.1.

Así tendremos que el volumen de escurrimiento directo está dado por:

$$V = \frac{(q_p T_r + q_p B)}{2}$$

o bien

$$q_p = \frac{2V}{T_r + B} \quad (11.3)$$

Después de estudiar un gran número de cuencas se ha determinado que $B = 1.67 T_r$, de tal forma que tenemos para una pulgada en exceso de lluvia la siguiente simplificación de la expresión (II.3)

$$qp = \frac{484A}{T_r} \quad (II.5)$$

donde A es el área de la cuenca en millas cuadradas y T_r es el tiempo de ascenso en horas.

En la determinación del tiempo de ascenso interviene el tiempo de retraso que hay de la lluvia al escurrimiento máximo; de la figura II.2.1 se observa que este tiempo de ascenso se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{D}{2} + tp \quad (II.6)$$

El SCS propone la siguiente expresión para el cálculo del tiempo de retraso en la cuenca:

$$tp = \frac{(L^{0.80})(S+1)^{0.70}}{1900y^{0.5}} \quad (II.7)$$

donde L es la longitud de la corriente principal en pies, S es el parámetro en función del tipo y uso del suelo, y y es la pendiente promedio de la cuenca en %.

Con todos estos valores se obtiene el hidrograma unitario adimensional que requerimos y el cual se multiplica por la constante de proporcionalidad que determine cada tormenta. Se procede a desplazar la duración D los hidrogramas reales, y se obtiene así el volumen estimado que se requiera para un cierto periodo de tiempo, como el área bajo la curva del hidrograma resultante.

Sin embargo, para el presente estudio, no se contó con información confiable de precipitación al detalle, de tal forma que no fué posible determinar la distribución de las lluvias a lo largo de todos los días en estudio. Por esta razón, el hidrograma resultante no fué una representación fiel de la respuesta que la cuenca tenga a una tormenta o series de tormentas que se presenten para un periodo de tiempo determinado dentro de la misma.

CAPITULO III

GENERACIÓN DE GASTOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA LA COMUNIDAD

III.1 Ubicación de la Estación.

Estación la Comunidad.

La Estación la Comunidad está situada sobre la corriente del río Verde, en el municipio de Temascaltepec, Estado de México a $19^{\circ} 08' 24''$ de latitud Norte y a $99^{\circ} 55' 55''$ longitud Oeste. Sus escurrimientos tienen origen en las faldas del volcán Xitlaltepetl (Nevado de Toluca) desde una elevación de 4500 m.s.n.m., y atraviesa varios poblados, entre ellos el de Temascaltepec de González en donde el río cambia su nombre a río Temascaltepec, mismo que conserva hasta su confluente con el río Tilóstoc. El área de la cuenca hasta el sitio de la estación es de 135.9 km². La localización de la estación y de su cuenca se ilustra en el plano general del presente estudio.

Las características hidrométricas de la estación son las siguientes: La estación cuenta con un sistema de cable vía soportado por dos pilares de concreto por donde corre una canastilla a lo ancho del río, también cuenta con un limnógrafo y una escala que se ubican en la margen derecha de la corriente. Diez metros aguas abajo de el lugar donde se sitúa el cable vía hay una sección de control.

Cabe mencionar que las estaciones que se encuentran localizadas en río Temascaltepec se han considerado que formarán parte del Sistema Cutzamala, en dicho río se construirá una presa para aprovechar sus caudales para el abastecimiento de agua potable al Área Metropolitana de la Ciudad de México. Dicha construcción de esta presa requiere el estudio de las siguientes estaciones; La Comunidad, Real de Arriba, Río Verde, Temascaltepec, Paso del Cobre, (la localización de las estaciones hidrométricas y sus respectivas cuencas se ilustran en el plano general).

Por lo comentado anteriormente se tomo la decisión de analizar en el presente estudio la Estación La comunidad a nivel diario.

III.2 Estaciones climatológicas que intervienen en el calculo.

En la generación de los escurrimientos es de gran importancia la ubicación de las estaciones climatológicas como ya se indico en el capítulo anterior, por lo tanto a continuación se menciona la localización de las estaciones climatológicas que se utilizaron para el calculo de los escurrimientos en la estación hidrométrica La Comunidad.

Se empleó para el periodo 1969-1977, 1979-1981 y el año de 1984 la estación de San Francisco Oxototilpan, en tanto que para los años de 1982, 1983 y 1985 se consideró además la estación climatológica de La Comunidad.

La estación climatológica San Francisco Oxtotilpan se encuentra en el municipio Temascaltepec, en el Estado de México. Se localiza a una latitud de 19° 09' Norte y a una longitud de 99° 54' Oeste, y a una altitud de 2605 m.s.n.m. La estación se encuentra dentro de la cuenca que delimita la estación La Comunidad. La estación climatológica también influye en el cálculo de los escurrimientos de las estaciones El Salto, El Molino (Presa Valle de Bravo) y Río Verde.

La estación La comunidad D-8 se localiza a una latitud de 19° 08' Norte y a una longitud de 99° 56', que se encuentra en el municipio de Temascaltepec, en el Estado de México. La estación se encuentra a una altitud de 2500 m.s.n.m. Esta estación influye en el calculo de las siguientes estaciones El Molino (Presa Valle de Bravo), Temascaltepec, Real de Arriba y Río Verde.

III. 3 Aplicación del método coeficientes de escurrimiento.

Para la generación de los gastos diarios se aplicó el método de coeficientes de escurrimiento a la información de la cuenca definida por la estación hidrométrica La Comunidad a nivel diario. de la cual depende del tipo y la disponibilidad de la información hidrométrica y pluviométrica.

La metodología para el análisis diario es la siguiente:

Para presentar la forma en como se manejó la información para este análisis se tomó como ejemplo el cálculo de la tabla III.3.1, en donde se analiza el año de 1983. Este cálculo se hace también para los periodos de los años de 1969 a 1977 y de 1979 a 1985, debido a que coinciden los datos de registro hidrométrico y pluviométrico.

En la primera y segunda columna se presenta la fecha (mes y día respectivamente) para la que se registraron los datos, que en este caso son los gastos de escurrimiento (tercera columna) y los datos pluviométricos (cuarta y quinta columna); en este caso se calcularon los polígonos de Thiessen para las estaciones San Francisco Oxtotilpan y La Comunidad y se determinaron las áreas de influencia de cada una de ellas, con respecto al área total de la cuenca. A continuación se muestra el área y su porcentaje de influencia de éstas dos estaciones.

INFLUENCIA DE AREAS		
ESTACIÓN	ÁREA	PORCENTAJE
	km ²	%
La Comunidad	110.2	93
San Francisco Oxtotilpan	8.3	7

El volumen de escurrimiento se registra en la sexta columna; es un volumen diario que se calculó multiplicando el gasto aforado en la estación por 86,400 segundos que tiene un día. Mientras que el volumen llovido se obtiene multiplicando el área proporcional de la cuenca sobre la que tiene influencia cada estación climatológica correspondiente por la altura de precipitación registrada en ella; al final se suman ambos productos y multiplicados por un factor de conversión de unidades (1000) nos da el volumen llovido en la cuenca durante ese día, este dato está registrado en la séptima columna en m³. En la décima columna se tienen los valores que se obtuvieron previamente de los gastos base para esta estación hidrométrica en particular. Conocidos los gastos de escurrimiento (tercera columna) y los gastos base en el mes de análisis, se hace la diferencia de estos gastos cuyo resultado arroja el gasto directo, el cual se muestra en la octava columna; esto siempre y cuando tal diferencia no sea menor que cero, si no es así tal valor se elimina.

$$Q_{dir} = Q_{esc} - Q_{base}$$

donde Q_{dir} debe ser mayor a cero.

El volumen directo de escurrimiento en el día se obtiene multiplicando el valor del gasto directo por 86,400 segundos que tiene un día el cual se tiene en la novena columna.

$$V_{dir} = Q_{dir} \times 86400 \text{ s.}$$

Para obtener el coeficiente de escurrimiento diario se calculó como la suma del volúmen directo durante el día de análisis más el del día posterior a éste, dividido entre la suma del volúmen llovido durante el día de análisis más el del día previo a éste. Estos resultados se encuentran en la columna decimaprimerá.

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{LL}} = \frac{V_{esc. día de análisis} + V_{esc. día posterior}}{V_{LL. día de análisis} + V_{LL. día anterior}}$$

Además se hizo el análisis de escurrimiento por tormentas y de esta manera se determinó que además de los valores negativos que resultaron del cálculo anterior para la obtención de los coeficientes de escurrimiento, aquellos que fueran mayores a 0.55, también serían desechados por estar fuera del comportamiento real de la cuenca.

Ya obtenidos estos coeficientes diarios se precedió a obtener el valor del coeficiente mensual de escurrimiento el cual se calculó como un promedio de los coeficientes diarios del mes de interés, en tanto que la obtención del coeficiente de escurrimiento anual se expresa como un promedio de todos los meses del año en estudio. Una vez que se han determinado los valores de los coeficientes de escurrimiento para cada día de cada mes y de cada año de los períodos de los años antes mencionados, se ordenaron en una hoja de cálculo de tal forma que se pudiera obtener un coeficiente de escurrimiento promedio para cada día del año. En la tabla III.3.5 se muestran el resumen de coeficientes de escurrimiento y en la penúltima columna se tiene un promedio de todos los coeficientes calculados, para que este coeficiente se pudiera aplicar a cada día de los años para los que no se cuenten con registros de aforo, pero si de lluvia.

El cálculo de los volúmenes con el coeficiente de escurrimiento promedio, para un año en particular (1986), se muestra en la tabla III.3.2. Donde en la primera y segunda columna se encuentran el mes y día de análisis, en la tercera columna el coeficiente de escurrimiento diario promedio de los períodos de los años antes mencionados, en la cuarta y quinta columna se tienen los registros pluviométricos que permiten calcular con el área de la cuenca el volúmen llovido.

El volúmen de escurrimiento que se encuentra en la séptima columna se obtiene de multiplicar el volúmen llovido por el coeficiente de escurrimiento promedio diario.

$$V_{esc} = V_{LL} C_e$$

Para obtener el volúmen de escurrimiento total diario (columna 9) se hace la suma de los volúmenes base más los volúmenes de escurrimiento directo. El volumen base se obtiene sumando los gastos base a el volúmen escurrido diario. El volúmen mensual es la suma de los volúmenes diarios y para obtener el volúmen anual se suman los volúmenes mensuales. Ya obtenidos los volúmenes diarios, estos se dividen entre 86,400 segundos que tiene un día, para así generar los gastos medios diarios para el período de 1986 a 1994, estos resultados se muestran en la tabla III.3.3, en la cual se resumen estos gastos diarios.

En la tabla III.3.4. se encuentra un resumen de la generación de gastos a nivel mensual y anual para el periodo 1986 a 1994.

III.4 Aplicación del método Correlación y Regresión, Lineal, Logarítmica y Exponencial.

Para la generación de los datos hidrométricos utilizando el método de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial se siguió el siguiente procedimiento.

Se tomaron como estaciones base aquellas que contaban con mayor información de escurrimiento y además que tuviera información en el periodo de 1986 a 1994. Se correlacionó la estación La Comunidad con la estación de Temascaltepec, ya que era una de las mas cercanas. Se tienen datos hidrométricos de la estación La Comunidad , en los siguientes periodos 1973 - 1977 y 1979 - 1985.

Para el análisis a nivel diario se utilizaron gastos medios diarios en las correlaciones y se analizaron por separado dos temporadas, el estiaje y la época de lluvias. Se utilizaron tres tipos de regresión; lineal, exponencial y logarítmica.

En la tabla III.4.1 se encuentra el desarrollo de los métodos de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial para la época de estiaje y para la época de lluvia se encuentra en la tabla III.4.3. a continuación se hace una breve explicación de como se desarrolló el método.

Tomando como ejemplo la época de estiaje se tiene lo siguiente, en la primera columna se encuentra el año de análisis, en la segunda se ilustra el mes que corresponde a la época de análisis, en la tercera columna se localiza el día correspondiente a dicho mes. Para la cuarta y quinta columna se muestran los datos de los gastos diarios aforados en la estación Temascaltepec y La Comunidad para los periodos mencionados anteriormente que cuentan con registros.

Como el objetivo es llegar a obtener una línea de regresión particular que representa la relación real entre dos variables, ahora se requiere una ecuación de la forma $y = mx + b$, donde m y b son la pendiente y ordenada al origen respectivamente, esto para el caso de la regresión lineal. A continuación se muestran las ecuaciones para la regresión logarítmica y exponencial.

Logarítmica:

$$y = mx' + b$$

donde

$$x' = \log x$$

Exponencial:

$$y = b e^{mx}$$

donde los valores de m y b se obtienen de la siguiente manera:

$$m = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$
$$b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

A partir de las columnas novena hasta la vigésima columna, los encabezados muestran la operación a desarrollar y a que regresión corresponden, aquellas que no tengan encabezado, el cálculo en ellas corresponde a los tres métodos. Una vez obtenidos los valores de m y b se prosige al cálculo de los nuevos datos generados en los años de información que se muestran en las columnas sexta, séptima y octava, para lineal, logarítmica y exponencial respectivamente.

Los valores m y b así como los valores de n, r y y_m que representan el número de datos, coeficiente de correlación y la media respectivamente se muestran al final de la tabla. Con estos valores se hace el cálculo de los nuevos gastos diarios en la estación La Comunidad para el periodo en el cual se carece de información (1986 a 1994), utilizando los datos de Temascaltepec. En la tabla III.4.2 se muestra un resumen de la generación de gastos diarios por este método y para el periodo antes mencionado.

Con los resultados arrojados por el coeficiente de correlación se determinó que en época de estiaje el mejor método fue el logarítmico, para la época de lluvias se toma el mismo método por que en ambos casos tiende hacia la unidad. La comparación de los resultados de este método con otros se hace en el capítulo quinto de recomendaciones y conclusiones.

Este método también se desarrolló gráficamente. La figura III.2 corresponde al ajuste de datos de las estaciones Temascaltepec - La Comunidad para la época de estiaje, se graficaron los gastos diarios en los periodos de información, en el eje de las abscisas se tienen los datos de la estación Temascaltepec y en el eje de las ordenadas se encuentran los datos de la estación de La Comunidad, en dicha figura se muestran las tres ecuaciones, los resultados de las correlaciones y el número de datos empleados en la elaboración de la gráfica. Los resultados arrojados por el método analítico y el gráfico son los mismos.

A continuación se tiene una relación de tablas y gráficas que se emplearon en la generación de los gastos diarios en la estación La Comunidad.

- Tabla III.4.1 - Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de estiaje.
- Tabla III.4.2 - Resumen de gastos generados en época de estiaje con el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial.
- Tabla III.4.3 - Cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de lluvia.

Tabla III.4.4.- Resumen de gastos generados en época de lluvia con el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial.

Figuras III.2.- Correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de estiaje.

Figuras III.3.- Correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de lluvia.

III.5 Aplicación del método de Us Soil Conservation Service

Este es un método de análisis de la relación lluvia-escurrimiento a nivel diario, por lo que se tomó como ejemplo para la explicación del procedimiento de cálculo la cuenca definida por la estación hidrométrica de La Comunidad para el año de 1986 (tabla III.5.1).

Procedimiento Operativo.

Las primera y segunda columna contienen el mes y día respectivamente como referencia del tiempo en el análisis. La tercera columna es un promedio pesado, por polígonos de Thiessen de la lluvia que se presenta durante un día específico en la cuenca. Para este año de análisis se tomaron dos estaciones climatológicas, La Comunidad con 93% de influencia en la cuenca y San Francisco Oxtotilpan con 7%.

La cuarta columna es esa misma lluvia convertida a pulgadas. La quinta columna es la condición de humedad antecedente (CHA); ésta se determina a partir de los registros acumulados que se tengan de lluvia en los cinco días previos al momento en que se hace el análisis, y la determinan los rangos que establece el SCS y que se encuentran en la siguiente tabla III.5.2.

TABLA III.5.2 DETERMINACION DE LA CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE (C. H. A.)

C. H. A.	TOTAL DE LLUVIA EN LOS 5 DIAS ANTECEDENTES	
	ESTACION DE DESCANSO	ESTACION DE CULTIVO
I (seco)	< 12.7 mm.	< 35.6 mm.
II (medio)	12.7 a 27.9 mm.	35.6 a 53.3 mm.
III (húmedo)	>27.9 mm.	> 53.3 mm.

Correcciones por C.H.A.

$$NCI = \frac{4.2NCII}{10 - 0.058NCII}$$

$$NCIII = \frac{23NCII}{10 + 0.13NCII}$$

El número de curva (NC) se determina de la tabla II.2.1 , que como se vió son valores propuestos por el SCS para diferentes usos y tipos de suelo; como es de suponer, en cada cuenca existen una infinidad de combinaciones entre los diversos usos que del suelo se tenga y la morfología del subsuelo, por lo que se sugiere hacer muestreos y definir áreas limitrofes a fin de que el valor de NC se aproxime más a un valor real. De la tabla II.2.1 se ponderaron diferentes valores de NC con información extraída del Atlas Nacional de México para la región en que se ubica la cuenca de la hidrométrica. Dado que los números propuestos por el SCS son para una CHA II, cuando esta condición no se cumplió, los números se corrigieron con las expresiones que se encuentran en la tabla III.5.2. antes mencionada. A continuación se hace el análisis del tipo de suelo y el calculo de NC para la cuenca definida por la estación La Comunidad.

La cuenca esta constituida por 95.80% de bosque y un 4.20% de agricultura de temporal. La cuenca posee un 94.59% de suelo grupo D que comprende grandes cantidades de arcilla, suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; muy impermeables, y un 5.41% de suelo grupo C, el cual es principalmente arenas muy finas limosas, suelos de alto contenido de arcilla.

Con los datos mencionados se ponderaron los valores de NC.

USO DEL SUELO	GRUPO	AREA %	CN
BOSQUE	D	95.80(94.59)=90.617	83
	C	95.80(5.41)= 5.182	77
AGRICULTURA DE TEMPORAL	D	4.20(94.59)= 3.972	91
	C	4.20(5.41)= 0.227	88

El valor promedio de CN es;

$$CN = 0.90617(83) + 0.05182(77) + 0.03972(91) + 0.00227(88)$$

$$CN = 75.2121 + 3.9904 + 3.6145 + 0.19976 = 83.0082$$

$$CN = 83$$

El SCS establece una relación entre la lluvia total acumulada P, el escurrimiento Q, y la infiltración, más las pérdidas iniciales; así se tiene la siguiente relación:

$$F/S=Q/Pe \quad (II.8)$$

donde F es la infiltración una vez que ha comenzado el escurrimiento. S son las pérdidas potenciales, Q es el escurrimiento directo y Pe es el escurrimiento efectivo de la tormenta.

El SCS propone un valor de pérdidas iniciales (Ia) en cuencas pequeñas y con condición antecedente de humedad II de 0.2S; teniendo que S es un parámetro en función del tipo y uso del suelo en la cuenca y para el cual este organismo ha elaborado una clasificación que se muestra en la tabla II.2.1.

Este parámetro se obtiene de la siguiente forma:

$$S = (1000/NC) - 10$$

Esta expresión es la que se emplea para calcular la octava columna y en donde NC es el número de curva acorde con el tipo y uso de suelo de la cuenca.

Así, tenemos las siguientes consideraciones $F = P_e - Q$, $P_e = (P - I_a) = (P - 0.2S)$ que aplicadas a la expresión II.8 y simplificando nos dan la siguiente expresión:

$$Q = ((P - 0.2S)^2) / (P - 0.8S)$$

Esta ecuación es la que nos da el escurrimiento en exceso en la cuenca en pulgadas (novena columna), siempre y cuando este valor sea mayor que el de la precipitación durante el día. En la décima columna se tiene el volumen de escurrimiento directo durante el día que no es otra cosa más que el producto de esa lámina en exceso en la cuenca multiplicada por el área total de la misma y por un factor de conversión. La doceava columna registra la suma de todos los escurrimientos directos registrados para cada mes, en tanto que la onceava columna contiene el volumen base para cada mes. Finalmente la treceava columna registra la suma de los volúmenes directos escurridos en el mes más el volumen base calculado para el mes correspondiente, expresados en gasto o simplemente es el volumen total de la columna doceava entre 86,400 segundos, esto nos da el gasto en m^3/s .

III.6.- Comparación de resultados

En este punto se presenta una comparación de los resultados obtenidos para los métodos desarrollados en el presente capítulo de la generación de los datos de escurrimiento, en el periodo de 1986 a 1994. En primer lugar se analizan los métodos aplicados a la cuenca definida por la estación hidrométrica La Comunidad, la cual pertenece a la cuenca del Río Temascaltepec. Como se mencionó anteriormente en la estación se tenía disponible información de gastos a nivel diario. En la estación La Comunidad se aplicaron cuatro métodos los cuales son:

- Método de coeficientes de escurrimiento
- Correlación y regresión lineal
- Correlación y regresión logarítmica y exponencial
- Método de US Soil Conservation Service

El método de coeficientes de escurrimiento se empleó para los años de 1969 - 1977, 1979 - 1981 y el año de 1984 de la estación de San Francisco Oxototilpan (registros de precipitación), en tanto que para los años de 1982, 1983 y 1985 se considero también la estación climatológica La Comunidad. Para los años antes mencionados se calculó un coeficiente de escurrimiento para cada año (ver tabla III.3.1) y posteriormente se obtuvo un promedio de los coeficientes por día que se presentan en la tabla III.3.5. Con el promedio

de los coeficientes a nivel diario se calcularon los escurrimientos en el periodo de 1986 - 1994 en el cual no se contaba con información hidrométrica, en la tabla III.3.2 se muestra el calculo del año de 1986 y en la tabla III.3.3 se presenta un resumen de gastos generados para los nueve años sin información.

En la figura III.4 se muestran gráficamente los gastos generados con el método de coeficientes de escurrimiento, estos gastos varían de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $16 \text{ m}^3/\text{s}$, pero en general se encuentran entre 1 a $5 \text{ m}^3/\text{s}$ como se puede ver en la gráfica.

En las figuras III.5, III.6 y III.7 se presentan los resultados de los gastos obtenidos a través de los métodos de regresión y correlación lineal, logarítmica y exponencial respectivamente, estos gastos varían de 1 a $3.75 \text{ m}^3/\text{s}$. En los años de 1990, 1991 y 1992 no se obtuvieron resultados debido a que la estación que sirvió de correlación (Temascaltepec), en esos años no contaba con registros. Como se puede ver la regresión logarítmica es la que mejor se ajusta a los resultados obtenidos con los coeficientes de escurrimientos, pues en la exponencial se tienen gastos muy altos de $16 \text{ m}^3/\text{s}$, $14 \text{ m}^3/\text{s}$ y de $8 \text{ m}^3/\text{s}$, en la lineal llegan a presentarse gastos de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con lo que respecta a los resultados obtenidos con el método de US Soil Conservation service en los meses de lluvia los resultados de los gastos fueron demasiados grandes, del orden de 8 hasta $20 \text{ m}^3/\text{s}$. El problema de este método fue la falta de información más precisa de los tipos y usos del suelo, pues en función de estos parámetros se obtienen las curvas de escurrimiento, un factor importante para la generación de los gastos faltantes.

Los gastos generados por el método del US SCS se muestran gráficos en la figura III.8

Para determinar cual de estos métodos es el mejor se tomó la decisión de hacer una comparación de los datos generados con los históricos registrados en la estación La Comunidad haciendo este análisis el método que mejores resultados presentó fue el de los coeficientes de escurrimiento, salvo dos escurrimientos extraordinarios aforados, los gastos generados son semejantes a los históricos como se puede ver en la figura III.9, desde 1959 hasta 1986, con un año de interrupción (1978). Para poder respaldar la determinación de este método fue necesario también generar gastos en el periodo de 1969 a 1985.

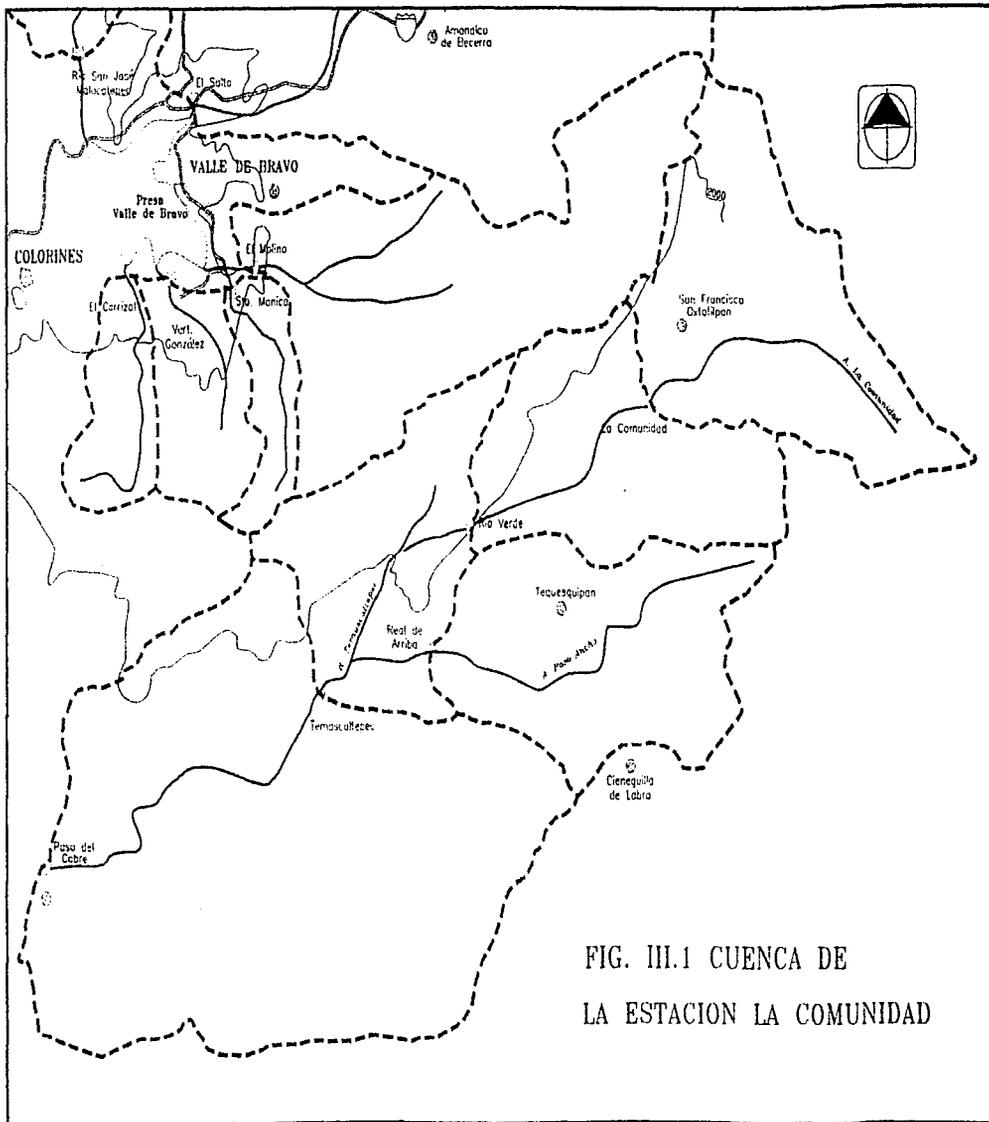


FIG. III.1 CUENCA DE
LA ESTACION LA COMUNIDAD

FIG. III.2 TEMASCALTEPEC - LA COMUNIDAD

ESTIAJE

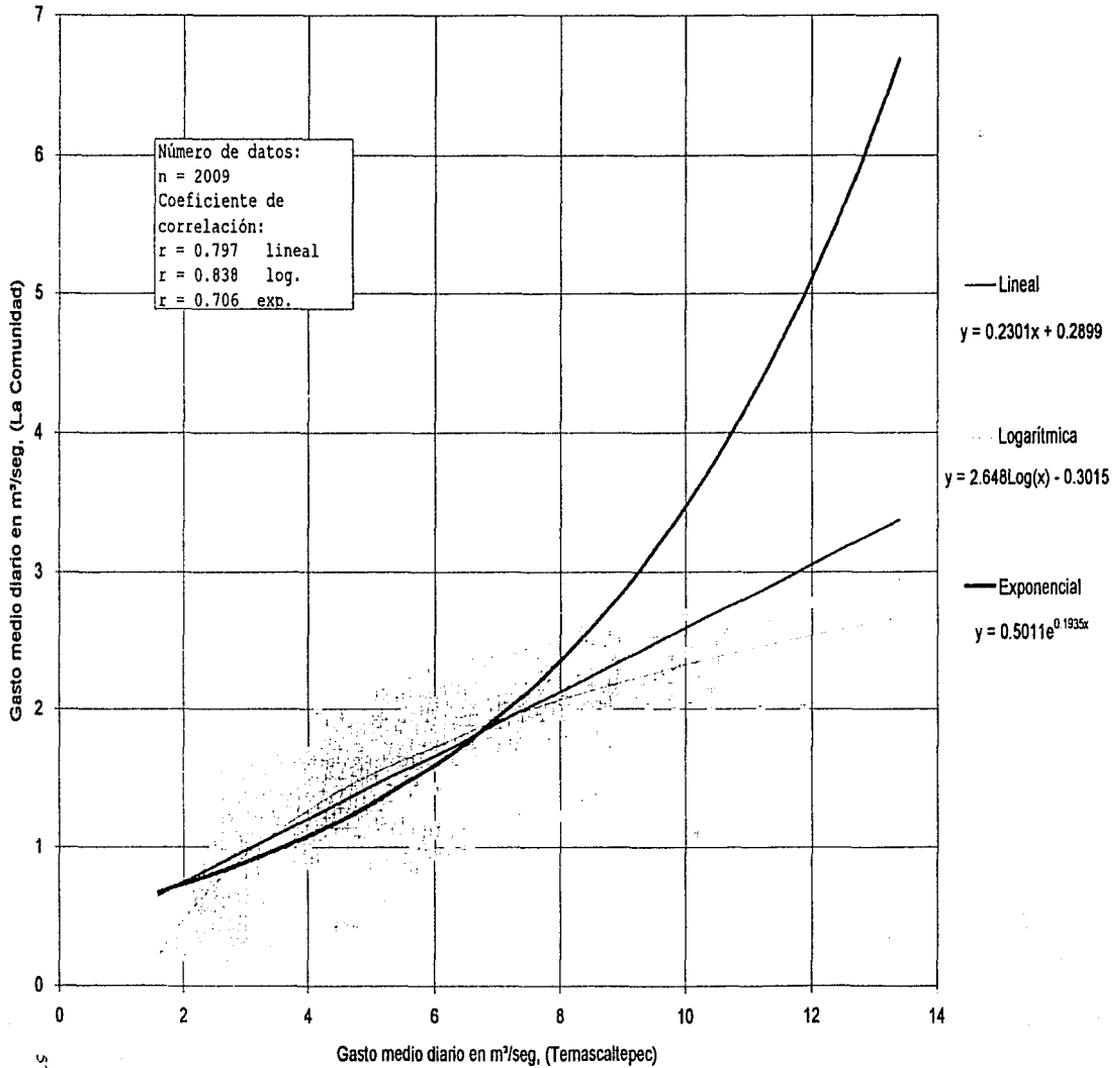


Fig. III.3 TEMASCALTEPEC - LA COMUNIDAD

LLUVIA

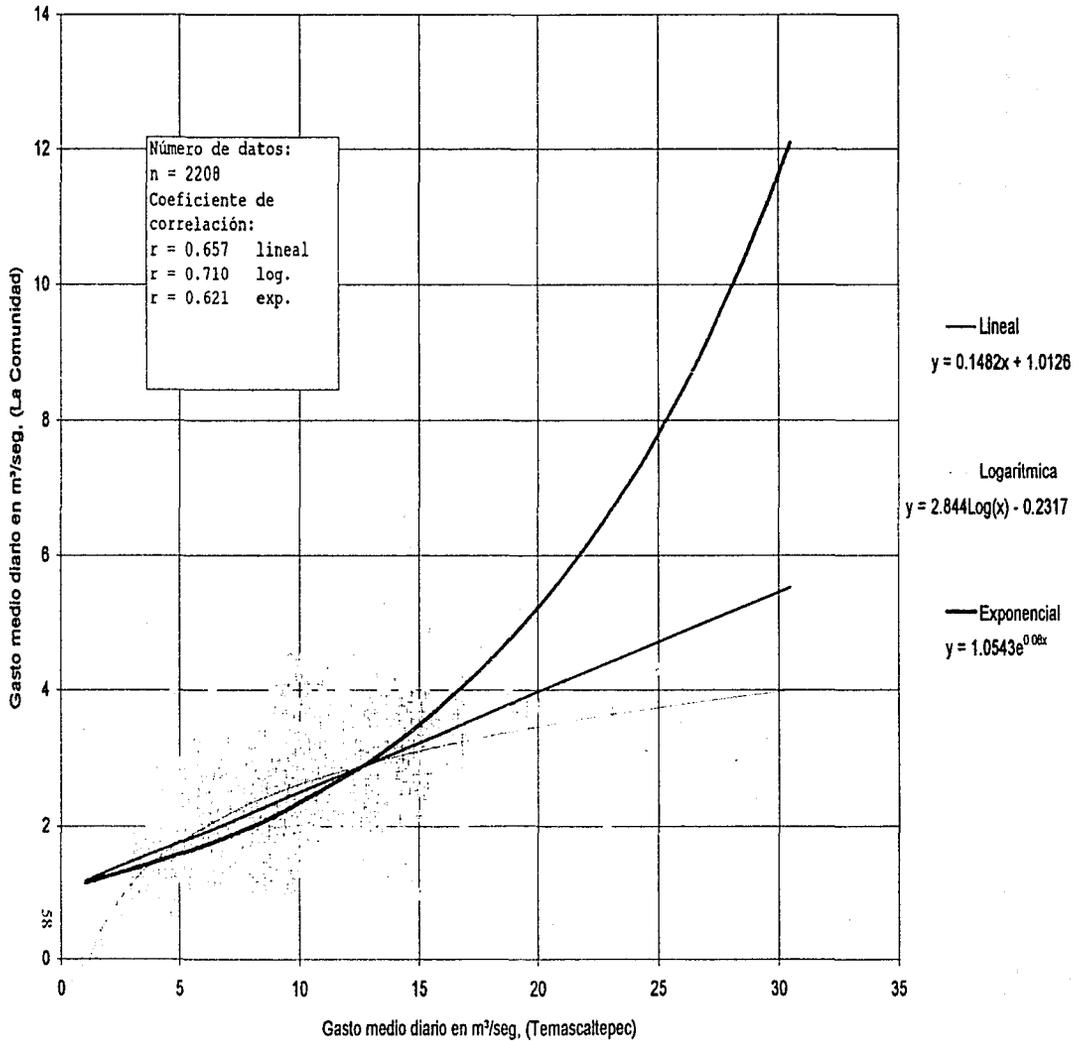


Fig. III.4 GENRACION DE GASTOS ESTACION LA COMUNIDAD

Método de coeficientes de escurrimiento

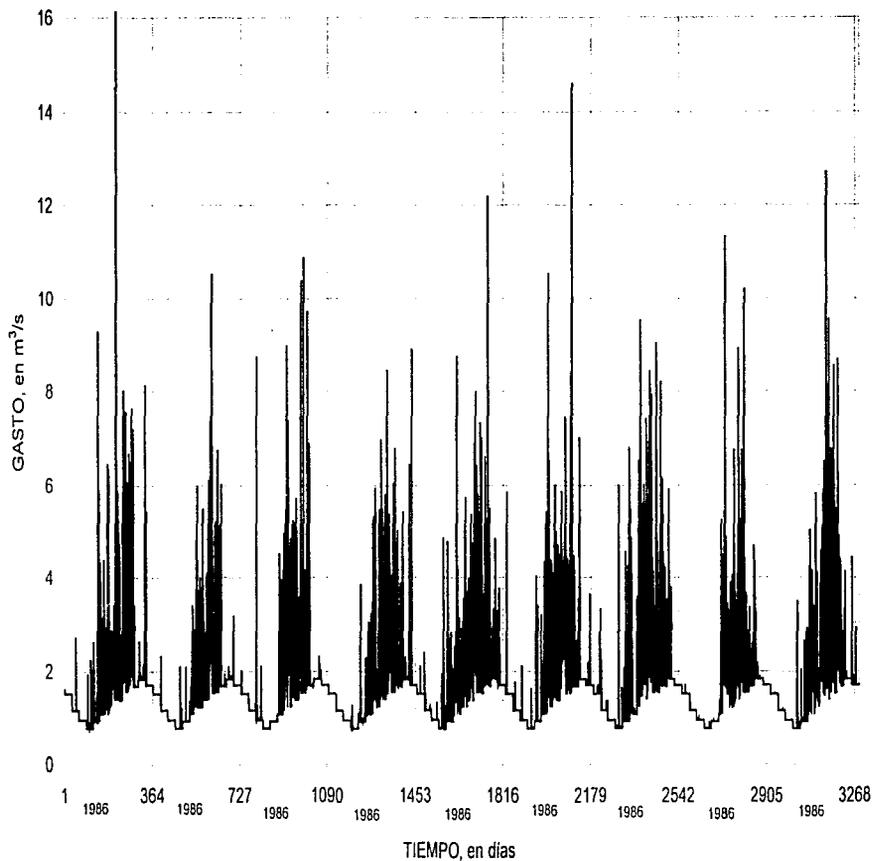


Fig. III.5 GENERACION DE GASTOS ESTACION LA COMUNIDAD
Método de correlación y regresión lineal

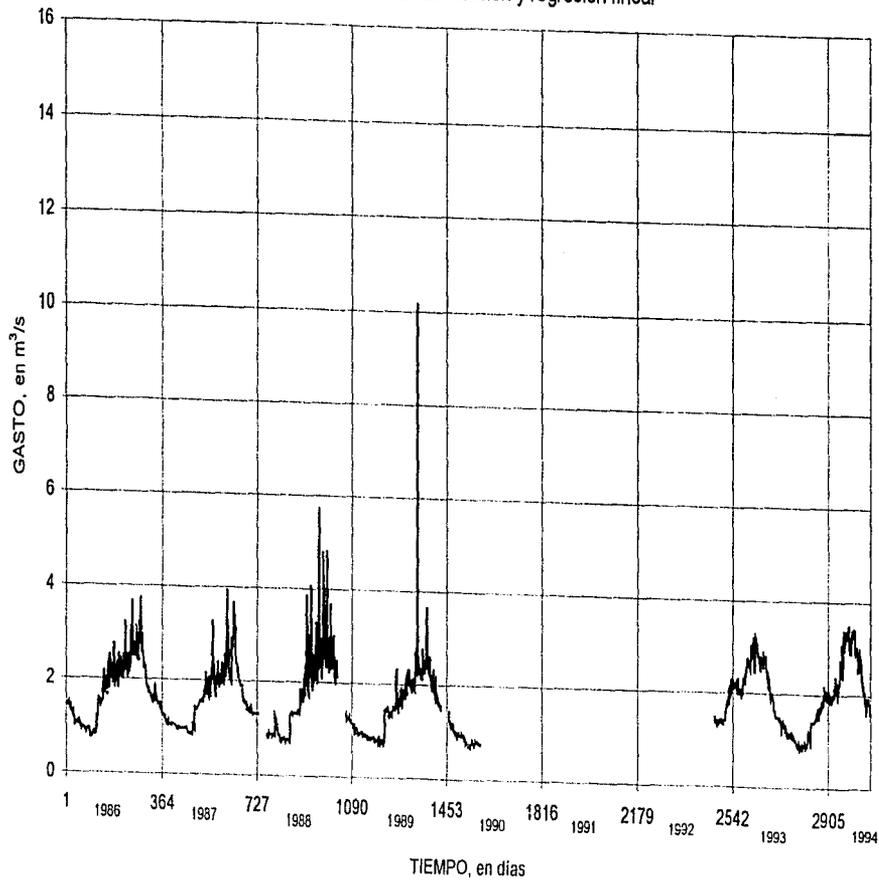


Fig. III.6 GENERACION DE GASTOS ESTACION LA COMUNIDAD

Método de correlación y regresión logarítmica

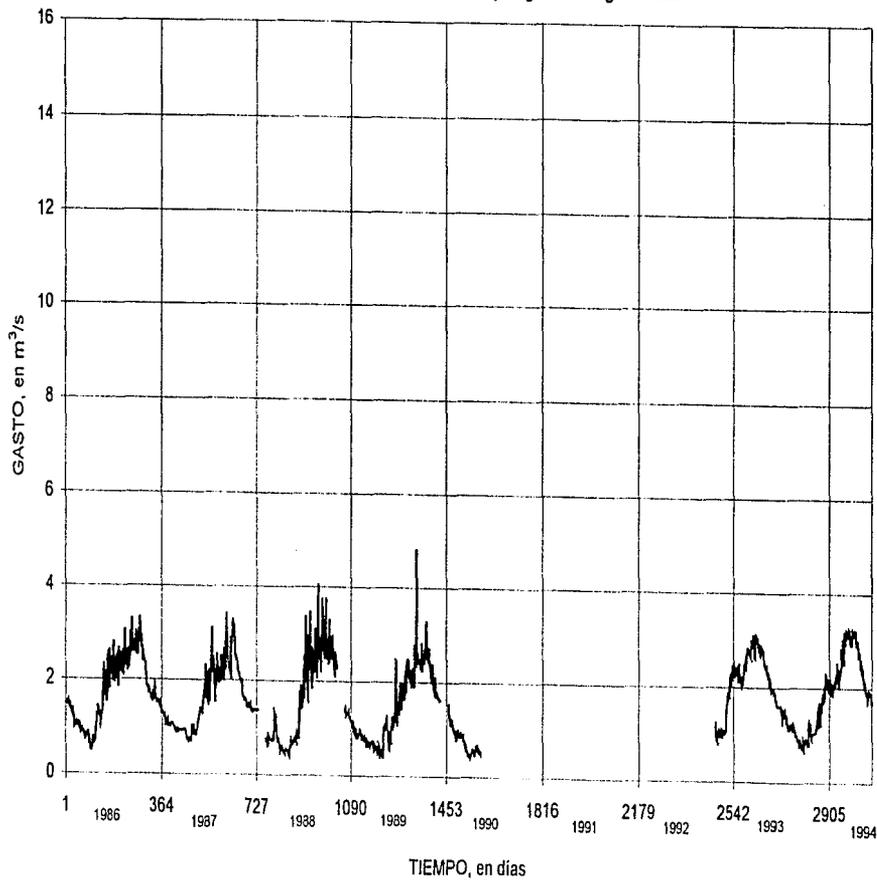


Fig. III.7 GENERACION DE GASTOS ESTACION LA COMUNIDAD

Método correlación y regresión exponencial

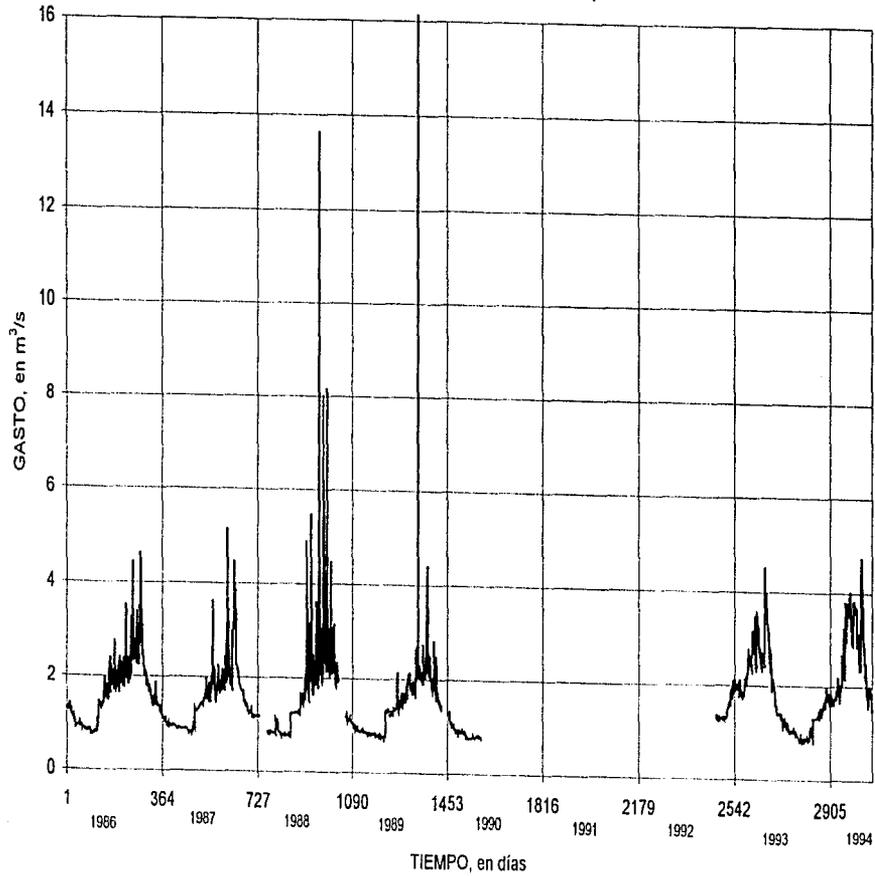


Fig. III.8 GENERACION DE GASTOS ESTACION LA COMUNIDAD

Método Us Soil Conservation Service

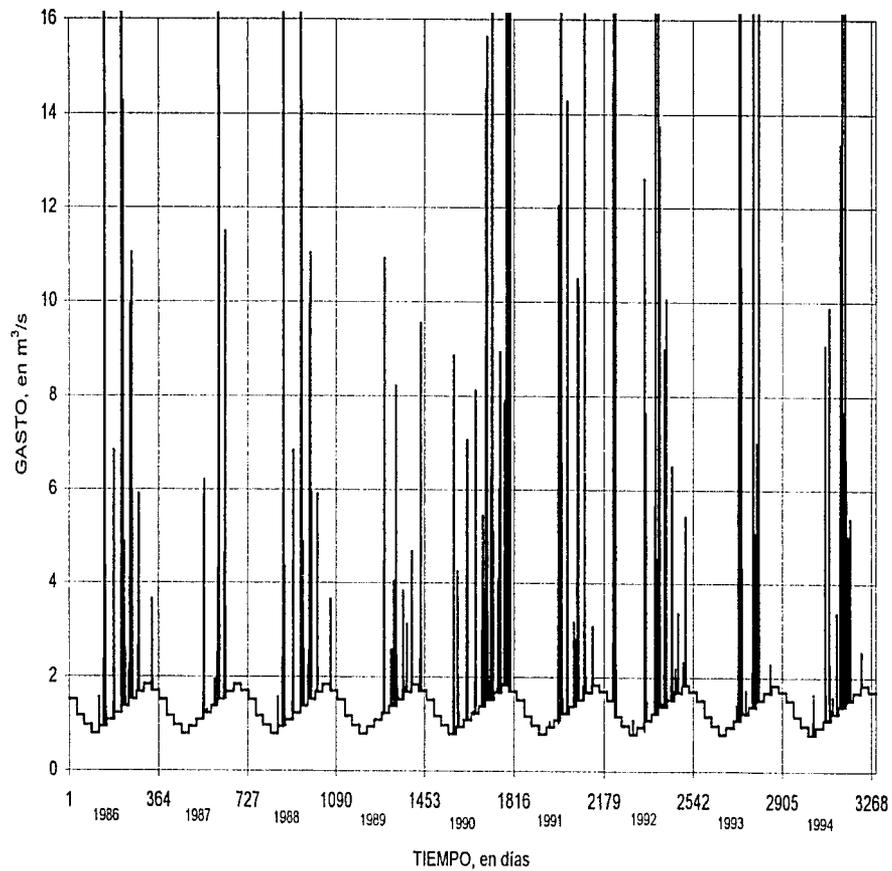


FIG. III.9 COMPARACION DE GASTOS HISTORICOS Y GENERADOS
ESTACION LA COMUNIDAD

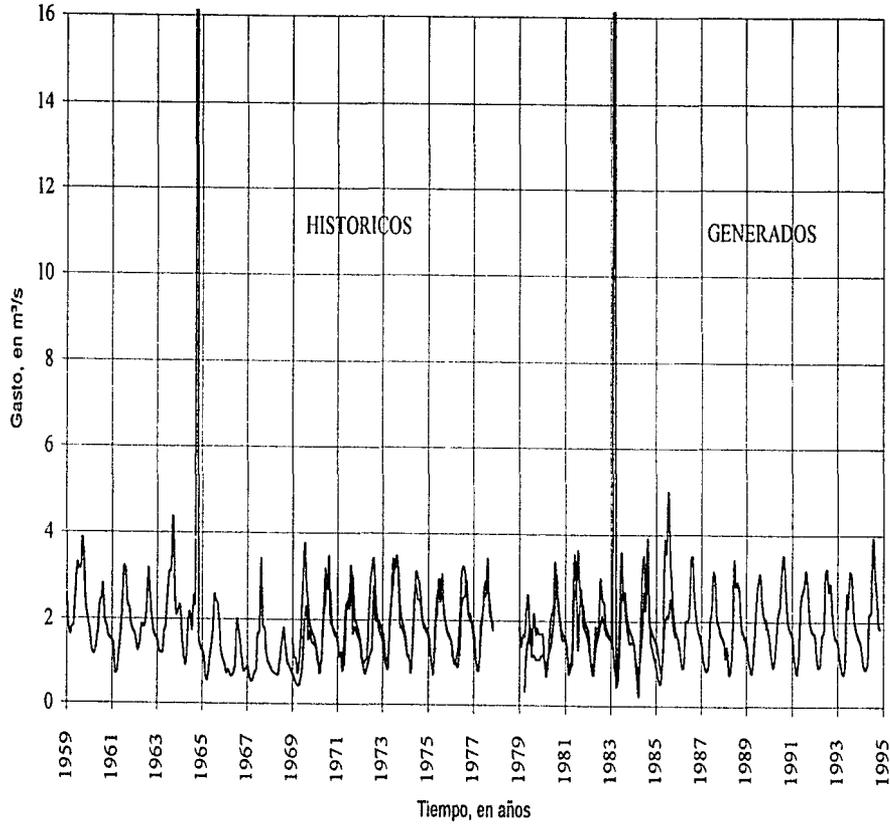


Tabla III.3.1 ESTACION LA COMUNIDAD AÑO 1983
CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO
AREA DE LA CUENCA= 118.5 km²

MES	DIA	Qesc (m ³ /s)	OXTOTILPAN LL(mm)	LA COMUNIDAD LL(mm)	LL(mgda) LL(mm)	Vesc (m ³)	VII (m ³)	Qdir (m ³ /s)	Vdir (m ³)	GASTO BASE (m ³ /s)	Ce diano	Ce mensual	Ce anual
			A= 8.3 km ² 7.00%	A= 110.2 km ² 93.00%									
MAR	1	1.48	0.00		0.00	127285.80	0.00	0.52	45100.80				
MAR	2	1.48	0.00		0.00	128131.20	0.00	0.53	45486.40				
MAR	3	1.48	0.00		0.00	128131.20	0.00	0.53	45448.40				
MAR	4	1.48	0.00		0.00	129591.60	0.00	0.54	46396.80				
MAR	5	1.66	0.00		0.00	135043.20	0.00	0.61	52358.40				
MAR	6	1.50	0.00		0.00	129254.40	0.00	0.54	48569.60				
MAR	7	1.41	0.00		0.00	122083.20	0.00	0.46	39398.40				
MAR	8	1.43	0.00		0.00	123552.00	0.00	0.47	40867.20				
MAR	9	1.40	0.00		0.00	120781.20	0.00	0.44	38102.40				
MAR	10	1.19	0.00		0.00	103161.60	0.00	0.24	20476.00				
MAR	11	0.94	0.00		0.00	81129.60	0.00	0.00	0.00				
MAR	12	0.96	0.00		0.00	85538.00	0.00	0.03	2951.20				
MAR	13	1.36	0.00		0.00	118866.40	0.00	0.42	36201.60				
MAR	14	1.66	0.00		0.00	143510.40	0.00	0.70	60825.60				
MAR	15	1.55	0.00		0.00	133747.20	0.00	0.59	51062.40				
MAR	16	1.48	0.00		0.00	127072.00	0.00	0.52	45187.20				
MAR	17	1.35	0.00		0.00	116254.40	0.00	0.39	33609.60				
MAR	18	1.26	0.00		0.00	108691.20	0.00	0.30	26006.40				
MAR	19	1.25	0.00		0.00	107368.00	0.00	0.29	24883.20				
MAR	20	1.19	0.00		0.00	102643.20	0.00	0.23	19558.40				
MAR	21	1.07	0.00		0.00	92534.40	0.00	0.11	8849.60				
MAR	22	1.06	0.00		0.00	91670.40	0.00	0.10	8965.60				
MAR	23	1.07	0.00		0.00	92207.20	0.00	0.12	10022.40				
MAR	24	1.13	0.00		0.00	97545.60	0.00	0.17	14860.60				
MAR	25	1.13	0.00		0.00	97004.80	0.00	0.18	15120.00				
MAR	26	1.12	0.00		0.00	96691.60	0.00	0.15	13996.80				
MAR	27	1.13	0.00		0.00	97691.20	0.00	0.18	15206.40				
MAR	28	1.12	0.00		0.00	95854.40	0.00	0.16	14169.60				
MAR	29	1.02	0.00		0.00	89367.20	0.00	0.07	5702.40				
MAR	30	895.00	0.00		0.00	773260.00	0.00	894.04	772453.15				
MAR	31	0.90	0.00		0.00	75932.80	0.00	0.00	0.00	0.96			
AGO	1	2.40	2.50	1.90	1.94	206928.00	230127.00	1.01	87356.40			0.34	
AGO	2	2.44	19.70	32.70	31.78	210536.80	376711.50	1.05	96579.20			0.05	
AGO	3	2.81	3.30	2.00	2.09	243043.20	247783.50	1.43	123465.60			0.06	
AGO	4	2.89	6.00	6.40	6.37	249868.80	755082.00	1.51	130291.20			0.40	
AGO	5	4.53		15.80	14.51	381392.00	1718198.00	3.15	271814.40			0.20	
AGO	6	3.93	39.00	0.90	2.94	339298.40	348034.40	2.54	219626.80			0.23	
AGO	7	4.24	16.00	21.90	21.49	366336.00	2546209.50	2.86	246758.40			0.19	
AGO	8	3.25	0.00	0.70	0.65	280713.60	77143.50	1.87	161136.00			0.12	
AGO	9	3.15	2.50	0.40	0.25	272160.00	64819.50	1.77	152882.40			0.17	
AGO	10	2.69	0.00	0.00	0.00	232070.40	0.00	1.30	112482.80			0.13	
AGO	11	2.67	7.50	8.70	8.62	230342.40	1020996.00	1.28	110764.80			0.24	
AGO	12	2.96	9.00	7.00	2.49	258330.40	195965.00	1.58	130252.80			0.22	
AGO	13	3.21	10.00	17.20	16.14	276898.80	2033961.50	1.83	164112.00			0.14	
AGO	14	3.23	2.20	1.20	1.27	279244.80	150409.00	1.85	158567.20			0.13	
AGO	15	2.78	1.50	0.60	0.66	240364.80	78565.50	1.40	120787.20			0.17	
AGO	16	2.68	19.00	17.85	17.85	233084.00	2114662.50	1.20	103507.20			0.10	
AGO	17	2.65	4.20	2.50	2.62	229219.20	310351.50	1.27	109641.00			0.09	
AGO	18	2.61	8.70	3.10	3.35	225590.40	387212.00	1.23	106012.00			0.27	
AGO	19	2.37	6.20	1.50	1.63	204508.80	216735.50	0.98	84931.20			0.28	
AGO	20	2.41	10.00	0.20	0.26	207674.40	109832.40	1.02	86390.80			0.13	
AGO	21	2.38	0.00	0.50	0.47	205977.60	55102.50	1.00	86400.00			0.15	
AGO	22	2.38	9.00	15.60	15.14	205804.80	1793853.00	1.00	86227.20			0.09	
AGO	23	2.96	3.50	5.40	5.20	233960.40	615844.50	0.98	84442.80			0.26	
AGO	24	2.33	6.70	8.20	6.24	201052.80	738847.50	0.94	81475.20			0.11	
AGO	25	2.18	0.00	0.00	0.00	188524.80	0.00	0.89	68547.20			0.18	
AGO	26	2.09	3.00	4.40	4.30	180493.20	505787.00	0.70	60825.60			0.26	
AGO	27	2.24	0.00	0.00	0.00	153190.40	0.00	0.65	73612.80			0.25	
AGO	28	2.00	0.00	2.80	2.70	173145.60	319584.50	0.62	53568.00			0.33	
AGO	29	1.98	8.50	4.40	4.55	171158.40	538819.50	0.60	51580.80			0.15	
AGO	30	2.32	2.30	2.50	2.49	200102.40	214591.00	0.93	80524.80			0.18	
AGO	31	2.74	4.20	4.80	4.86	193192.40	576043.50	0.60	73612.80	1.38		0.16	
													Promedio 0.08

Tabla III.3.2. ESTACION LA COMUNIDAD 1986
GENERACION DE VOLUMENES CON EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO
 AREA=118.5 km²

MES	DIA	COEF	COMUNIDAD		vii (miles m ³)	Vesc (miles m ³)	Vbase (miles m ³)	Vdiario (miles m ³)	Vmensual (miles m ³)	Vannual (miles m ³)
			LL(mm)	LL(mm)						
MAR	1	0.205	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	2	0.136	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	3	0.269	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	4	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	5	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	6	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	7	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	8	0.013	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	9	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	10	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	11	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	12	0.233	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	13	0.328	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	14	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	15	0.138	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	16	0.116	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	17	0.059	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	18	0.129	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	19	0.041	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	20	0.047	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	21	0.041	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	22	0.188	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	23	0.053	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	24	0.054	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	25	0.134	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	26	0.242	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	27	0.215	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	28	0.223	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	29	0.190	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	30	0.167	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68		
MAR	31	0.158	0.00	0.00	0.00	0.00	82.68	82.68	2663.231	
AGO	1	0.164	129.60		14328.58	2342.94	119.58	2462.52		
AGO	2	0.091	7.10		784.08	71.31	119.58	150.89		
AGO	3	0.102	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	4	0.203	0.50		55.29	11.20	119.58	130.78		
AGO	5	0.133	0.10		11.05	1.47	119.58	121.05		
AGO	6	0.134	26.30		2407.73	389.83	119.58	509.21		
AGO	7	0.125	6.50		718.64	89.87	119.58	209.45		
AGO	8	0.176	10.50		1160.88	204.43	119.58	324.01		
AGO	9	0.170	4.20		464.35	78.89	119.58	196.47		
AGO	10	0.157	3.50		431.18	67.62	119.58	187.20		
AGO	11	0.120	25.00		2764.00	332.60	119.58	452.18		
AGO	12	0.152	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	13	0.138	4.50		497.52	68.72	119.58	188.30		
AGO	14	0.167	5.00		618.14	65.55	119.58	165.13		
AGO	15	0.139	19.00		2100.64	292.41	119.58	411.58		
AGO	16	0.138	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	17	0.172	1.30		143.73	24.71	119.58	144.29		
AGO	18	0.179	1.00		146.01	35.68	119.58	155.69		
AGO	19	0.177	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	20	0.151	0.10		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	21	0.101	0.10		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	22	0.157	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	23	0.153	5.50		608.09	83.04	119.58	212.62		
AGO	24	0.173	6.20		695.47	118.30	119.58	237.90		
AGO	25	0.250	3.20		353.79	88.48	119.58	208.67		
AGO	26	0.187	0.00		0.00	0.00	119.58	119.58		
AGO	27	0.135	1.40		154.78	20.94	119.58	140.51		
AGO	28	0.160	7.70		851.31	135.90	119.58	255.48		
AGO	29	0.161	21.80		2410.21	387.47	119.58	507.04		
AGO	30	0.168	1.70		187.95	36.48	119.58	129.98		
AGO	31	0.147	35.40		3913.82	573.85	119.58	693.46	6329.45	
										64483.84

Tabla III.3.3 ESTACION LA COMUNIDAD
GENERACION DE GASTOS CON COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
 (Gasto en m³/s)

MES	DIA	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
		Cdiario								
MAR	1	0.96	0.96	1.15	0.56	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	2	0.96	0.96	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	3	0.96	0.96	0.96	0.56	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	4	0.96	0.96	4.64	0.56	0.56	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	5	0.96	0.96	4.74	0.61	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	6	0.96	0.96	0.96	0.14	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	7	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	8	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	9	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	10	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	2.12	0.96	0.96	0.96
MAR	11	0.96	0.96	1.29	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	12	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	13	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	14	0.96	0.96	0.96	0.96	0.14	0.14	0.96	0.96	0.96
MAR	15	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	16	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	17	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	18	0.96	0.96	0.14	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	19	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	20	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	21	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	22	0.96	0.96	1.29	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	23	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	24	0.96	0.96	1.06	0.96	1.33	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	25	0.96	0.96	2.13	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	26	0.96	0.96	1.03	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	27	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	28	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	29	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	30	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
MAR	31	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
AGO	1	28.90	1.38	1.44	1.45	4.00	2.03	1.70	6.76	5.05
AGO	2	2.21	1.78	1.95	1.91	2.61	1.38	4.17	1.41	1.85
AGO	3	1.38	1.38	1.81	1.99	1.38	2.10	1.84	1.38	1.78
AGO	4	1.51	1.38	5.23	6.98	1.38	2.29	1.80	3.72	5.02
AGO	5	1.40	2.25	1.96	3.56	1.38	2.57	1.72	3.17	1.89
AGO	6	5.89	1.75	1.79	2.94	1.73	4.73	1.81	1.83	1.50
AGO	7	2.42	1.52	1.43	1.57	1.38	4.34	2.54	1.80	3.50
AGO	8	3.75	1.98	4.12	1.95	3.93	1.61	7.43	1.38	6.45
AGO	9	2.30	1.38	5.16	5.52	1.67	1.38	1.38	2.01	6.51
AGO	10	2.17	4.07	4.94	2.23	2.78	1.38	1.66	2.59	1.69
AGO	11	5.23	3.94	2.67	2.68	3.69	1.38	2.37	1.61	1.69
AGO	12	1.38	1.38	3.53	1.38	3.35	2.19	2.19	1.65	1.46
AGO	13	2.19	3.66	1.72	1.52	2.89	1.38	1.58	1.70	4.65
AGO	14	2.15	3.64	1.38	2.42	3.28	1.38	2.24	3.47	1.59
AGO	15	4.77	2.05	1.98	1.47	3.26	4.50	2.01	1.72	2.10
AGO	16	1.38	1.38	4.78	3.03	2.48	2.80	1.95	4.11	1.93
AGO	17	1.67	6.12	5.74	4.18	4.78	3.80	1.93	2.22	12.71
AGO	18	1.60	1.75	4.30	3.56	3.37	1.84	6.94	2.92	2.07
AGO	19	1.38	1.38	4.18	2.94	1.52	1.63	3.15	6.93	4.72
AGO	20	1.38	3.04	5.02	0.92	1.38	4.69	2.19	7.26	1.16
AGO	21	1.38	2.01	3.50	1.80	1.38	5.88	8.43	6.37	3.24
AGO	22	1.38	3.23	3.01	1.38	1.38	4.61	2.29	1.38	4.18
AGO	23	2.46	3.61	2.44	1.60	3.17	2.17	2.56	4.09	4.62
AGO	24	2.75	4.15	3.81	3.14	2.16	3.59	6.97	3.48	4.03
AGO	25	2.41	7.39	3.16	4.64	2.90	2.82	6.70	4.10	4.42
AGO	26	1.38	2.67	1.38	1.77	6.90	3.11	1.74	1.46	8.15
AGO	27	1.63	3.61	1.38	2.16	5.24	3.66	2.16	5.24	3.46
AGO	28	2.96	2.87	7.76	8.46	2.53	3.94	7.02	2.57	9.56
AGO	29	5.87	5.13	1.38	5.34	5.40	4.16	4.06	3.69	2.41
AGO	30	1.81	10.52	1.99	1.74	7.98	2.25	1.83	2.00	1.38
AGO	31	8.03	4.96	1.60	1.50	4.04	4.10	2.47	1.70	4.30

Tabla III.3.4 ESTACION LA COMUNIDAD
GENERACION DE GASTOS CON COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
 (Gasto en m³/seg)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
MES	Qmensual								
ENE	1.52	1.52	1.53	1.52	1.57	1.66	1.67	1.53	1.52
FEB	1.22	1.21	1.17	1.17	1.18	1.19	1.25	1.17	1.17
MAR	0.96	0.96	1.41	0.96	0.97	0.99	0.96	0.96	0.96
ABR	0.97	0.86	0.78	0.81	1.11	0.81	1.04	0.78	0.93
MAY	2.02	0.98	0.93	1.14	1.59	1.40	1.69	0.93	1.18
JUN	2.01	1.97	1.76	1.75	2.15	2.48	1.77	2.65	2.20
JUL	2.20	2.36	3.38	2.58	2.36	2.72	3.16	2.35	2.24
AGO	3.45	3.14	2.85	2.97	3.13	2.91	3.23	3.16	3.92
SEP	3.51	3.02	2.94	3.10	3.53	3.19	2.73	3.06	3.20
OCT	2.63	2.08	2.66	2.43	3.11	2.80	2.89	2.25	2.71
NOV	2.16	1.90	1.87	2.15	2.38	2.05	2.17	1.86	1.94
DIC	1.83	1.71	1.72	2.01	1.91	1.80	1.71	1.71	1.85

AÑO	Qanual m ³ /s
-----	-----------------------------

1986	2.04
1987	1.81
1988	1.92
1989	1.89
1990	2.09
1991	2.01
1992	2.03
1993	1.87
1994	1.99

		Tabla III.3.6 ESTACION LA COMUNIDAD A-12																
		RESUMEN DEL CALCULO DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO																
		AREA= 116.5 km ²																
MES	DIA	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1986	1981	1982	1983	1984	DIARIO	MENSUAL
Phonetic Error					0.027		0.075	0.014	0.059			0.017	0.036		0.085			0.054
Phonetic Error		0.163					0.117	0.204	0.513	0.273			0.016	0.062	0.051	0.201		0.084
MAR	1	0.163												0.245			0.205	
MAR	2													0.136			0.136	
MAR	3													0.269			0.269	
MAR	4																	
MAR	5													0.001			0.001	
MAR	6													0.001			0.001	
MAR	7													0.013			0.013	
MAR	8																	
MAR	9																	
MAR	10																	
MAR	11						0.233										0.233	
MAR	12						0.328										0.328	
MAR	13								0.160								0.160	
MAR	14								0.128								0.128	
MAR	15																	
MAR	16			0.116													0.116	
MAR	17			0.051			0.211		0.036								0.059	
MAR	18			0.076			0.319		0.017								0.139	
MAR	19			0.065					0.022								0.041	
MAR	20			0.047													0.047	
MAR	21			0.041													0.041	
MAR	22			0.188													0.188	
MAR	23			0.053													0.053	
MAR	24			0.054													0.054	
MAR	25			0.242													0.242	
MAR	26			0.215													0.215	
MAR	27			0.091			0.233										0.233	
MAR	28						0.190										0.190	
MAR	29						0.228										0.167	
MAR	30						0.091										0.159	
MAR	31						0.063	0.066	0.252	0.072				0.605	0.217		0.134	
Phonetic Error		0.145	0.158		0.056		0.027	0.069	0.027	0.075	0.091	0.057	0.120	0.075			0.053	
Phonetic Error		0.169	0.042		0.116	0.236	0.069	0.062	0.112	0.213	0.146	0.128	0.124	0.043	0.062		0.123	
Phonetic Error		0.017	0.127	0.137	0.206	0.104	0.186	0.044	0.137	0.230	0.080	0.114	0.194	0.080	0.050		0.123	
Phonetic Error		0.015	0.130	0.173	0.139	0.221	0.155	0.123	0.146	0.203	0.117	0.176	0.126	0.078	0.132		0.136	
AGO	1	0.006	0.125	0.130	0.031	0.538	0.127	0.202	0.088	0.144	0.069		0.101	0.342	0.074		0.154	
AGO	2	0.002	0.080	0.105	0.040	0.277	0.164	0.075	0.100	0.062			0.025	0.054	0.037		0.091	
AGO	3	0.006	0.134	0.055	0.054	0.386	0.179		0.084	0.065		0.014	0.063				0.102	
AGO	4	0.011	0.192	0.045	0.021	0.153	0.131	0.031		0.061	0.036		0.022	0.401			0.203	
AGO	5	0.013	0.144	0.065	0.029	0.053		0.105	0.114	0.026			0.154	0.189	0.354		0.133	
AGO	6	0.032	0.126	0.135	0.350		0.056		0.091					0.226	0.055		0.134	
AGO	7	0.077	0.139		0.291		0.153	0.106	0.174	0.137	0.069		0.019	0.141	0.051		0.175	
AGO	8	0.129	0.128	0.139	0.478	0.424	0.279	0.059	0.143	0.167	0.047		0.024	0.120	0.092		0.176	
AGO	9	0.121	0.052		0.264	0.515		0.105	0.165	0.242	0.044		0.063	0.087	0.170			
AGO	10	0.193	0.171		0.127			0.460	0.077	0.218	0.028		0.044	0.094	0.157			
AGO	11	0.050	0.176	0.193	0.126			0.121	0.195	0.090	0.033	0.047		0.443	0.242	0.036	0.120	
AGO	12	0.013	0.156	0.193	0.126	0.387	0.074	0.156	0.143	0.024	0.459		0.017	0.224	0.021	0.152		
AGO	13	0.013	0.152		0.138	0.384	0.072	0.450	0.118	0.052	0.084		0.032	0.138	0.034	0.136		
AGO	14	0.017	0.134		0.193		0.109	0.039	0.031	0.104	0.028		0.067	0.130	0.120	0.107		
AGO	15	0.022	0.195	0.166	0.121	0.299		0.038		0.083	0.246		0.063				0.139	
AGO	16	0.087	0.178	0.243	0.141	0.259	0.126	0.048	0.083	0.089	0.240		0.070	0.037			0.136	
AGO	17	0.243	0.116	0.212	0.211	0.200	0.119	0.033	0.062		0.052		0.263	0.088			0.172	
AGO	18	0.096	0.106	0.106	0.439		0.155	0.070	0.160		0.049		0.268	0.270			0.179	
AGO	19	0.243	0.260	0.177		0.099	0.098	0.200	0.295				0.034	0.282	0.043	0.173		
AGO	20	0.084	0.421	0.059		0.149	0.110	0.247	0.224				0.043	0.133	0.030	0.161		
AGO	21	0.053	0.221	0.040		0.320	0.047	0.123	0.480	0.239			0.131	0.100	0.149	0.181		
AGO	22	0.037	0.247	0.048		0.350	0.045	0.066	0.324	0.054			0.044	0.092	0.324	0.157		
AGO	23	0.048	0.063		0.219	0.353		0.097	0.037	0.044	0.049			0.045	0.059		0.163	
AGO	24	0.054	0.147		0.201	0.311	0.049	0.147	0.416	0.102	0.107			0.254	0.111	0.173		
AGO	25	0.047	0.124		0.342	0.515	0.047	0.435	0.550	0.211	0.103			0.189	0.176	0.250		
AGO	26	0.044	0.182		0.102	0.416	0.094	0.231	0.094	0.484	0.089			0.045	0.164	0.234	0.182	
AGO	27	0.208			0.085	0.292	0.099	0.152	0.073	0.087	0.684			0.070	0.249	0.078	0.135	
AGO	28	0.247			0.094	0.239		0.363	0.075	0.063	0.135			0.030	0.329	0.048	0.160	
AGO	29	0.039	0.148		0.051	0.274	0.081	0.226	0.186	0.151	0.12	0.2811		0.052	0.184	0.072	0.163	
AGO	30	0.072	0.271	0.112	0.163	0.209	0.143	0.433	0.194	0.219				0.137	0.185		0.194	
AGO	31	0.084	0.049	0.195		0.186	0.148	0.337	0.044	0.076				0.045	0.147	0.303	0.147	
Phonetic Error		0.075	0.185	0.134		0.181	0.231	0.160	0.109	0.167	0.091	0.12		0.077	0.115		0.161	
Phonetic Error		0.084	0.151	0.163	0.220	0.209	0.186	0.212	0.151	0.237	0.127	0.225	0.237	0.151	0.137	0.150		0.177
Phonetic Error		0.041	0.284	0.433	0.222	0.182	0.350	0.181	0.231	0.178	0.199	0.207	0.131	0.087	0.049	0.025		0.193
Phonetic Error		0.040	0.162		0.125	0.074	0.081	0.051	0.057	0.084	0.094	0.036	0.336	0.054				0.138
Phonetic Error					0.126	0.191	0.184		0.054	0.077	0.196		0.120	0.010	0.018			0.113

Tabla III.4.1 CALCULO DE CORRELACION Y REGRESION LINEAL, LOGARITMICA Y EXPONENCIAL EN EPOCA DE ESTIAJE
ESTACION HIDROMETRICA LA COMUNIDAD A-12 (GASTOS MEDIOS DIARIOS m³/s)

ANO	MES	DIA	Temascattepec	La Comunidad	lineal	log	exp	log	log	log	exp	exp	exp	lineal				LINEAL	LOG	EXP
			x	y	y	y	y	Y=logx	x ²	xy	y=lny	y ²	xy'	xy	x'	y'	(y-ym) ²	(y-y)' ²	(y-y)' ²	(y-y)' ²
					lineal	log	exp													
	NOV	15	8.240		2.186	2.103	2.468	0.916												
	NOV	16	7.570		2.032	2.006	2.168	0.879												
	NOV	17	8.270		2.193	2.107	2.483	0.918												
	NOV	18	8.370		2.216	2.121	2.531	0.923												
	NOV	19	7.840		2.084	2.046	2.284	0.894												
	NOV	20	7.520		2.020	1.998	2.147	0.876												
	NOV	21	7.510		2.018	1.990	2.143	0.876												
	NOV	22	6.830		1.861	1.887	1.879	0.834												
	NOV	23	6.690		1.829	1.863	1.829	0.825												
	NOV	24	6.580		1.804	1.844	1.790	0.818												
	NOV	25	6.760		1.845	1.875	1.854	0.830												
	NOV	26	6.960		1.896	1.912	1.934	0.844												
	NOV	27	7.030		1.907	1.920	1.953	0.847												
	NOV	28	6.610		1.811	1.850	1.800	0.820												
	NOV	29	5.980		1.666	1.734	1.594	0.777												
	NOV	30	6.130		1.708	1.763	1.641	0.787												
SUMAS			9165.4	2691.3	2691.3	2691.3	2608.6	1260.5	845.9	1833.5	385.3	564.5	3020.9	13780.1	48341.3	4143.5	544.1	198.5	151.8	378.1

	LINEAL	LOG	EXP
n=	2009	2009	2009
r=	0.797	0.838	0.706
m=	0.230	2.648	0.194
b=	0.290	-0.323	0.501
ym=	1.340		
r ² =	0.635	0.703	0.498
R=	0.797	0.838	0.706

No de datos
 Coeficiente de correlación
 Pendiente
 Ordenada al origen
 y Meda
 Coeficiente de determinación

Tabla III.4.2 RESUMEN DE GASTOS MEDIOS DIARIOS (en m³/s)
LA COMUNIDAD A-12 (ESTIAJE)

MES	DIA	s6		s7		s8		s9		s0		s1		s2		s3		s4		
		lineal	log	exp																
MAR	1	0.992	0.960	0.994	1.009	0.992	0.915	0.881	0.763	0.824	0.840	0.680	0.756	0.877	0.754	0.821	0.881	1.015	0.997	0.925
MAR	2	1.001	0.975	0.911	1.005	0.962	0.915	0.938	0.866	0.833	0.851	0.703	0.863	0.890	0.722	0.830	0.881	0.977	0.991	0.978
MAR	3	0.989	0.969	0.939	0.981	0.982	0.912	0.923	0.841	0.853	0.844	0.694	0.800	0.861	0.720	0.810	0.810	0.968	0.968	0.938
MAR	4	0.985	0.949	0.899	0.980	0.941	0.895	0.874	0.750	0.819	0.833	0.655	0.791	0.810	0.715	0.776	0.810	0.996	0.960	0.938
MAR	5	0.985	0.949	0.899	0.980	0.941	0.895	0.874	0.750	0.819	0.833	0.655	0.791	0.810	0.715	0.776	0.810	0.996	0.960	0.938
MAR	6	0.962	0.910	0.862	0.987	0.952	0.901	1.272	1.242	1.145	0.863	0.731	0.813	0.780	0.569	0.763	0.810	0.969	0.922	0.870
MAR	7	0.871	0.926	0.888	0.987	0.952	0.901	1.247	1.317	1.241	0.844	0.689	0.799	0.808	0.610	0.774	0.810	0.946	0.882	0.870
MAR	8	0.927	0.888	0.888	0.987	0.952	0.901	1.247	1.317	1.241	0.844	0.689	0.799	0.808	0.610	0.774	0.810	0.946	0.882	0.870
MAR	9	0.943	0.878	0.866	0.985	0.948	0.899	1.098	1.122	0.988	0.874	0.703	0.805	0.785	0.528	0.740	0.810	0.934	0.862	0.831
MAR	10	0.941	0.874	0.866	0.985	0.948	0.899	1.098	1.122	0.988	0.874	0.703	0.805	0.785	0.528	0.740	0.810	0.934	0.862	0.831
MAR	11	0.927	0.877	0.866	0.985	0.948	0.899	1.098	1.122	0.988	0.874	0.703	0.805	0.785	0.528	0.740	0.810	0.934	0.862	0.831
MAR	12	0.930	0.853	0.858	0.985	0.949	0.939	1.095	1.118	1.048	0.854	0.708	0.805	0.768	0.520	0.749	0.810	0.874	0.750	0.810
MAR	13	0.902	0.863	0.858	0.987	0.952	0.901	1.081	1.098	0.975	0.851	0.703	0.807	0.759	0.475	0.758	0.810	0.874	0.750	0.810
MAR	14	0.911	0.820	0.845	0.991	0.956	0.902	1.003	0.975	0.917	0.865	0.713	0.813	0.741	0.451	0.732	0.810	0.870	0.740	0.810
MAR	15	0.913	0.824	0.847	0.987	0.952	0.901	0.913	0.824	0.947	0.874	0.750	0.819	0.743	0.457	0.734	0.810	0.872	0.745	0.818
MAR	16	0.941	0.874	0.866	0.987	0.952	0.901	1.002	1.003	0.938	0.874	0.703	0.805	0.781	0.451	0.732	0.810	0.924	0.848	0.833
MAR	17	0.941	0.874	0.866	0.987	0.952	0.901	0.890	0.781	0.830	0.870	0.450	0.816	0.739	0.446	0.731	0.810	0.870	0.738	0.837
MAR	18	0.890	0.781	0.830	0.989	0.956	0.902	0.774	0.750	0.819	0.877	0.754	0.821	0.748	0.469	0.738	0.810	0.904	0.807	0.840
MAR	19	0.995	0.970	0.834	0.989	0.962	0.905	0.884	0.768	0.825	0.844	0.691	0.799	0.760	0.475	0.738	0.810	0.900	0.781	0.830
MAR	20	0.920	0.837	0.851	0.989	0.956	0.902	0.884	0.768	0.825	0.852	0.754	0.821	0.748	0.469	0.738	0.810	0.888	0.776	0.820
MAR	21	0.930	0.853	0.858	0.989	0.956	0.902	0.886	0.772	0.827	0.790	0.644	0.767	0.749	0.469	0.738	0.810	0.902	0.809	0.840
MAR	22	0.936	0.868	0.861	0.989	0.956	0.902	0.869	0.731	0.811	0.831	0.680	0.783	0.749	0.469	0.738	0.810	0.902	0.809	0.840
MAR	23	0.943	0.878	0.868	0.989	0.956	0.902	0.865	0.730	0.793	0.845	0.693	0.760	0.749	0.469	0.738	0.810	0.856	0.733	0.837
MAR	24	0.948	0.886	0.871	0.992	0.960	0.904	0.869	0.763	0.826	0.851	0.727	0.826	0.747	0.463	0.735	0.810	0.877	0.748	0.825
MAR	25	0.955	0.899	0.877	0.992	0.960	0.904	0.752	0.815	0.742	0.832	0.675	0.743	0.745	0.463	0.735	0.810	0.892	0.780	0.837
MAR	26	0.957	0.902	0.878	0.992	0.960	0.904	0.766	0.814	0.748	0.812	0.620	0.722	0.752	0.462	0.735	0.810	0.872	0.754	0.821
MAR	27	0.938	0.852	0.861	0.992	0.960	0.904	0.762	0.803	0.745	0.844	0.691	0.748	0.742	0.462	0.735	0.810	0.851	0.720	0.821
MAR	28	0.932	0.858	0.860	0.992	0.960	0.904	0.751	0.814	0.754	0.814	0.611	0.727	0.752	0.462	0.735	0.810	0.840	0.680	0.740
MAR	29	0.895	0.790	0.834	0.992	0.960	0.904	0.760	0.808	0.763	0.815	0.625	0.729	0.760	0.462	0.735	0.810	0.950	0.890	0.870
MAR	30	0.937	0.851	0.861	0.992	0.960	0.904	0.764	0.809	0.765	0.844	0.693	0.743	0.743	0.462	0.735	0.810	0.874	0.750	0.821
MAR	31	0.887	0.736	0.814	0.995	0.949	0.899	0.812	0.820	0.777	0.817	0.630	0.740	0.790	0.584	0.767	0.810	0.943	0.878	0.868
ABR	1	0.878	0.800	0.811	0.995	0.949	0.899	0.812	0.820	0.777	0.817	0.630	0.740	0.790	0.584	0.767	0.810	0.943	0.878	0.868
ABR	2	0.878	0.800	0.811	0.995	0.949	0.899	0.812	0.820	0.777	0.817	0.630	0.740	0.790	0.584	0.767	0.810	0.943	0.878	0.868
ABR	3	0.773	0.531	0.752	0.930	0.883	0.828	0.811	0.820	0.778	0.691	0.595	0.720	0.785	0.476	0.710	0.810	0.902	0.837	0.830
ABR	4	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	5	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	6	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	7	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	8	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	9	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	10	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	11	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	12	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	13	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	14	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	15	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	16	0.768	0.520	0.749	0.923	0.841	0.853	0.810	0.815	0.778	0.794	0.529	0.746	0.775	0.416	0.734	0.810	0.902	0.811	0.842
ABR	17	0.849	0.699	0.802	0.877	0.754	0.821	0.789	0.569	0.763	0.760	0.520	0.749	0.794	0.529	0.765	0.810	0.907	0.799	0.830
ABR	18	0.840	0.680	0.805	0.868	0.731	0.813	0.791	0.574	0.768	0.791	0.492	0.742	0.803	0.500	0.711	0.810	0.907	0.744	0.830
ABR	19	0.847	0.694	0.800	0.861	0.722	0.810	0.790	0.547	0.757	0.768	0.520	0.749	0.794	0.529	0.765	0.810	1.139	1.124	1.021
ABR	20	0.868	0.731	0.813	0.856	0.713	0.807	0.771	0.525	0.757	0.773	0.631	0.732	0.801	0.525	0.729	0.810	1.192	1.220	1.070
ABR	21	0.869	0.764	0.813	0.840	0.699	0.692	0.746	0.514	0.740	0.748	0.548	0.700	0.767	0.563	0.741	0.810	1.162	1.240	1.090
ABR	22	0.863	0.727	0.811	0.897	0.704	0.635	0.766	0.514	0.748	0.766	0.520	0.740	0.794	0.529	0.765	0.810	1.163	1.148	1.031
ABR	23	0.869	0.764	0.813	0.840	0.699	0.692	0.746	0.514	0.740	0.748	0.548	0.700	0.767	0.563	0.741	0.810	1.162	1.240	1.090
ABR	24	0.908	0.886	0.916	0.994	0.866	0.806	0.759	0.497	0.744	0.745	0.463	0.735	0.796	0.564	0.767	0.810	1.198	1.255	1.074
ABR	25	1.038	1.030	0.938	1.042	1.040	0.943	0.771	0.525	0.757	0.790	0.475	0.738	0.787	0.563	0.761	0.810	1.195	1.203	1.070
ABR	26	0.998	0.948	0.948	1.042	1.040	0.943	0.760	0.475	0.757	0.790	0.475	0.738	0.787	0.563	0.761	0.810	1.195	1.203	1.070
ABR	27	1.038	1.108	0.981	0.994	0.964	0.941	0.451	0.732	0.752	0.840	0.598	0.799							

Tabla III.4.3 CALCULO DE CORRELACION Y REGRESION LINEAL, LOGARITMICA Y EXPONENCIAL EN EPOCA DE LLUVIA

ESTACION HIDROMETRICA LA COMUNIDAD A-12 (GASTOS MEDIOS DIARIOS m³/s)

ANO	MES	DIA	Temascaitepec x	La Comundad y	lineal Y	log Y	exp Y	log x=logx	log x ²	log xy	exp y=lny	exp y ²	exp xy	lineal xy	x ²	y ²	(y-ym) ²	(y-y ^L) ²	(y-y ^E) ²	(y-y ^P) ²
	OCT	17	12 950		2 932	2 932	2 972	1 112												
	OCT	18	12 870		2 920	2 924	2 953	1 110												
	OCT	19	12 730		2 899	2 911	2 920	1 105												
	OCT	20	12 860		2 919	2 923	2 951	1 106												
	OCT	21	13 430		3 003	2 977	3 089	1 128												
	OCT	22	13 450		3 006	2 979	3 093	1 128												
	OCT	23	13 390		2 997	2 973	3 079	1 127												
	OCT	24	12 870		2 920	2 924	2 953	1 110												
	OCT	25	11 810		2 763	2 818	2 713	1 072												
	OCT	26	10 690		2 597	2 695	2 480	1 029												
	OCT	27	10 370		2 550	2 657	2 418	1 016												
	OCT	28	10 500		2 569	2 673	2 443	1 021												
	OCT	29	10 530		2 573	2 676	2 449	1 022												
	OCT	30	9 960		2 489	2 608	2 340	0 958												
	OCT	31	10 410		2 556	2 662	2 425	1 017												

SUMAS	17573 0	4840 5	4840 5	4840 5	4631 4	1891 7	1702 3	4405 8	1523 2	1568 0	14613 6	43138 4	170987 3	12195 4	1583 8	699 9	785 4	1346 1
-------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	----------	---------	--------	-------	-------	--------

	LINEAL	LOG	EXP
n=	2208	2208	2208
r=	0 657	0 710	0 621
m=	0 148	2 844	0 030
b=	1 013	-0 232	1 054
ym=	2 192		
r ² =	0 432	0 504	0 385
r=	0 657	0 710	0 621

No de datos

Coefficiente de correlación

Pendiente

Ordenada al origen

y Media

Coefficiente de determinación

Tabla III.4.4 RESUMEN DE GASTOS MEDIOS DIARIOS (en m³/s)
LA COMUNIDAD A-12 (LLUVIA)

MES	DIA	06			07			08			09			10			11			12			13			14															
		lnreal	log	exp																																					
JUN	1	2.278	2.629	2.735	1.864	1.971	1.697	2.210	2.448	2.013	1.811	1.840	1.523	2.245	2.280	1.643	1.968	1.688	1.688	1.708	2.171	2.151	1.971	1.801	1.997	1.701	2.195	2.433	1.071	1.899	1.977	1.701									
JUN	2	2.207	2.346	2.010	2.181	2.288	1.903	3.009	2.981	3.008	1.850	1.907	1.697	2.170	2.314	1.976	1.854	1.914	1.661	1.661	1.661	2.154	2.200	1.653	1.881	1.952	1.695	2.188	2.309	2.002	1.841	1.894	1.730								
JUN	3	1.930	2.042	1.636	2.135	2.289	1.933	3.680	3.431	4.095	1.728	1.714	1.592	2.071	2.073	1.387	1.988	1.830	1.478	1.478	1.478	2.168	2.033	1.645	1.933	2.020	1.730	2.108	2.337	2.002	1.841	1.894	1.640								
JUN	4	1.940	2.042	1.746	2.021	2.147	1.820	3.310	3.158	3.643	1.670	1.471	1.429	2.000	2.042	1.685	1.785	1.781	1.780	1.688	1.688	2.200	2.339	2.002	1.841	1.894	1.640	2.176	2.314	1.976	1.875	1.944	1.954								
JUN	5	1.880	1.950	1.684	1.864	1.957	1.688	3.027	2.992	3.128	1.694	1.653	1.524	2.133	2.095	1.920	1.810	1.810	1.723	1.723	1.723	2.201	2.340	2.003	1.857	1.937	1.695	2.212	2.254	1.998	1.893	1.939	1.695								
JUN	6	2.441	2.567	2.280	1.762	1.867	1.530	2.912	2.823	3.009	1.992	1.711	1.511	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	7	2.418	2.547	2.251	1.966	2.069	1.764	3.277	3.136	3.591	2.093	2.210	1.661	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	8	2.488	2.580	2.314	1.788	1.812	1.602	2.446	2.511	2.766	1.810	1.610	1.427	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	9	2.035	2.154	1.831	1.808	1.840	1.618	2.111	2.422	2.608	1.608	1.598	1.427	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	10	2.137	2.309	1.911	1.929	2.010	1.710	1.950	1.965	1.933	1.523	1.523	1.427	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	11	2.214	2.240	1.911	1.994	1.913	1.791	1.989	2.099	1.997	1.787	1.605	1.236	1.602	1.602	1.236	1.602	1.602	1.236	1.236	1.236	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	12	2.462	2.585	2.306	2.101	2.231	1.997	2.149	2.205	1.948	2.272	2.410	2.087	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	13	2.359	2.489	1.949	1.931	2.020	1.819	2.319	2.272	2.333	1.731	1.610	1.427	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	14	2.323	2.460	2.129	1.824	2.552	2.259	1.933	2.024	1.733	2.139	2.274	1.937	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	15	2.180	2.298	1.958	2.072	2.203	1.870	1.997	2.107	1.948	2.123	2.351	2.014	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	16	2.058	2.167	1.840	1.819	1.840	1.619	1.840	1.819	1.763	1.500	1.427	1.427	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
JUN	17	2.016	2.131	1.812	2.012	2.125	1.808	2.204	2.343	2.006	2.123	2.352	2.014	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695								
AGO	1	2.146	2.292	1.945	2.043	2.181	1.937	2.302	2.441	2.115	2.293	2.433	1.701	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	2	2.007	2.120	1.804	1.874	1.942	1.678	1.211	2.254	1.916	1.958	2.057	1.757	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	3	1.998	2.109	1.795	1.970	2.073	1.768	2.099	2.229	1.856	2.169	2.241	1.906	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	4	2.281	2.411	2.021	1.833	1.914	1.633	1.411	1.873	1.411	1.275	1.339	1.098	1.228	1.228	1.098	1.228	1.228	1.098	1.098	1.098	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	5	2.530	2.642	2.393	1.950	2.172	1.845	2.052	2.174	1.846	2.068	2.133	1.804	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	6	2.244	2.384	2.050	2.028	2.145	1.824	1.813	2.318	1.961	1.958	2.057	1.757	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	7	2.241	2.098	1.709	1.838	1.909	1.638	1.838	1.909	1.638	1.838	1.909	1.638	1.838	1.909	1.638	1.838	1.909	1.638	1.638	1.638	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	8	2.293	2.432	2.052	1.912	1.996	1.714	3.303	3.130	3.031	2.032	2.151	1.829	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	9	2.438	2.565	2.277	1.993	2.222	1.889	2.747	2.607	2.689	1.115	1.247	1.912	1.908	1.908	1.669	1.703	1.703	1.669	1.669	1.669	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108						
AGO	10	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338			
AGO	11	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324			
AGO	12	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082		
AGO	13	2.613	2.708	2.502	2.292	2.415	2.062	2.065	2.065	2.065	1.881	1.881	1.669	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602	1.427	1.427	1.427	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108
AGO	14	2.511	2.606	2.386	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.901	1.812	1.812	1.812	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108	1.669	1.703	2.234	1.937	2.072	2.108
AGO	15	2.310	2.490	2.134	2.181	2.268	1.950	2.270	2.420	2.078	2.078	2.078	1.645	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695		
AGO	16	2.218	2.357	2.023	2.307	2.445	2.120	2.431	2.558	2.208	2.058	1.811	1.845	2.108	2.108	1.681	1.781	1.781	1.681	1.681	1.681	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695	2.210	2.350	2.003	1.857	1.937	1.695		
AGO	17	1.919	1.985	1.846	2.271	2.410	2.080	2.258	2.387	2.063	1.236	2.259	1.923	2.072	2.072	1.427	1.602	1.602																							

Tabla III.5.1 DETERMINACION DEL ESCURRIMIENTO A PARTIR DE LA PRECIPITACION MEDIANTE EL METODO U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE

MES	DIA	LLUVIA (in)	C HA	N C	N C II	S	Exceso (in)	Vdirecto (miles de m ³)	Vbase (miles de m ³)	Vtotal (miles de m ³)	Qtotol m ³ /s	
MAR	1	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	2	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	3	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	4	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	5	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	6	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	7	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	8	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	9	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	10	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	11	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	12	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	13	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	14	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	15	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	16	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	17	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	18	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	19	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	20	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	21	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	22	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	23	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	24	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	25	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	26	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	27	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	28	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	29	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	30	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
MAR	31	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	82 68	82 68	0 96
AGO	1	120 92	4 76	1 00	83 00	67 22	4 88	1 65	4978 64	119 58	5098 22	53 01
AGO	2	6 62	0 26	3 00	83 00	81 82	0 89	0 01	21 15	119 58	140 73	1 63
AGO	3	0 00	0 00	3 00	83 00	81 82	0 89	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	4	0 47	0 02	3 00	83 00	81 82	0 89	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	5	0 03	0 00	3 00	83 00	81 82	0 89	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	6	24 54	0 97	3 00	83 00	81 82	0 89	0 37	1113 36	119 58	1232 94	14 27
AGO	7	6 05	0 24	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	8	9 40	0 39	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	9	3 82	0 15	2 00	83 00	83 00	2 05	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	10	3 64	0 14	2 00	83 00	83 00	2 05	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	11	23 37	0 92	2 00	83 00	83 00	2 05	0 10	334 53	119 58	454 16	4 93
AGO	12	0 00	0 00	2 00	83 00	83 00	2 05	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	13	4 20	0 17	2 00	83 00	83 00	2 05	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	14	5 22	0 21	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	15	17 73	0 70	2 00	83 00	83 00	2 05	0 04	107 05	119 58	226 63	2 62
AGO	16	0 00	0 00	2 00	83 00	83 00	2 05	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	17	1 21	0 05	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	18	1 68	0 07	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	19	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	20	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	21	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	22	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	23	5 13	0 20	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	24	5 78	0 23	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	25	2 89	0 12	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	26	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	27	1 31	0 05	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	28	7 18	0 28	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	29	20 34	0 80	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	30	0 00	0 00	1 00	83 00	67 22	4 88	0 00	0 00	119 58	119 58	1 38
AGO	31	33 03	1 30	1 00	83 00	67 22	4 88	0 02	61 11	119 58	180 69	2 05

CAPITULO IV

GENERACIÓN DE LOS VOLUMENES MENSUALES EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA ZITÁCUARO.

IV.1 Ubicación de la Estación.

Estación Zitácuaro:

Se encuentra ubicada sobre la corriente del río Zitácuaro dentro del municipio del mismo nombre, en el estado de Michoacán. La ubicación exacta es la siguiente; latitud norte $19^{\circ} 25' 25''$ y longitud oeste $100^{\circ} 23' 25''$, aproximadamente a un 1 km aguas arriba de la confluencia de dicho río con la Presa El Bosque. Esta corriente tiene su origen en la sierra de Angangeo y sus escurrimientos descienden por los cerros Huacal.

El área de la cuenca que delimita la estación es de 366.5 km^2 . La estación cuenta con un puente de estructura metálica a base de vigas I, apoyada sobre plataformas de mampostería y un cable de acero que hace las veces de barandal. Sobre la margen derecha se localiza el limnógrafo este para el registro automático y continuo de la variación de niveles y, adosada a su estructura, la escala. A unos 25 m y sobre la margen izquierda está la caseta del aforador.

Datos Hidrológicos:

Colector General: Río Balsas
Afluente: Río Cutzamala
Subafluente: Río Zitácuaro

El principal objetivo de la estación es conocer las aportaciones del Río Zitácuaro a la Presa El Bosque. En la figura IV.1 se muestra un croquis de localización de la cuenca delimitada por la estación Zitácuaro.

IV.2 Estaciones climatológicas que intervienen en el calculo:

Para generación de los volúmenes mensuales es necesario determinar los escurrimientos a través de los métodos mencionados en el capítulo II. Por tal motivo para poder llevar a cabo el análisis, fue necesario contar con la ubicación de las estaciones y con su información climatológica.

Se emplearon las estaciones de Villa de Allende y Zitácuaro para el período 1948-1952; para los períodos 1953-1957 también se utilizó la climatológica de Tuxpan, se empleó además la estación climatológica de Palizada para los períodos 1958-1961 y 1963-1968. Para el año de 1962 y los períodos de 1969-1977 y 1981-1985 se emplearon las climatológicas de Villa de Allende, Palizada y Tuxpan.

La estación climatológica Zitácuaro se localiza en el Estado de Michoacán a una latitud 19° 26' Norte y una longitud de 100° 22' Oeste. Esta estación se encuentra en el poblado de la Ciudad Heroica Zitácuaro, aguas abajo de la estación se localiza la Presa El Bosque, además de tener influencia en el calculo de escurrimiento en la estación Río Chiquito, también influye en las estaciones hidrométricas La Garita, Km 21+740 y Zitácuaro.

La estación climatológica de Villa de Allende se localiza en el estado de México a una latitud 19° 22' Norte y a una longitud 100° 05' Oeste, esta estación se encuentra dentro de la cuenca que delimita la estación hidrométrica Río San José Malacatepec.

La estación Presa Tuxpan se encuentra dentro del municipio de Tuxpan, en el Estado de Michoacán, localizada a una latitud 19° 33' Norte y a una longitud 100° 29'.

Palizada, se encuentra en el Estado de México a una latitud 19° 30' norte y una longitud de 100° 06', la estación se encuentra a una altitud de 2622 m.s.n.m. dentro del municipio de Villa Victoria también influye en las cuencas de las estaciones hidrométricas de San Diego, La Compañía, Río San José Malacatepec y Zitácuaro.

Tanto las estaciones climatológicas y las estaciones hidrométricas se ilustra su localización en el plano general del presente trabajo.

IV.3 Aplicación del método Coeficientes de Escurrimiento

La metodología para el análisis diario y mensual es casi la misma, sin embargo, existen diferencias en estas dos variantes de análisis, a continuación se explicará el análisis mensual.

Para la realización de los cálculos fue necesario contar con información hidrométrica y pluviométrica que coincidieran los años de registro, como se muestra en la tabla I.2 del primer capítulo. Los periodos analizados son los mencionados en el inciso IV.2 de éste capítulo.

Los cálculos para la determinación de los coeficientes de escurrimiento a nivel mensual para la cuenca definida hasta la estación hidrométrica Zitácuaro, aparecen en la tabla IV.3.1. En la primera columna se registra el año y los meses correspondientes de análisis, los periodos analizados son los siguientes de 1948 a 1977, 1981 y 1983 a 1985. En la segunda, tercera, cuarta y quinta columna se vació la información de lluvia de las estaciones con influencia en la cuenca y se determinaron los porcentajes de peso que cada una de ellas tiene sobre el área total de la cuenca. Estos porcentajes cambian con respecto al tiempo, y dependen principalmente de que los datos hidrométricos y pluviométricos coincidan. Por ejemplo para el periodo de años de 1948 a 1951 las únicas estaciones que influyen en el cálculo son Zitácuaro con 87.1% y Villa de Allende con 12.9% del área total de la cuenca. A partir de 1953 hasta y 1957 al incluirse la estación climatológica de Tuxpan con 6.9% de área de influencia, se modifican las estaciones de Villa de Allende con 13.4% y Zitácuaro con 79.7%. Del periodo de 1958 a 1968 se tienen los siguientes porcentajes; Palizada 12.8%, Tuxpan 6.1%, Villa de Allende 6.8% y Zitácuaro 74.2%. Finalmente para el último periodo (1969 a 1985), se tiene los siguientes porcentajes Palizada con 25.3%, Tuxpan con 46.6% y Villa de Allende con 28.1%

Con estos datos de las cuatro estaciones climatológicas que influyen en el cálculo se calculó el valor de lluvia media ponderada en el mes de análisis (sexta columna), una vez que se definieron las áreas de aportación mediante polígonos de Thiessen. En la séptima columna se tiene el volumen llovido que resultó de multiplicar la lluvia media por el área total de la cuenca y por un factor de conversión.

El volumen escurrido (octava columna) es el escurrimiento acumulado en la estación durante el mes. En la novena columna se encuentran los valores que se obtuvieron previamente de los gastos base para esta estación hidrométrica en particular. Como ya se explicó en el capítulo anterior el volumen directo es la diferencia entre los volúmenes escurrido y el base en el mes, y se tomo en cuenta en el cálculo siempre y cuando esta diferencia fuera positiva. Finalmente se obtuvo el valor del coeficiente de escurrimiento mensual, como el cociente entre el volumen de escurrimiento directo entre el volumen llovido durante dicho mes. Al final de la hoja de cálculo se muestran los valores de los coeficientes de escurrimiento promedio mensuales a partir de todos los años de registro.

Una vez que se determinaron los valores de los coeficientes de escurrimiento para cada mes se utilizaron para calcular el volumen escurrido para los que no tienen registros de aforo, pero si de lluvia.

En la tabla IV.3.2 se tiene la generación de los volúmenes a nivel mensual con estos coeficientes de escurrimiento promedio, la primera columna corresponde a los meses y su año correspondiente, en la segunda columna se encuentran registrados los coeficientes promedio a nivel mensual extraídos del final de la tabla IV.3.1, en la tercera y cuarta columna se localizan los registros de lluvia de las estaciones climatológicas Palizada y Tuxpan, que en este caso son las únicas estaciones que cuentan con registros en el periodo en el cual se requiere conocer los registros de escurrimiento.

Para obtener el volumen llovido, (quinta columna) se multiplicó el área de influencia de las estaciones climatológicas, según el método de Thiessen, por la altura de precipitación media y por un factor de conversión, (los resultados se presentan en miles de metros cúbicos). En la sexta columna se encuentra el volumen escurrido mensual, el cual es el producto entre el coeficiente de escurrimiento mensual y el volumen llovido en el mes de análisis. Finalmente para obtener el volumen mensual se sumó el volumen base más el volumen de escurrimiento (octava columna), en la novena columna se localiza el volumen anual que es la suma de los resultados de los doce meses de análisis.

IV.4 Aplicación del método Correlación y Regresión, Lineal, Logarítmica y Exponencial

Se correlacionó la estación Zitacuaro con la estación hidrométrica de Río Grande, esto por la cercanía de las estaciones. El análisis se hizo a nivel mensual por lo que se obtuvieron volúmenes mensuales correspondientes al periodo de 1986 a 1994.

En la estación Río Grande se tienen datos para los periodos de 1947-1977 y 1982-1996, mientras que en la estación Zitacuaro se tienen datos para los periodos de 1948-1977 y 1981-1985.

El primer paso fue obtener los valores de m y b para emplearlos en las tres ecuaciones de regresión (lineal, logarítmica y exponencial), estos valores se obtuvieron basándose en la información medida simultáneamente para los periodos de 1948 a 1977 y 1981 a 1985.

En la siguiente relación de tablas y figuras se observan los datos y resultados arrojados por este método:

En la tabla IV.4.1 se tiene el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de estiaje y en la tabla IV.4.2 se resumen los gastos generados en época de estiaje con el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial, los cálculos en esta época se ilustran en la figura IV.2.

En la tabla IV.4.3 tenemos el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial en época de lluvia, cuyos resultados se ilustran en la tabla IV.4.4 llamada resumen de gastos generados en época de lluvia con el cálculo de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial, también los cálculos de esta época se muestran gráficamente en la figura IV.3.

Una vez determinados los valores en la estación Zitácuaro para los tres métodos, se hizo un análisis de sensibilidad para poder determinar cual de los tres métodos es el que dió mejores resultados, aplicando la ecuación (II.12), obtenemos los siguientes coeficientes de correlación:

COEFICIENTE DE CORRELACION (r)		
EPOCA	MÉTODO	VALOR
Estiaje	Líneal	0.768
Estiaje	Logarítmico	0.764
Estiaje	Exponencial	0.753
Lluvia	Líneal	0.846
Lluvia	Logarítmico	0.847
Lluvia	Exponencial	0.763

El valor de r debe de estar cercano a 1 o -1 para poder garantizar un buen resultado, Por lo tanto en época de estiaje se tomo el método líneal y en época de lluvia se tomó el método logarítmico, pues ambos resultados son los más cercanos a la unidad.

IV.5 Aplicación del método Balance Hídrico Edafológico.

El desarrollo de los cálculos numéricos se muestra en la tabla IV.5.1 para la cuenca de la estación Zitácuaro, en la cual se muestra el cálculo para un año hidrológico, que se inicia con el estiaje, es decir, al final de la época de lluvias del año cronológico anterior. En la República Mexicana es común que el año hidrológico se inicie en alguno de los meses de agosto a diciembre y termine por ende entre julio y noviembre del año siguiente.

En los primeros reglones de la tabla se tienen los siguientes datos; el área de la cuenca, la latitud, el índice de eficiencia de temperaturas para las dos estaciones climatológicas que intervienen en el cálculo y el valor de "a" constante que está en función del índice de eficiencia de temperatura.

En la primera y segunda columna se tienen respectivamente el año y mes en que se está haciendo el análisis. La tercera columna contiene la lluvia promedio acumulada en la cuenca para cada mes, en milímetros. En la cuarta y quinta columna se encuentran los registros de temperatura promedio en el mes de análisis en las estaciones climatológicas de Palizada y Tuxpan respectivamente. En la sexta y séptima columna se encuentra el cálculo del índice de eficiencia de temperaturas para las estaciones de Palizada y Tuxpan respectivamente, dicho índice se calcula de la siguiente manera:

$$i_j = \left[\frac{T_j}{5} \right]^{1.514}$$

donde

T_j temperatura media en el mes j , en °C.

En la octava columna se tiene el valor de K_a que es una constante que depende de la latitud y del mes del año, estos valores se encuentran en la tabla IV.5.2, que a continuación se ilustra.

LATITUD, grados	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.08	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.91
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

Esta serie de datos y parámetros sirven para calcular la altura de evapotranspiración U_j , mediante el método de Thornthwaite (ver Aparicio. Fundamentos de Hidrología de Superficie 1990), esto se presenta en la columna novena y decima.

$$U_j = 1.6K_a \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a$$

donde

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

En la decimaprimer columna se tiene la evapotranspiración potencial, se ponderan los valores estimados de las columnas nueve y diez, por medio de la técnica de polígonos de Thiessen. El doceava columna es la diferencia que existe entre las alturas de precipitación y

la de evapotranspiración, es decir, entre las columnas tres y once; esta diferencia marca la diferencia entre las épocas de lluvia y de estiaje. En el treceava columna se acumulan los valores negativos seguidos de P-ETP, es decir, los valores correspondientes al estiaje y se denominan “pérdida potencial acumulada”. Con ayuda de las tablas II.5.1 y II.5.2 del capítulo dos, se determina que cantidad de agua es retenida en el suelo de acuerdo con la pérdida potencial acumulada y su capacidad de retención; ésta última define la tabulación a utilizar. Entonces la porción del quinceava columna correspondiente a la época de estiaje se calcula en base al método de Thornthwaite y Mather y a los valores de la pérdida potencial acumulada; el resto del renglón y los valores del siguiente se van calculando conforme se realiza la contabilidad o balance, comenzando en el estiaje y considerando al suelo a capacidad de campo en el mes anterior (último mes de la época de lluvias). En el dieciseisava columna se anota la evapotranspiración real, pudiéndose presentar dos casos, el primero cuando P-ETP es positiva, entonces $ETR=ETP$ y el segundo, si P-ETP es negativa, entonces la ETP es parcialmente satisfecha por la precipitación y el agua que se puede extraer del suelo, cuya suma es igual a la ETR. La diferencia entre ETP y ETR se denomina deficiencia de humedad (DH) y se anota en la columna diecisiete. Por otra parte, cuando se excede la capacidad del suelo y existe sobrante entre la lluvia y la ETP, se origina la humedad en exceso la cual se anota en la columna dieciocho. De tal excedente, la experiencia dice que aproximadamente la mitad de tal exceso escurre superficialmente en tanto que el resto se detiene en el subsuelo, en el agua subterránea, en las depresiones superficiales y en los cauces, apareciendo como contribución al escurrimiento del mes siguiente, el cual nuevamente se vuelve a distribuir. Sin embargo, esta aproximación está sujeta a una probable calibración dependiendo de las características de cada cuenca en particular.

A partir de las columnas diecinueve hasta la veinticuatro se tiene el cálculo de los escurrimientos base, directo y total en miles de m^3 .

IV.6.- Comparación de resultados

Para la comparación de resultados en la cuenca limitada por la estación Zitácuaro, en la cual se requiere obtener la información de los volúmenes a nivel mensual, se emplearon los métodos

- Coeficientes de Escurrimiento
- Correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial
- Método Balance Hídrico Edafológico

De los volúmenes generados en este período se pasaron a gastos y estos se graficaron para poder realizar la comparación. En la figura IV.4 se presentan los resultados obtenidos de los gastos generados 1986 a 1994 con el método de coeficientes de escurrimiento, estos gastos se encuentran en el rango de 2 a 4 m^3/s en época de estiaje, para época de lluvia estos gastos varían de 4 a 6 m^3/s , presentando algunos gastos máximos que llegan a alcanzar hasta 8 m^3/s .

Los gastos medios mensuales con las correlaciones lineal, logarítmica y exponencial se ilustran en las figuras IV.5 a IV.7, en la correlación y regresión lineal y logarítmica se observa un comportamiento similar, teniendo unos gastos de de 2 hasta 12 m³/s, mientras que la exponencial presenta gastos extraordinarios de 12 hasta 17 m³/s, principalmente en los años de 1990, 1992 al 1994, (ver figura IV.7). Para poder determinar cual de estos tres métodos es el mejor, se tomo el que tuviera un coeficiente de correlación más cercano a la unidad, por tal motivo el método lineal es el mejor para este análisis con un coeficiente de 0.768 en época de estiaje y 0.846 en época de lluvia.

Los resultados del método de balance hídrico edafológico se encuentran en la grafica IV.8, estos resultados varían desde 1 hasta 20 m³/s. En la época de estiaje tienen un comportamiento similar a los otros métodos (de 2 a 4 m³/s), sin embargo en época de lluvia los gastos alcanzan valores superiores a los 20 m³/s.

Finalmente, al igual que en la estación La Comunidad (donde se realizó el análisis a nivel diario) para poder determinar cual fue el mejor método, se realizó una comparación de los gastos históricos y los generados. El método de correlación y regresión lineal fue el que mejor comportamiento presento, salvo en avenidas extraordinarias, como se ve en la figura IV.9 los gastos generados son semejantes a los históricos.

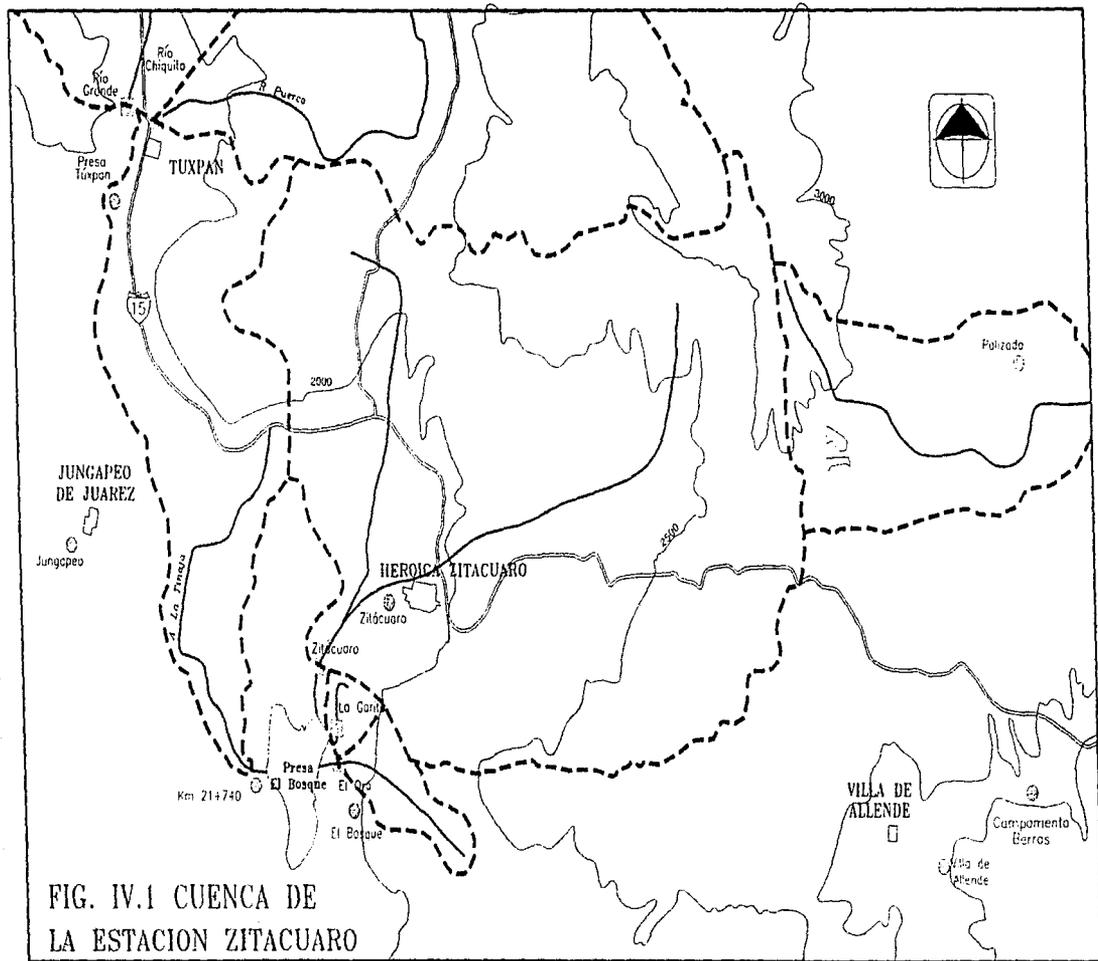


Fig. IV.2 RÍO GRANDE - ZITÁCUARO

ESTIAJE

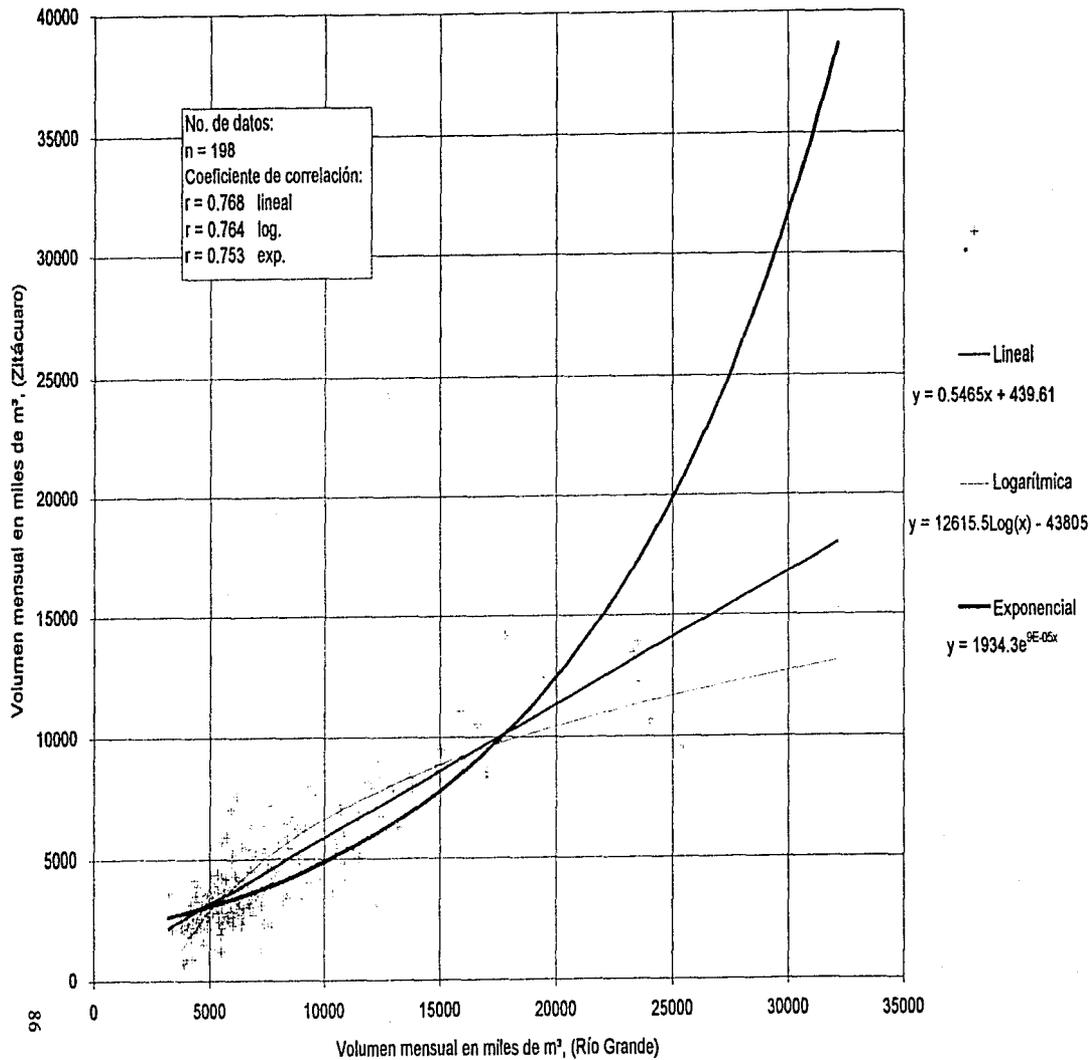


Fig. IV.3 RÍO GRANDE - ZITÁCUARO

LLUVIA

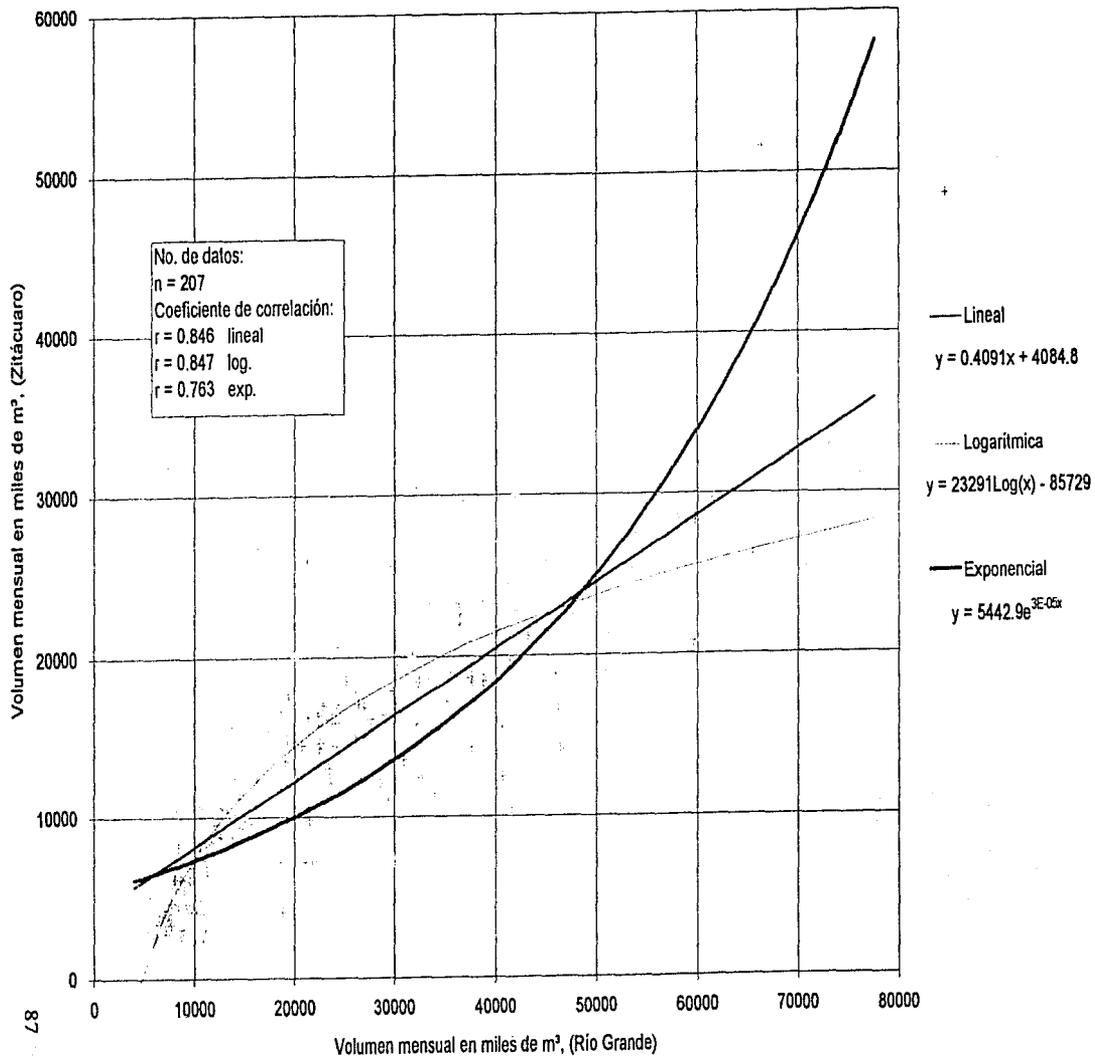


Fig. IV.4 GENERACION DE GASTOS ESTACION ZITACUARO

Método de coeficientes de escurrimiento

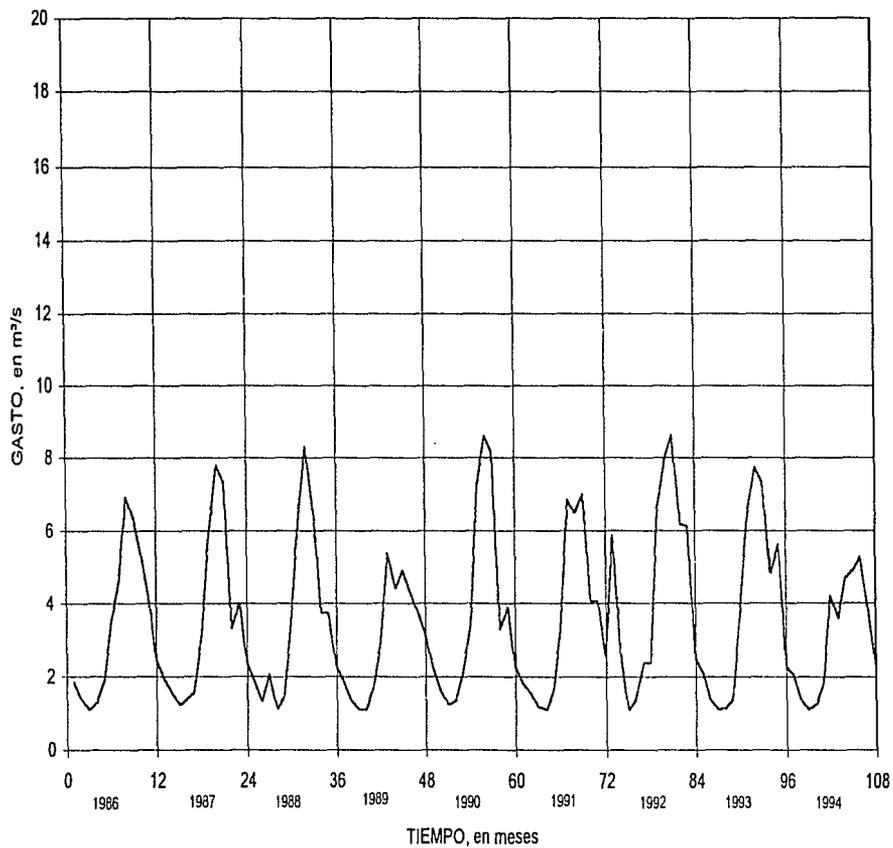


Fig. IV.5 GENERACION DE GASTOS ESTACION ZITACUARO

Método de correlación y regresión lineal

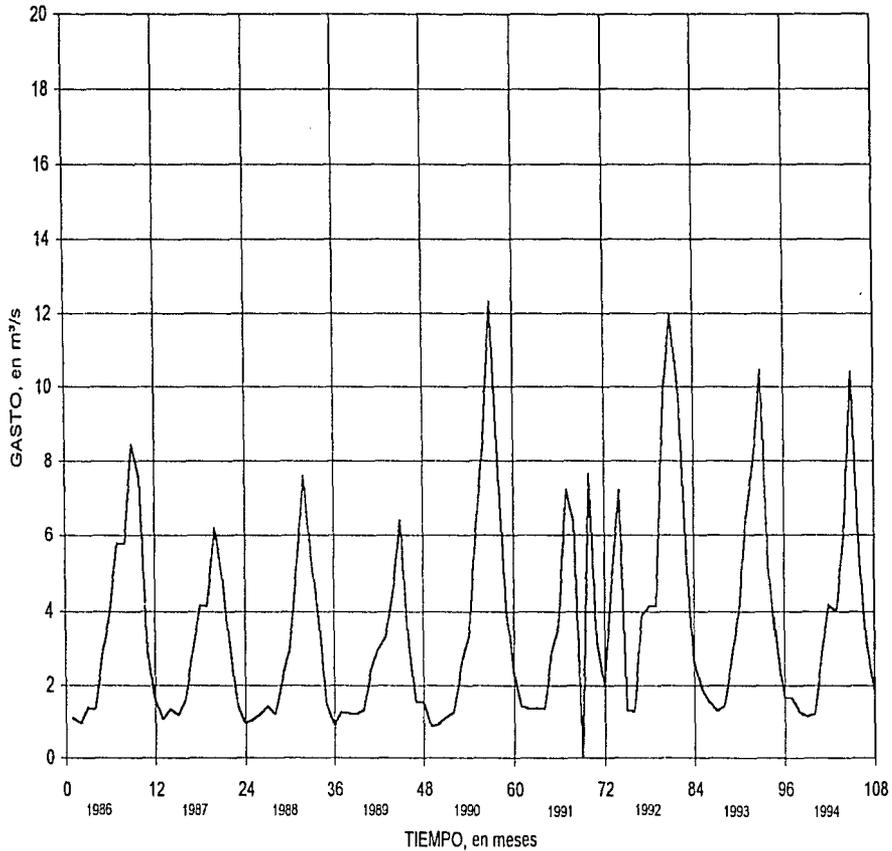


Fig. IV.6 GENERACION DE GASTOS ESTACION ZITACUARO

Método de correlación y regresión logarítmica

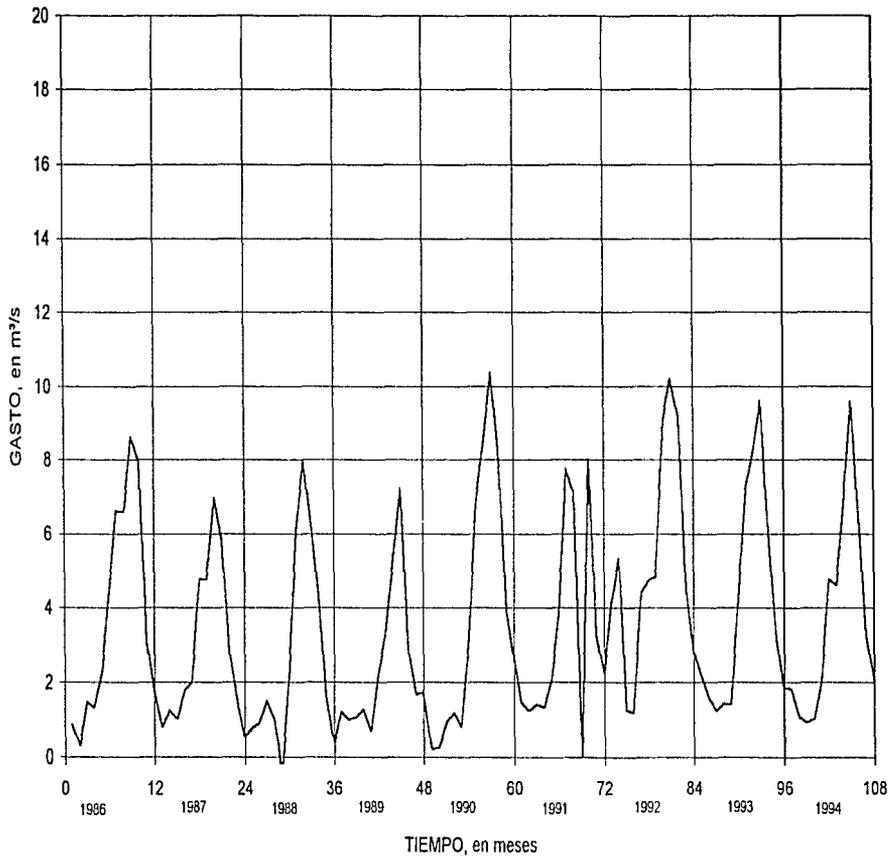


Fig. IV.7 GENERACION DE GASTOS ESTACION ZITACUARO

Método de correlación y regresión exponencial

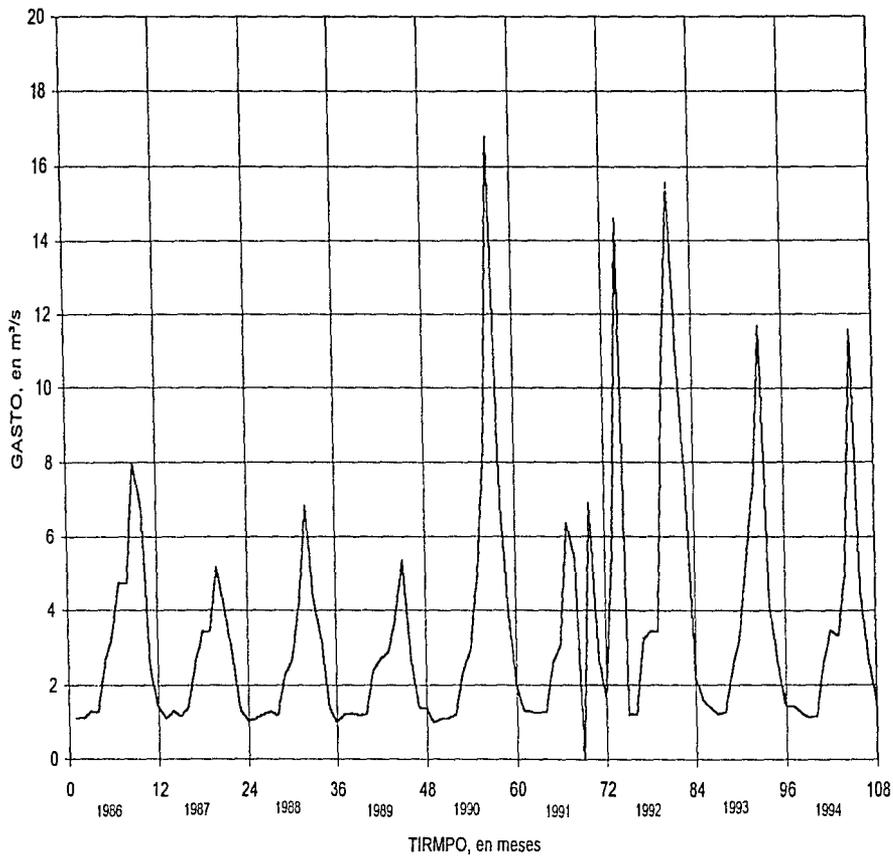


Fig. IV.8 GENERACION DE GASTOS ESTACION ZITACUARO

Método Balance Hídrico Edafológico

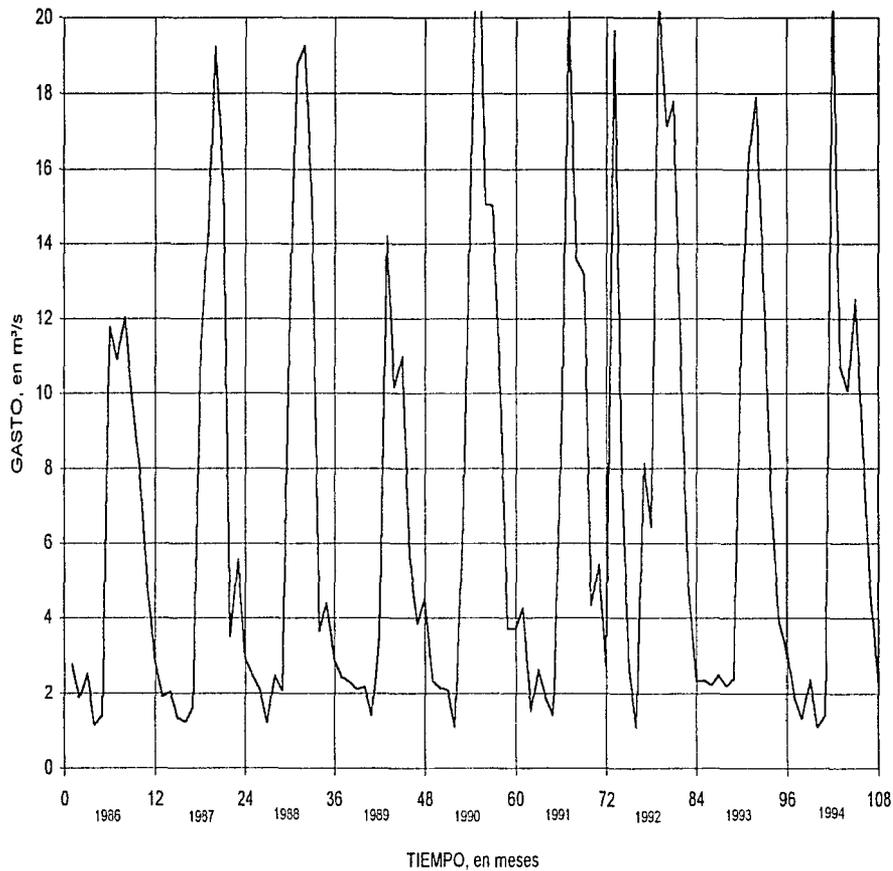


FIG. IV.9 COMPARACION DE GASTOS HISTORICOS Y GENERADOS
ESTACION ZITACUARO

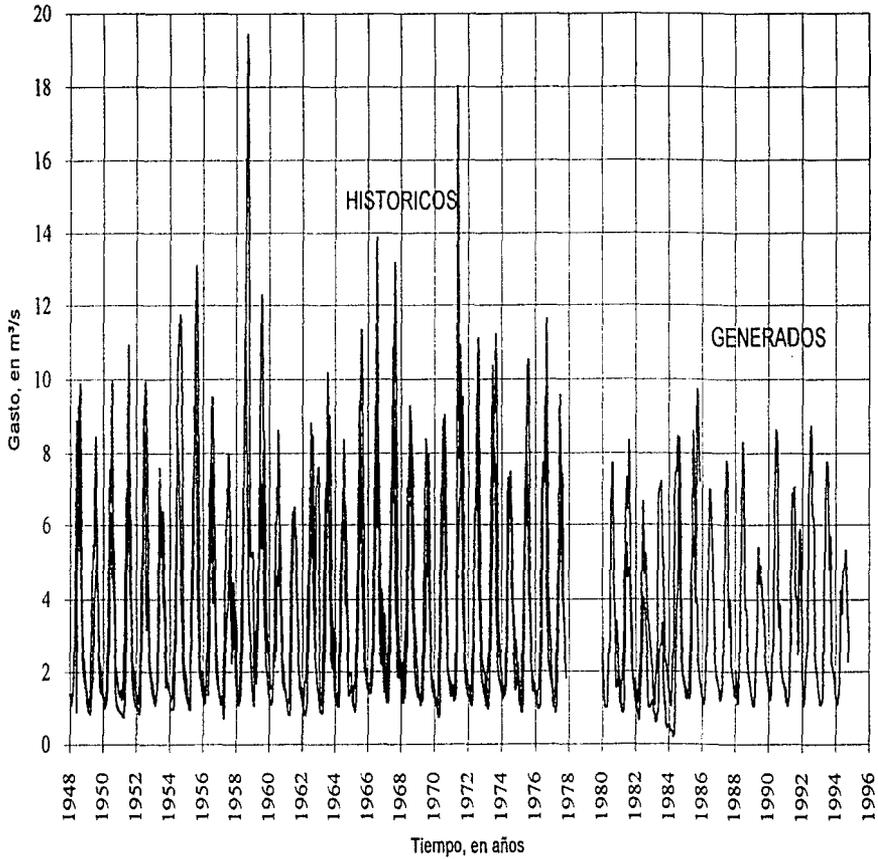


Tabla IV.3.1 ESTACION EL ZITACUARO A = 366.5 Km²
CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

AÑO	ZITACUARO LL(mm)	V.ALLENDE LL(mm)	PALIZADA LL(mm)	TUXPAN LL(mm)	LL MEDIA (mm)	VOL LL (m ³)	V ESC (miles m ³)	V BASE (miles m ³)	V DIR (miles m ³)	Ce
	0.871	0.129			366.500					
1948										
ENE	64.800	71.000			65.600	24042326.7		4929.6	-4929.6	
FEB	3.000	7.000			3.516	1288614.0		3214.5	-3214.5	
MAR	0.000	0.000			0.000	0.0		2978.9	-2978.9	
ABR	14.400	26.500			15.961	5849669.9		2848.9	-2848.9	
MAY	79.700	135.000			86.834	31824551.1		3755.0	-3755.0	
JUN	151.300	177.000			154.615	56666507.5		4661.1	-2348.1	
JUL	343.200	133.500			316.149	115868498.6	21179.0	5567.2	15611.8	0.135
AGO	166.700	186.300			169.228	62022208.6	14341.0	6473.3	7867.7	0.127
SEP	201.300	130.000			192.102	70405493.0	25628.0	7379.5	18248.5	0.259
OCT	81.900	135.500			88.814	32550477.6	12442.0	8285.6	4156.4	0.128
NOV	6.900	48.500			12.266	4495635.6	6803.0	9191.7	-2388.7	
DIC	5.400	13.000			6.380	2338416.6	6190.0	6064.3	125.7	0.054
1975										
ENE	77.500	26.400	46.900	50.312	18499384.7	5957.0	4929.6	1027.4	0.056	
FEB	14.500	7.600	23.600	16.955	6228630.9	4070.0	3214.5	855.5	0.137	
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	2861.0	2978.9	-117.9	
ABR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	2320.0	2848.9	-528.9	
MAY	151.000	94.600	68.100	98.099	35953430.1	4652.0	3755.0	897.0	0.025	
JUN	246.500	218.600	181.100	208.965	76585635.9	13470.0	4661.1	8908.9	0.115	
JUL	263.000	182.000	148.400	189.103	69306396.1	18607.0	5567.2	13039.8	0.188	
AGO	185.000	239.900	185.600	199.169	72995548.5	27557.0	6473.3	21083.7	0.289	
SEP	152.500	101.300	78.700	105.156	38539527.4	27214.0	7379.5	19834.5	0.515	
OCT	33.000	25.400	47.300	37.741	13832076.5	14261.0	8285.6	5975.4	0.432	
NOV	27.000	0.000	1.000	8.053	2951424.5	6917.0	9191.7	-2274.7		
DIC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	4062.0	6064.3	-2002.3	
1985										
ENE	1.000	0.000	2.100	1.260	461643.4	4353.0	4929.6	-576.6		
FEB	0.600	13.000	0.000	3.458	1267210.4	3630.0	3214.5	415.5	0.328	
MAR	10.800	1.600	10.100	8.146	2985582.3	3749.0	2978.9	770.1	0.258	
ABR	4.100	15.200	37.600	22.519	8253323.5	3307.0	2848.9	458.1	0.056	
MAY	33.400	30.500	22.663	30.500	8306062.8	3900.0	3755.0	145.0	0.017	
JUN	212.100	199.400	146.582	199.400	53722193.1	8337.0	4661.1	3675.9	0.068	
JUL	242.200	197.200	153.172	197.200	56137464.7	22651.0	5567.2	17083.8	0.304	
AGO	181.200	132.300	107.495	132.300	39397064.1	19697.0	6473.3	13223.7	0.336	
SEP	98.800	76.900	60.832	76.900	22294854.7	10230.0	7379.5	2850.5	0.128	
OCT	52.300	34.500	29.309	34.500	10741711.9	25981.0	8285.6	17695.4		
NOV	31.300	27.000	20.501	27.000	7513579.9	24375.0	9191.7	15183.3		
DIC		11.900	0.000	3.011	1103421.6	19913.0	6064.3	13848.7		

RESUMEN COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO

ENE	0.149
FEB	0.151
MAR	0.143
ABR	0.103
MAY	0.063
JUN	0.075
JUL	0.154
AGO	0.221
SEP	0.245
OCT	0.246
NOV	0.163
DIC	0.211

Tabla IV.3.2 ESTACION ZITACUARO
 GENERACIÓN DE VOLUMENES CON EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (miles de m³)

AÑO	COEF MENSUAL	PALIZADA LL(mm)	TUXPAN LL(mm)	VII (miles de m³)	VIII (miles de m³)	Vbase (miles de m³)	Vmensual (miles de m³)	Annual
1986								
ENE	0.149	0.0	0.0	0.0	0.0	4929.6	4929.6	
FEB	0.151	0.5	2.7	617.0	93.1	3214.5	3307.6	
MAR	0.143	0.0	0.0	0.0	0.0	2978.9	2978.9	
ABR	0.103	28.8	2.0	5270.8	540.6	2848.9	3389.5	
MAY	0.063	70.7	53.3	22480.6	1405.3	3755.0	5160.3	
JUN	0.075	237.6	97.5	59455.5	4482.3	4661.1	9143.4	
JUL	0.154	137.2	95.9	42140.3	6500.9	5567.2	12068.1	
AGO	0.221	214.5	91.8	54420.3	12051.4	6473.3	18524.7	
SEP	0.245	146.3	64.5	37489.6	9189.1	7379.5	16568.6	
OCT	0.246	80.1	52.6	23934.2	5891.7	8285.6	14177.3	
NOV	0.163	37.0	18.9	9991.5	1631.5	9191.7	10823.2	
DIC	0.211	7.0	6.2	2407.8	508.3	6064.3	6572.6	107643.8
1987								
ENE	0.149	0.0	7.5	1478.9	219.8	4929.6	5149.4	
FEB	0.151	11.0	12.5	4327.3	652.6	3214.5	3867.1	
MAR	0.143	6.7	7.4	2593.6	371.6	2978.9	3350.5	
ABR	0.103	30.2	10.2	7124.7	730.9	2848.9	3579.7	
MAY	0.063	26.6	12.7	7008.1	438.1	3755.0	4193.1	
JUN	0.075	153.5	105.8	46852.3	3532.2	4661.1	8193.3	
JUL	0.154	201.8	159.7	65658.4	10129.0	5567.2	15696.2	
AGO	0.221	202.8	154.4	64782.7	14346.2	6473.3	20819.5	
SEP	0.245	100.2	154.0	47331.6	11601.5	7379.5	18981.0	
OCT	0.246	1.0	10.9	2318.6	570.7	8285.6	8856.3	
NOV	0.163	3.0	34.7	7350.1	1200.2	9191.7	10391.9	
DIC	0.211	6.0	0.0	1015.9	214.5	6064.3	6278.8	109356.7
1988								
ENE	0.149	7.0	0.0	1185.2	176.2	4929.6	5105.8	
FEB	0.151	0.5	0.0	84.7	12.8	3214.5	3227.3	
MAR	0.143	53.0	43.8	17610.4	2533.4	2978.9	5502.3	
ABR	0.103	6.2	0.0	1048.9	107.7	2848.9	2966.6	
MAY	0.063	5.0	5.8	1990.2	124.4	3755.0	3879.4	
JUN	0.075	151.2	162.5	57642.9	4345.7	4661.1	9006.8	
JUL	0.154	253.6	189.0	76263.0	11764.9	5567.2	17332.1	
AGO	0.221	161.8	222.0	71169.9	15760.6	6473.3	22333.9	
SEP	0.245	81.1	126.8	38734.3	9494.2	7379.5	16873.7	
OCT	0.246	31.3	9.2	7113.8	1751.2	8285.6	10036.8	
NOV	0.163	12.2	2.0	2460.1	401.7	9191.7	9593.4	
DIC	0.211	0.0	0.0	0.0	0.0	6064.3	6064.3	111812.3
1989								
ENE	0.149	2.0	0.0	338.6	50.3	4929.6	4979.9	
FEB	0.151	0.0	0.0	0.0	0.0	3214.5	3214.5	
MAR	0.143	0.0	0.0	0.0	0.0	2978.9	2978.9	
ABR	0.103	0.0	0.0	0.0	0.0	2848.9	2848.9	
MAY	0.063	56.1	27.9	15000.2	937.7	3755.0	4692.7	
JUN	0.075	116.3	104.3	40257.8	3035.0	4661.1	7696.1	
JUL	0.154	183.0	131.6	56934.4	8783.2	5567.2	14350.4	
AGO	0.221	124.3	24509.5	5427.6	6473.3	6473.3	11900.9	
SEP	0.245	110.9	21867.3	5359.9	7379.5	7379.5	12739.4	
OCT	0.246	36.7	35.2	13154.8	3238.2	8285.6	11623.8	
NOV	0.163	3.6	14.0	3370.1	550.3	9191.7	9742.0	
DIC	0.211	37.9	25.0	11346.7	2395.6	6064.3	8459.9	95127.4
1990								
ENE	0.149	28.6	6.8	6183.4	919.0	4929.6	5848.6	
FEB	0.151	11.5	14.0	4707.7	709.9	3214.5	3924.4	
MAR	0.143	15.7	0.0	2658.3	380.9	2978.9	3359.8	
ABR	0.103	25.9	12.0	6751.5	692.5	2848.9	3541.4	
MAY	0.063	105.6	70.9	31860.3	1991.6	3755.0	5746.6	
JUN	0.075	125.0	172.9	55257.4	4165.8	4661.1	8826.9	
JUL	0.154	263.9	227.2	89482.8	13804.3	5567.2	19371.3	
AGO	0.221	323.0	102.8	74960.5	16600.0	6473.3	23073.3	
SEP	0.245	188.4	123.7	56291.1	13797.6	7379.5	21177.1	
OCT	0.246	11.0	11.0	2169.0	533.9	8285.6	8819.5	

Tabla IV.3.2 ESTACION ZITACUARO								
GENERACION DE VOLUMENES CON EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (miles de m ³)								
ANO	COEF MENSUAL	PALIZADA LL(mm)	TUXPAN LL(mm)	VII (miles de m ³)	Venc (miles de m ³)	Vbase (miles de m ³)	Vmensual (miles de m ³)	Vanual
NOV	0.163		26.0	5126.7	837.1	9191.7	10028.8	
DIC	0.211			0.0	0.0	6064.3	6064.3	119782.4
1991								
ENE	0.149	0.0	0.0	0.0	0.0	4929.6	4929.6	
FEB	0.151	22.0	0.0	3725.0	561.8	3214.5	3776.3	
MAR	0.143	10.0	0.0	1693.2	242.6	2978.9	3221.5	
ABR	0.103	0.0	0.0	0.0	0.0	2848.9	2848.9	
MAY	0.063	47.1	8.0	9552.4	597.1	3755.0	4352.1	
JUN	0.075	133.2	148.3	51795.2	3904.8	4661.1	8565.9	
JUL	0.154	294.3	166.8	82720.5	12761.1	5567.2	18328.3	
AGO	0.221	162.2	112.7	49688.9	11003.0	6473.3	17476.3	
SEP	0.245	137.2	104.7	43875.5	10754.4	7379.5	18133.9	
OCT	0.246	64.4		10904.2	2684.2	8285.6	10969.8	
NOV	0.163	22.6	23.0	8361.8	1365.3	9191.7	10557.0	
DIC	0.211	8.5	10.5	3509.6	741.0	6064.3	6805.3	109964.9
1992								
ENE	0.149	159.4	232.0	72735.4	10910.4	4929.6	15740.0	
FEB	0.151	33.6	62.0	17914.3	2701.6	3214.5	5916.1	
MAR	0.143	0.0	0.0	0.0	0.0	2978.9	2978.9	
ABR	0.103	15.6	23.0	7176.5	736.1	2848.9	3585.0	
MAY	0.063	133.1	97.0	41663.0	2604.3	3755.0	6359.3	
JUN	0.075	74.7	43.0	21126.9	1592.8	4661.1	6253.9	
JUL	0.154	217.2	211.5	78479.9	12106.9	5567.2	17674.1	
AGO	0.221	206.9	161.0	66778.3	14788.1	6473.3	21261.4	
SEP	0.245	169.1	165.5	61265.3	15016.8	7379.5	22396.3	
OCT	0.246	105.5	82.0	34032.0	8377.4	8285.6	16663.0	
NOV	0.163	43.1	170.0	40818.3	6665.0	9191.7	15856.7	
DIC	0.211	10.5	5.0	2763.8	583.5	6064.3	6647.8	141332.5
1993								
ENE	0.149	8.5	12.0	3805.4	565.6	4929.6	5495.2	
FEB	0.151	1.0	0.0	169.3	25.5	3214.5	3240.0	
MAR	0.143	0.0	0.0	0.0	0.0	2978.9	2978.9	
ABR	0.103	9.0	0.0	1523.9	156.3	2848.9	3005.2	
MAY	0.063	4.0	0.0	677.3	42.3	3755.0	3797.3	
JUN	0.075	182.0	209.0	72026.9	5430.1	4661.1	10091.2	
JUL	0.154	279.1	147.5	76341.3	11777.0	5567.2	17344.2	
AGO	0.221	204.5	151.0	64400.1	14261.4	6473.3	20734.7	
SEP	0.245	172.8	94.5	47892.0	11738.9	7379.5	19118.4	
OCT	0.246	54.0	51.5	19298.1	4750.5	8285.6	13036.1	
NOV	0.163	185.0	8.5	33000.2	5388.4	9191.7	14580.1	
DIC	0.211	0.0	0.0	0.0	0.0	6064.3	6064.3	119485.6
1994								
ENE	0.149	17.0	6.5	4160.1	618.3	4929.6	5547.9	
FEB	0.151	2.0	0.0	338.6	51.1	3214.5	3265.6	
MAR	0.143	0.0	0.0	0.0	0.0	2978.9	2978.9	
ABR	0.103	9.5	13.0	4171.9	427.9	2848.9	3276.8	
MAY	0.063	75.0	23.0	17234.1	1077.3	3755.0	4832.3	
JUN	0.075	231.4	219.0	82363.1	6209.3	4661.1	10870.4	
JUL	0.154		134.0	26422.1	4076.1	5567.2	9643.3	
AGO	0.221		141.0	27802.4	6156.9	6473.3	12630.2	
SEP	0.245		112.0	22084.2	5413.1	7379.5	12792.6	
OCT	0.246	66.0	64.0	23794.6	5857.4	8285.6	14143.0	
NOV	0.163	1.5	24.0	4986.3	814.2	9191.7	10005.9	
DIC	0.211	2.0	0.0	338.6	71.5	6064.3	6135.8	96122.6

Tabla IV.4.1 CALCULO DE CORRELACION Y REGRESION LINEAL, LOGARITMICA Y EXPONENCIAL EN EPOCA DE ESTIAJE.

ESTACION HIDROMETRICA ZITACUARO (Volumen mensual en m³)

	Rio Grande	Zitacuaro	lineal	log	exp	log	log	log	exp	exp	exp	lineal	y'	y'	y'	LINEAL	LOG	EXP
	x	y	y'	y'	y'	y ² log	y ² x	xy	y ² log	y ² x	xy	xy	y'	y'	y'	(y-ym) ²	(y-y') ²	(y-y') ²
ENE 1943	6852	3696	4184.281	4586.009	3663.080	3.836	14.713	14177.181	8.215	67.486	56795	25324292	46949904	13660416	1270118	238428.487	792116.748	1083.711
FEB	3745	2351	2466.285	1276.126	2742.175	3.573	12.770	8401.185	7.763	60.258	25071	8804495	14025025	5527201	6110759	18302.723	1135353.487	153017.736
MAR	4195	2368	2732.217	1897.822	2859.619	3.623	13.124	8651.084	7.778	60.501	32630	10017660	17599025	5920544	5929200	118485.110	242724.515	222474.840
ABR	4221	2215	2748.426	1993.474	2866.557	3.625	13.144	8030.295	7.703	59.336	32514	9349615	17816461	4906295	6801638	282413.485	80273.433	424526.194
NOV	6384	5500	3929.525	4193.404	3506.750	3.805	14.478	20528.011	8.613	74.175	54832	35112000	40705566	30250500	488336	248533.276	1694153.385	3973045.274
DIC	5198	3954	3230.365	3072.383	3139.809	3.716	13.807	14692.417	8.282	68.609	43052	20552892	27019204	15634116	765152	453783.696	777248.196	662907.407
ENE 1950	5608	3664	3504.434	3488.329	3262.101	3.749	14.054	13735.633	8.206	67.344	45021	20547112	31449624	13424865	13432669	25491.793	30856.647	161523.151
FEB	4262	2492	2761.833	1984.636	2877.531	3.630	13.174	9044.697	7.821	61.168	33332	10629094	18164544	6210954	5433537	76636.394	257418.683	140633.886
MAR	5007	2937	3175.992	2867.271	3044.415	3.700	13.687	10585.659	7.985	63.793	39992	14725559	25070049	8625269	3586977	57112.428	4892.118	12731.059
ABR	4424	3278	2857.287	2189.028	2921.303	3.646	13.292	11650.882	8.095	65.529	35812	14501872	16571476	10745284	2387009	176291.811	1168599.102	127232.423
NOV	9132	3384	5430.332	6159.780	4530.291	3.951	15.688	13432.555	8.127	68.045	74714	30902898	83393424	11451456	2070706	4187475.440	7734953.875	1313983.246
DIC	6212	2766	3834.526	4048.765	3450.947	3.793	14.389	10605.675	7.936	62.979	49238	17388752	38584844	1817816	4108709	1078535.395	156420.527	429008.406
ENE 1954	5117	1381	3236.098	2986.334	3116.197	3.709	13.757	5122.150	7.231	52.281	35229	7026577	26183639	1937161	11843729	3441358.652	2577098.458	3010906.937
FEB	4018	927	2835.485	1661.633	2812.836	3.694	12.989	3340.817	8.832	49.079	27451	3724836	18144324	8549232	15178777	2918919.446	536886.211	356637.494
MAR	4256	951	2765.554	1976.617	2875.922	3.629	13.170	3451.181	8.658	47.025	29182	4747456	18113520	904401	14992345	3326265.193	1052505.762	3709338.080
ABR	3884	733	2582.252	1475.797	2777.529	3.589	12.883	2946.206	6.676	44.567	25923	3080012	15654568	628449	16248459	3190253.787	488212.419	393938.529
NOV	12392	8331	7211.952	7832.292	6138.607	4.093	16.754	24345.550	9.035	81.630	111581	107981272	153581664	70402881	12730600	1320154.339	312155.181	5073272.740
DIC	7369	5271	4405.197	4982.319	3342.818	3.687	14.955	20384.178	8.570	73.454	63126	38829186	54257156	27282441	200702	645318.039	83338.955	203703.412
ENE 1985	6154	4353	3802.828	3997.370	3432.384	3.789	14.258	16494.209	8.879	70.201	51682	28789362	37817216	18343959	200395	322689.197	126427.694	1048533.256
FEB	3203	3630	2190.080	419.596	2607.105	3.506	12.289	12725.172	8.197	67.191	26255	11826495	10297209	13176300	1452327	3073370.720	15306896.344	1048314.726
MAR	4428	3749	2859.653	2193.580	2922.393	3.640	13.292	13869.632	8.289	67.720	38459	16609572	19607184	14055201	1153465	379115.457	2418087.378	683279.711
ABR	8196	3307	3826.791	4034.635	3445.845	3.792	14.330	12540.512	8.104	65.672	52011	20440172	36320416	10982452	22923421	299134.154	534583.083	19279.405
NOV	12776	24375	7421.811	7929.492	6362.264	4.106	16.867	19093.376	10.101	102.032	125054	21145900	183210216	51445262	35228051	2674102.716	269157278.750	32448654.184
DIC	7718	1313	4656.495	5236.654	3970.229	3.837	15.112	75077.205	9.869	87.368	76145	145619159	52637550	372991929	20396248	74813716.974	159145150.328	235420617.752
ENE 1996	4521	2910.379	2307.852	2947.831	3.655													
FEB	3387	2290.091	724.009	2651.849	3.530													
MAR	6079	3761.849	3930.183	3408.477	3.784													
ABR	5569	3483.120	3450.104	3250.266	3.746													
NOV	12767	7416.833	7695.631	6356.930	4.106													
DIC	7097	4318.168	4778.490	3477.680	3.851													
ENE 1994	7189	4368.465	4349.058	3779.950	3.857													
FEB	4775	3043.192	2507.338	3018.442	3.679													
MAR	4660	2680.343	2473.771	2985.296	3.668													
ABR	4834	3281.436	2674.620	3053.685	3.684													
NOV	13979	6979.292	8492.522	7117.072	4.145													
DIC	8043	4935.184	5484.060	4093.082	3.905													

SUMAS	1588093	954593	954593.000	664593.000	917545.919	763.211	2949.351	375762.151	1646.385	13751.515	13592955.875	8573544834.024	16789112170.000	6855969797.000	206023302.695	840176945.211	654493868.883	1644273911.135
-------	---------	--------	------------	------------	------------	---------	----------	------------	----------	-----------	--------------	----------------	-----------------	----------------	---------------	---------------	---------------	----------------

	LINEAL	LOG	EXP
n	138	138	138
r	0.768	0.764	0.753
m	0.547	12915.541	0.000
b	436.611	-43304.902	1934.291
ym	4822.995		
z	0.590	0.583	0.567
rs	0.768	0.754	0.753

No de datos
 Coeficiente de correlacion
 Pendiente
 Ordenada al origen
 Medida
 Coeficiente de determinacion

Tabla IV.4.2 RESUMEN DE DE VOLUMENES MENSUALES				
(miles m ³)				
ZITACUARO (Estiaje)				
MES/AÑO	RIO GRANDE X	LINEAL		EXP
		Yc	LOG	Yc
ENE 1986	4521	2910.379	2307.859	2947.831
FEB	3386	2290.091	724.009	2651.949
MAR	6079	3761.840	3930.188	3408.477
ABR	5569	3483.120	3450.104	3250.266
NOV	12767	7416.893	7995.631	6356.930
DIC	7097	4318.186	4778.490	3747.680
ENE 1987	4383	2834.960	2138.016	2910.163
FEB	5139	3248.121	3009.840	3122.592
MAR	4892	3113.134	2739.966	3051.535
ABR	6877	4197.954	4605.963	3671.625
NOV	5973	3703.910	3833.810	3374.972
DIC	3864	2551.322	1447.512	2772.755
ENE 1988	4268	2772.112	1992.343	2879.140
FEB	4461	2877.588	2234.660	2931.394
MAR	6215	3836.165	4051.410	3451.952
ABR	4818	3072.692	2656.455	3030.563
NOV	6414	3944.920	4224.090	3516.568
DIC	3556	2382.997	992.402	2694.298
ENE 1989	5367	3372.725	3247.680	3189.651
FEB	4602	2954.646	2405.152	2970.168
MAR	5063	3206.587	2928.208	3100.554
ABR	5438	3411.527	3319.685	3210.827
NOV	6504	3994.106	4300.434	3546.187
DIC	6879	4199.047	4607.556	3672.309
ENE 1990	3263	2222.870	521.279	2621.724
FEB	3334	2261.672	639.215	2639.128
MAR	4713	3015.308	2535.733	3001.052
ABR	5201	3282.005	3075.544	3140.687
NOV	18550	10577.355	10042.566	10896.374
DIC	10815	6350.107	7086.525	5299.600
ENE 1991	6090	3767.851	3340.093	3411.973
FEB	5151	3254.679	3022.818	3126.086
MAR	5922	3676.038	3786.828	3358.959
ABR	5575	3486.399	3456.004	3252.084
NOV	14004	8092.925	8502.312	7133.673
DIC	8944	5327.588	6045.810	4451.610
ENE 1992	21894	12404.882	10950.648	14881.594
FEB	31173	17475.940	12886.546	35334.865
MAR	5585	3491.864	3465.823	3255.116
ABR	5198	3280.365	3072.383	3139.809
NOV	24597	13882.096	11588.452	19144.738
DIC	11975	6984.058	7644.750	5904.626
ENE 1993	8485	5076.741	5757.167	4265.203
FEB	5946	3689.154	3808.987	3366.491
MAR	5512	3451.969	3393.738	3233.046
ABR	5890	3658.550	3757.142	3348.967
NOV	13428	7778.135	8272.195	6760.837
DIC	7383	4474.488	4994.949	3848.911
ENE 1994	7189	4368.465	4849.058	3779.950
FEB	4775	3049.192	2607.338	3018.442
MAR	4660	2986.343	2473.771	2986.266
ABR	4834	3081.436	2674.620	3035.085
NOV	13979	8079.262	8492.522	7117.072
DIC	8043	4835.184	5464.060	4093.082

Tabla IV.3 CALCULO DE CORRELACION Y REGRESION LINEAL LOGARITMICA Y EXPONENCIAL EN EPOCA DE LLUVIA.

ESTACION HIDROMETRICA ZITACUARO (Volumen mensual)

	Rio Grande	Zitacuaro	lineal	log	exp	log	log	log	exp	exp	lineal			LINEAL	LOG	EXP			
	x	y	y	y	y	x ² -logs	x ²	xy	y ² -lny	y ²	xy	x ²	y ²	(y-y ²)	(y-y ²)	(y-y ²)			
MAY 1949	7475	4078	7143 038	4422 217	6837 350	3 874	15 065	15796 586	8 313	69 112	62142 381	30483650	55875625	16630094	114030355	9334458 459	171575 970	7614012 963	
JUN	10646	4829	8440 366	6099 180	7531 950	4 072	16 216	19688 915	8 495	72 161	90435 035	52048294	61133316	23302321	97413763	12612215 082	10113542 856	6985342 721	
JUL	21513	9745	12868 311	15185 000	10493 365	3 823	18 722	42222 171	9 185	84 555	197586 355	209944185	463809169	94959205	25138597	9687374 306	29630956 991	569505 721	
AGO	23575	12157	13729 823	16101 844	11174 836	4 372	19 116	53155 656	9 406	88 466	221738 444	266601275	555786265	147792645	6789574	257437 264	15632984 991	964645 517	
SEP	22452	13096	13683 892	16622 243	11136 372	4 370	19 400	57208 076	9 430	89 663	222410 456	307117590	550465444	117348190	2785629	352470 466	6834229 175	3816645 212	
OCT	12775	10333	9011 392	5913 253	6037 522	4 106	16 662	42431 027	9 243	85 435	116030 576	132004075	163000255	106770695	15688905	104533 815	176187 696	5269221 230	
MAY 1950	5690	5120	6442 753	1732 227	674 906	3 755	14 101	18226 175	8 541	72 947	48597 778	29132800	32378100	26714420	92907245	1671210 115	11477004 896	1835768 522	
JUN	11753	8450	6893 266	5069 825	7790 743	4 027	16 566	34433 458	9 043	81 778	106283 607	94303260	138133009	71571600	33675293	187720 767	371867 084	447305 569	
JUL	22345	15349	13431 263	15792 873	10928 672	4 359	18 999	72877 151	9 738	94 828	222463 790	387192805	521832605	237266601	4796798	12374472 526	1337651 949	36244351 974	
AGO	16738	12378	10729 186	12339 542	8933 322	4 211	17 729	52117 672	9 424	88 806	153021 651	20099364	263672644	153214884	5696407	272157 776	1479 021	11665504 912	
SEP	45454	14143	23050 255	22971 786	22420 955	4 567	21 781	69005 708	9 557	91 336	433959 720	656988322	2157974116	200024449	379260	8056333 129	77974654 904	69188368 960	
OCT	29445	11171	16131 477	16358 846	13368 848	4 469	19 972	49923 328	9 321	89 882	274459 095	326900063	867008025	124791241	12872600	2496331 173	51679602 216	4821748 142	
MAY 1944	5358	562	6792 471	1195 589	6417 079	3 732	13 926	2097 424	6 332	40 288	34164 784	3322857	29116816	315844	2615500282	32983296 026	40134 758	34281953 729	
JUN	11065	2965	8624 064	8487 045	7635 862	4 045	16 363	12009 933	7 959	63 930	88715 403	32941052	123090225	8814561	139000031	31979753 571	30445817 110	21779785 039	
JUL	40687	10143	20689 929	21606 075	18773 332	4 628	21 237	46742 899	9 225	85 092	374376 363	411673941	1647304569	132859448	21305984	111237704 585	131407090 099	74568221 856	
AGO	37384	11412	17898 468	19910 026	15352 487	4 515	20 532	51710 905	9 342	87 281	317492 826	387625438	1154912256	430223744	112121242	43266188 534	70526879 551	16527441 203	
SEP	63321	21680	30195 499	26184 534	38156 765	4 856	23 288	104711 611	9 594	93 683	637189 147	1269539265	407312041	470222429	47926246	72613229 233	20291369 337	271463774 368	
OCT	35219	17220	18493 755	20171 120	15842 065	4 547	20 673	78256 506	9 758	95 137	343520 025	696471162	124037261	29652400	66673216	1622451 352	8709001 613	1633108 497	
MAY 1945	8527	3900	6479 956	3120 418	6642 492	3 815	14 252	14877 333	8 269	63 572	59870 010	26455300	426291229	15216000	117924916	815205 363	607748 131	7520788 133	
JUN	10567	8337	8409 956	7984 291	7511 553	4 045	16 363	23544 259	9 026	81 513	95913 439	86013709	114450269	63065669	14794206	4453 117	124244 715	681362 477	
JUL	35530	22651	19030 115	20640 796	16552 726	4 563	20 816	103348 576	10 028	100 566	366321 353	827441030	1534442920	516268011	62296180	13116234 808	4453961 261	36072687 355	
AGO	41426	15697	21033 183	21913 042	19768 302	4 617	21 319	69946 426	9 888	97 777	496229 493	815967922	1719113476	387971829	24365418	1785325 245	4477635 495	165501 058	
SEP	41627	12233	21115 417	21562 003	19384 826	4 619	21 339	47628 207	9 733	95 250	384345 415	425844210	1733203129	104552900	22610397	116492311 274	135303500 021	33810882 254	
OCT	21230	21381	12770 529	15051 052	10503 172	4 327	18 722	112418 438	10 165	103 332	216205 514	551578653	473072520	675212001	125838869	174516143 287	1194933764 379	220668716 440	
MAY 1946	8524	7894 945	6170 453	7124 665	3 949														
JUN	15099	10282 194	11503 502	8628 181	4 179														
JUL	27730	15429 830	17752 836	12685 344	4 443														
AGO	27582	15329 280	17693 704	12678 185	4 441														
SEP	45026	21025 802	22332 279	20632 718	4 640														
OCT	39422	20213 300	21311 490	18123 490	4 596														
MAY 1944	8185	7423 518	5418 028	6687 094	3 913														
JUN	16327	19768 669	12401 026	6930 340	4 213														
JUL	16222	10721 640	12329 570	6708 562	4 210														
AGO	29234	16045 152	18287 100	13381 084	4 456														
SEP	55525	26938 060	24835 718	28926 851	4 747														
OCT	26413	14691 015	17293 642	12185 877	4 482														
	77584	51593	35876 263	28159893	56070 496														

SUMAS	5430616	3285920	3055030 000	30550 000	243177 360	891 032	5872 662	12676113 129	1545 419	18294 356	63693590 437	105954081448	234275613284	158874045031	114784669555	420953872	4180939172	7856371936
-------	---------	---------	-------------	-----------	------------	---------	----------	--------------	----------	-----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-----------	------------	------------

n=	297	207	207
r=	0.846	0.847	0.763
m=	0.476	23291 256	0.020
b=	4624 841	85729 093	5442 907
ym=	14759 411		
r ² =	0.715	0.717	0.582
re	0.846	0.847	0.783

No de datos

Coefficiente de correlacion

Pendiente

Ordenada al origen

y/Media

Coefficiente de determinacion

Tabla IV.4.4 RESUMEN DE VOLUMENES MENSUALES
(miles m³)
ZITACUARO (Lluvia)

MES/AÑO	RIO GRANDE	LINEAL	LOG	EXP
	X	Yc	Yc	Yc
MAY 86	8824	7694.945	6170.453	7124.665
JUN	15099	10262.194	11603.902	8628.181
JUL	27730	15429.830	17752.835	12685.344
AGO	27582	15369.280	17698.704	12628.186
SEP	43608	21925.890	22332.273	20592.719
OCT	39422	20213.300	21311.480	18123.490
MAY 87	8135	7413.059	5348.087	6876.442
JUN	16286	10739.641	12356.969	8940.958
JUL	17104	11082.486	12865.113	9172.528
AGO	30493	16562.693	18715.597	13803.727
SEP	21210	12762.347	15041.518	10396.826
OCT	10099	8216.578	7535.621	7407.309
MAY 88	4215	5809.296	-1302.967	6189.949
JUN	8117	7405.695	5325.680	6972.611
JUL	23987	13898.482	16286.093	11316.207
AGO	39691	20323.354	21380.268	18272.861
SEP	23562	13724.605	16105.265	11170.404
OCT	14958	10204.508	11508.998	8591.139
MAY 89	5760	6441.392	1855.909	6488.750
JUN	8508	7565.662	5801.566	7056.298
JUL	11477	8780.350	8829.451	7725.407
AGO	19843	12203.075	14367.624	9972.076
SEP	30608	16607.287	18751.684	13849.714
OCT	9998	8175.256	7433.949	7384.516
MAY 90	5942	6515.852	2170.578	6524.885
JUN	10939	8560.241	8343.811	7599.621
JUL	29604	16196.528	18414.320	13431.856
AGO	46426	23078.800	22965.687	22441.773
SEP	68068	31933.046	26836.270	43436.195
OCT	42717	21561.361	22123.462	20040.400
MAY 91	8346	7499.384	5607.105	7021.503
JUN	12817	9328.575	9946.454	8047.829
JUL	37398	19385.234	20778.337	17038.065
AGO	31951	17156.740	19186.054	14429.056
SEP	48376	23876.590	23381.871	23817.605
OCT	40140	20507.051	21494.054	18524.931
MAY 92	15405	10387.386	11806.851	8709.120
JUN	16193	10709.775	12311.471	8921.064
JUL	17302	11163.493	12981.537	9228.112
AGO	53719	26062.536	24441.576	28035.109
SEP	65623	30932.740	26465.243	40313.566
OCT	54638	26438.520	24513.160	28835.389
MAY 93	6996	6947.068	3823.328	6738.143
JUN	15277	10335.018	11722.452	8675.171
JUL	32247	17277.840	19279.333	14559.969
AGO	42765	21580.999	22134.822	20069.773
SEP	56210	27081.662	24900.080	30249.095
OCT	23800	13821.976	16208.927	11251.821
MAY 94	8185	7433.516	5410.068	6987.094
JUN	16337	10768.689	12401.026	8960.349
JUL	16222	10721.640	12329.570	8928.962
AGO	29234	16045.152	18287.100	13281.064
SEP	55859	28938.060	24836.718	29926.851
OCT	26413	14891.015	17260.642	12185.677

TABLA IV.5.1 OBTENCION DEL ESCURRIMIENTO PARA EL AÑO DE 86-94 METODO DE BALANCE HIDRICO EDAFOLOGICO, EN LA SUBCUENCA ZATICARUO DE LA PRESA EL BOSQUE

Area*	366.5 km ²
Latitud	15
l. Pálcada*	50.02
l. Topografía	79.44
n. Pálcadas*	1.26
n. Topografía	1.77

Año	Mes	Precipitación	Temperatura		K _a		EVAPOTRANSPIRACION		ETP	(P-ETP)	Pérd. del. Agua	HS	% HS	ETR	DH	Escurrimiento	Escurrimiento	Esc Base	Esc. Tot. M	
			Pálcadas*	Topogr.	Pálcadas*	Topogr.	K _a	EVAPOTRANSPIRACION												Topogr.
1985	May	211	13.3	19.2	4.399	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	21.762	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	193.03	70744.39		
	Jun	307.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	193.027	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	193.03	70744.39		
	Jul	205.2	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.403	9.649	9.216	196.994	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	195.98	72194.81		
	Ago	142.1	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	133.127	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	133.13	48391.04		
	Sep	81.3	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.086	8.097	7.693	73.027	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	73.61	26377.09		
	Oct	39.1	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	5.967	7.938	7.542	33.558	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	32.56	11399.57		
	Nov	27.9	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.540	7.387	7.614	20.826	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	20.89	7654.76		
	Dic	2.4	8.4	14.4	2.193	4.950	0.91	2.825	5.629	5.066	-2.666	-2.666	200.0	-29.1	10.500	-5.434	5.43	1991.62		7522.39
	Jan	0.0	8.4	14.4	2.193	4.950	0.95	2.943	5.877	5.288	-5.288	-5.288	276.0	-15.9	15.909	-10.612	10.61	3893.18		4329.50
	Feb	2.3	8.4	14.4	2.193	4.950	0.90	2.794	5.567	5.010	-2.710	-10.664	267.9	-16.9	10.400	-5.392	5.39	1975.44		3214.0
	Mar	0.0	13.3	19.2	4.399	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-8.512	-19.176	243.6	-24.3	24.300	-15.783	15.78	5785.29		2978.90
	Apr	5.9	13.3	19.2	4.399	7.668	1.05	5.868	9.384	8.677	-2.877	-22.623	240.0	-24.0	9.400	-0.723	0.72	284.86		2848.90
May	59.0	13.3	19.2	4.399	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	49.662	0.000	293.7	43.7	9.338	0.000	0.00	0.00	3755.00		3755.00
Jun	125.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	116.027	0.000	300.0	10.3	8.573	0.000	165.73	38743.94		4661.10	
Jul	126.1	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	96.304	0.000	300.0	7.2	9.216	0.000	96.84	35059.16		5567.20	
Aug	114.4	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	105.427	0.000	300.0	0.0	8.573	0.000	105.43	36838.99		6473.30	
Sep	52.1	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.086	8.097	7.693	34.427	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	74.41	27270.29		2559.69	
Oct	19.7	14.0	17.5	4.753	6.664	1.06	5.967	7.938	7.542	15.158	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	52.46	19145.97		7339.60	
Nov	12.6	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.540	7.387	7.614	15.445	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	14.63	1239.91		1239.91	
Dic	8.0	8.4	14.4	2.193	4.950	0.91	2.825	5.629	5.066	6.931	0.000	0.0	5.629	0.000	6.93	2.414	444	6064.30		1758.59
Jan	6.0	8.4	14.4	2.193	4.950	0.92	2.949	5.877	5.288	0.712	0.000	0.0	5.288	0.000	2.91	26.83	432.63	4329.63		4329.63
Feb	12.2	8.4	14.4	2.193	4.950	0.90	2.794	5.567	5.010	1.196	0.000	0.0	5.010	0.000	2.69	26.35	334.54	334.54		4371.26
Mar	7.3	13.3	19.2	4.399	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-1.212	-1.212	295.1	-3.9	11.200	-2.958	2.69	965.14	2978.90		3536.66
Apr	14.2	13.3	19.2	4.399	7.668	1.05	5.868	9.384	8.677	5.223	0.000	300.0	2.9	8.677	0.000	1.62	154.71	2848.90		3245.37
May	11.6	13.3	19.2	4.399	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	2.262	0.000	300.0	0.0	9.338	0.000	2.26	238.86	3155.00		4387.57
Jun	119.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	101.527	0.000	300.0	0.0	8.573	0.000	101.53	37099.64		4681.10	
Jul	144.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	134.784	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	134.78	49388.51		5567.20	
Aug	131.1	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	146.127	0.000	300.0	0.0	8.573	0.000	134.13	67452.54		6473.30	
Sep	154.0	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.086	8.097	7.693	130.307	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	136.31	49216.64		7379.55	
Oct	12.1	14.0	17.5	4.753	6.664	1.06	5.967	7.938	7.542	4.658	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	4.56	1670.57		6285.60	
Nov	29.3	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.540	7.387	7.614	21.265	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	21.29	7801.36		9191.72	
Dic	1.2	8.4	14.4	2.193	4.950	0.91	2.825	5.629	5.066	-3.666	-3.666	298.0	-12.0	11.200	-8.134	8.13	2681.74		6064.30	
Jan	8.4	8.4	14.4	2.193	4.950	0.95	2.949	5.877	5.288	-3.588	-7.754	219.9	-11.0	10.300	-7.212	7.21	2942.08		4929.69	
Feb	0.0	8.4	14.4	2.193	4.950	0.96	2.794	5.567	5.010	-6.010	-12.714	244.4	-12.9	12.900	-1.529	7.89	2591.69		3214.50	
Mar	4.7	13.3	19.2	4.399	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-0.723	-0.723	269.0	-2.9	8.512	0.000	1.69	438.39		2578.90	
Apr	11.6	13.3	19.2	4.399	7.668	1.05	5.868	9.384	8.677	4.477	0.000	300.0	0.0	8.677	0.000	1.59	5525.81		2848.90	
May	5.6	13.3	19.2	4.399	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	-3.738	-11.216	265.1	-14.4	10.000	-7.623	7.62	2307.86		3155.00	
Jun	153.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	144.027	0.000	300.0	3.9	8.573	0.000	110.13	40361.54		4661.10	
Jul	131.6	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	122.544	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	132.58	66317.21		5567.20	
Aug	193.4	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	154.427	0.000	300.0	0.0	8.573	0.000	154.43	67929.49		6473.30	
Sep	137.2	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.086	8.097	7.693	129.507	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	129.51	47464.44		7379.55	
Oct	13.6	14.0	17.5	4.753	6.664	1.06	5.967	7.938	7.542	6.058	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	6.06	2200.32		8205.60	
Nov	2.5	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.540	7.387	7.614	-4.144	-4.144	286.5	-13.4	16.000	-8.988	8.99	3203.41		9191.72	
Dic	1.6	8.4	14.4	2.193	4.950	0.91	2.825	5.629	5.066	-3.459	-7.359	276.0	-15.9	12.100	-7.034	7.03	2578.09		6064.30	
Jan	8.4	8.4	14.4	2.193	4.950	0.96	2.949	5.877	5.288	4.891	-12.358	284.0	-12.9	12.900	-7.112	7.11	2636.43		4329.62	
Feb	0.0	8.4	14.4	2.193	4.950	0.96	2.794	5.567	5.010	-5.010	-17.878	243.0	-15.0	15.000	-9.920	9.99	3551.34		3214.50	
Mar	0.0	13.3	19.2	4.399	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-3.322	-20.392	229.9	-13.9	19.500	-10.938	10.92	4227.69		2978.90	
Apr	0.9	13.3	19.2	4.399	7.668	1.05	5.868	9.384	8.677	-7.777	-34.167	210.9	-19.9	20.400	-11.721	11.72	4396.36		2848.90	
May	25.3	13.3	19.2	4.399	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	-19.923	-59.956	229.0	-19.9	9.338	0.000	0.69	0.00	3755.00		3755.00
Jun	125.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	99.927	0.000	300.0	1.9	8.573	0.000	152.0	6330.19		4661.10	
Jul	143.9	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	132.544	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	132.59	46329.21		5567.20	
Aug	54.1	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.326	8.573	85.107	0.000	300.0	0.0	8.573	0.000	85.11	31999.64		6473.30	
Sep	91.8	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.086	8.097	7.693	86.107	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	86.11	31598.34		7379.55	
Oct	35.3	14.0	17.5	4.753	6.664	1.06	5.967	7.938	7.542	27.788	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	27.76	10173.37		8286.60	

TABLA IV.5.1 OBTENCION DEL ESCURRIMIENTO PARA EL AÑO DE 86-94 METODO DE BALANCE HIDRICO EDAFOLOGICO, EN LA SUBCUENCA ZITACUARO DE LA PRESA EL BOSQUE

Area:	366.5 km ²
Lakxyl	19
Poluagan	50.09
Tuagan	78.41
a Poluagan	1.28
a Tuagan	1.72

Año	Mes	Precipitación	Temperatura	I	Ka	EVAPOTRANSPIRACION	ETP	(P-ETP)	Red. del Acum.	HS	inc HS	ETR	D.H	Escurremto	Escurremto	Esc Base	Esc Total			
1991	Jan	136.7	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.096	8.097	7.693	129.07	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	129.01	47.811.93	1379.70	36900.29
	Feb	82.7	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	5.967	7.938	7.542	175.66	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	75.16	27.545.47	828.50	26649.25
	Mar	8.8	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.549	7.382	7.014	176.68	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	1.75	6.641.61	9191.70	9628.11
	Apr	20.2	8.4	14.4	2.193	4.960	0.91	2.825	5.629	5.668	15.734	0.000	300.0	0.0	5.668	0.000	15.73	5.765.64	6064.30	9998.73
	May	37.0	8.4	14.4	2.193	4.960	0.95	2.949	5.877	5.283	26.712	0.000	300.0	0.0	5.283	0.000	26.71	9.193.83	4929.60	11456.16
	Jun	6.8	8.4	14.4	2.193	4.960	0.90	2.794	5.567	5.010	1.790	0.000	300.0	0.0	5.010	0.000	1.75	5.561.04	3214.50	3851.86
	Jul	0.0	13.3	19.2	4.339	7.668	1.03	5.796	9.205	8.512	-8.512	-8.512	274.5	-24.5	25.500	-16.988	16.99	62.781.05	2978.90	7129.62
	Abr	3.1	13.3	19.2	4.339	7.668	1.05	5.658	9.384	8.677	-5.577	-14.069	261.8	-11.5	16.600	-7.923	7.92	2233.66	2848.90	4784.87
	May	10.5	13.3	19.2	4.339	7.668	1.13	6.315	10.939	9.338	-22.22	-22.22	9.338	0.000	9.338	0.000	0.00	0.000	0.00	3755.00
	Jun	125.3	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	83.327	0.000	300.0	16.3	8.973	0.000	75.35	2547.14	4661.10	2335.02
	Jul	320.1	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.645	9.216	188.684	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	193.86	7239.16	5667.70	54181.31
	Ago	131.6	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	122.627	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	122.63	4442.79	6473.30	38435.16
	Sep	117.6	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.066	8.097	7.693	102.907	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	109.91	40281.84	7379.50	34233.93
	Oct	21.3	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	5.967	7.938	7.542	115.658	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	116.65	4395.75	8285.60	11622.75
	Nov	27.0	14.0	17.5	4.753	6.664	0.99	5.549	7.382	7.014	19.956	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	19.95	7324.51	9191.70	14074.97
	Dic	10.5	8.4	14.4	2.193	4.960	0.91	2.825	5.629	5.668	5.434	0.000	300.0	0.0	5.668	0.000	5.43	1931.69	6064.30	7382.99
1992	Jan	209.6	8.4	14.4	2.193	4.960	0.95	2.949	5.877	5.283	145.312	0.000	300.0	0.0	5.283	0.000	195.31	71581.73	4999.63	52650.76
	Feb	73.1	8.4	14.4	2.193	4.960	0.96	2.794	5.567	5.010	68.990	0.000	300.0	0.0	5.010	0.000	63.09	24354.99	3214.50	19851.18
	Mar	0.0	13.3	19.2	4.339	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-8.512	-8.512	274.5	-24.5	25.500	-16.988	16.99	62.781.05	2978.90	7129.62
	Abr	21.5	13.3	19.2	4.339	7.668	1.05	5.658	9.384	8.677	-12.823	-12.823	287.3	-12.9	8.500	-7.002	0.22	8.31	2848.90	2854.44
	May	59.5	13.3	19.2	4.339	7.668	1.13	6.315	10.095	9.338	56.162	0.000	300.0	17.7	9.338	0.000	73.45	26243.66	4765.10	21704.10
	Jun	54.2	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	49.227	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	49.23	1841.69	4661.10	16688.90
	Jul	212.6	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.645	9.216	203.334	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	203.38	7404.41	5667.20	52651.87
	Ago	172.2	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	91.227	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	91.23	5939.69	6473.30	43888.43
	Sep	166.2	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	6.066	8.097	7.693	158.507	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	158.51	5639.94	7379.50	49108.10
	Oct	89.7	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	5.967	7.938	7.542	79.158	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	79.16	29111.47	8285.60	27625.69
	Nov	27.2	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.549	7.382	7.014	15.156	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	15.19	5335.71	9191.70	12921.17
	Dic	6.4	8.4	14.4	2.193	4.960	0.91	2.825	5.629	5.668	1.534	0.000	300.0	0.0	5.668	0.000	1.63	379.59	6064.30	6317.23
1993	Jan	111.3	8.4	14.4	2.193	4.960	0.95	2.949	5.877	5.283	6.012	0.000	300.0	0.0	5.283	0.000	6.01	2203.29	4929.60	6338.48
	Feb	0.2	8.4	14.4	2.193	4.960	0.96	2.794	5.567	5.010	-4.810	-4.810	255.9	-4.4	14.300	-3.293	9.23	3404.75	3214.50	5454.26
	Mar	0.0	13.3	19.2	4.339	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-8.512	-13.322	261.9	-24.4	24.000	-15.453	15.45	5578.24	2978.90	8763.12
	Abr	1.8	13.3	19.2	4.339	7.668	1.05	5.629	9.384	8.677	-6.877	-20.199	243.0	-19.3	20.700	-12.223	12.02	4456.31	2848.90	5795.47
	May	0.8	13.3	19.2	4.339	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	-8.538	-8.538	299.33	-22.9	29.000	-11.562	11.56	4237.31	3214.50	6051.81
	Jun	194.8	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	153.827	0.000	300.0	17.1	8.973	0.000	153.73	39348.44	4661.10	31226.73
	Jul	166.0	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	158.784	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	158.78	57461.51	5667.20	42674.87
	Ago	178.5	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	193.527	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	193.53	62121.64	6473.30	47894.45
	Sep	110.2	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.066	8.097	7.693	102.507	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	102.51	37588.94	7379.50	32426.46
	Oct	52.0	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	5.967	7.933	7.542	44.458	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	44.46	16293.92	8285.60	19148.28
	Nov	10.5	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.549	7.382	7.014	4.498	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	3.48	1277.66	9191.70	10043.47
	Dic	0.0	8.4	14.4	2.193	4.960	0.91	2.825	5.629	5.668	-5.068	-5.068	293.0	-15.0	15.500	-9.934	9.93	3649.94	6064.30	8491.59
1994	Jan	8.6	8.4	14.4	2.193	4.960	0.95	2.949	5.877	5.283	3.312	0.000	283.3	3.1	9.195	0.000	0.01	4.28	4929.60	4932.45
	Feb	0.4	8.4	14.4	2.193	4.960	0.96	2.794	5.567	5.010	-4.810	-4.810	299.0	-1.9	2.000	-3.810	0.00	0.00	0.00	3744.50
	Mar	0.9	13.3	19.2	4.339	7.668	1.03	5.756	9.205	8.512	-13.123	-13.123	294.0	-21.4	22.500	-10.359	13.99	5125.99	2978.90	6306.62
	Abr	12.3	13.3	19.2	4.339	7.668	1.05	5.658	9.384	8.677	-9.223	-9.223	261.6	-7.5	8.677	-0.000	0.00	9.31	2848.90	2854.44
	May	33.5	13.3	19.2	4.339	7.668	1.13	6.315	10.099	9.338	24.165	0.000	291.6	24.2	9.338	0.000	0.00	0.000	0.00	3755.00
	Jun	221.5	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	212.527	0.000	300.0	8.3	8.973	0.000	204.33	74235.84	4661.10	54885.00
	Jul	104.7	15.1	18.4	5.330	7.189	1.14	7.493	9.649	9.216	95.484	0.000	300.0	0.0	9.216	0.000	95.48	34035.06	5667.20	29927.24
	Ago	92.7	15.1	18.4	5.330	7.189	1.11	7.296	9.395	8.973	83.727	0.000	300.0	0.0	8.973	0.000	83.73	32359.94	6473.30	26930.80
	Sep	110.3	14.0	17.5	4.753	6.664	1.02	6.066	8.097	7.693	102.607	0.000	300.0	0.0	7.693	0.000	102.61	37635.99	7379.50	32449.89
	Oct	62.0	14.0	17.5	4.753	6.664	1.00	5.967	7.938	7.542	55.453	0.000	300.0	0.0	7.542	0.000	55.45	21434.92	8285.60	22568.88
	Nov	19.5	14.0	17.5	4.753	6.664	0.93	5.549	7.382	7.014	12.436	0.000	300.0	0.0	7.014	0.000	12.43	4575.16	9191.70	12242.47
	Dic	0.4	8.4	14.4	2.193	4.960	0.91	2.825	5.629	5.668	-4.866	-4.866	300.0	0.0	0.400	-4.866	0.00	0.00	6064.30	6064.30

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En vista de los resultados del presente estudio se concluye lo siguiente:

Debido a la importancia que tienen los datos hidrométricos en el diseño de las estructuras hidráulicas, es necesario que estos datos sean continuos. En este trabajo se describieron y analizaron cuatro métodos para modelar el fenómeno de transformación de lluvia en escurrimiento en una cuenca dada, donde por diversas causas no fueron aforadas en un período de tiempo.

De los resultados obtenidos de generación de escurrimientos a partir de la metodología propuesta en el capítulo dos y reforzada con la teoría del capítulo uno, para las cuencas delimitadas por las estaciones hidrométricas La Comunidad y Zitácuaro podemos concluir lo siguiente; los resultados obtenidos con el método de coeficientes de escurrimiento son muy similares a los escurrimientos aforados, salvo algunas avenidas extraordinarias. Esta similitud se debe principalmente a que los escurrimientos en el período de 1986 a 1994, fueron calculados con coeficientes obtenidos con escurrimientos y registros de precipitación históricos medios simultáneamente.

Este método fue el que mejores resultados presentó, por tal motivo es el más recomendable para la obtención de gastos y por consiguiente de volúmenes faltantes, en estas cuencas.

Con el método de correlación y regresión lineal, logarítmica y exponencial, los resultados se dan a partir de datos de cuencas vecinas (hidrométricos y pluviométricos), sin tomar en cuenta explícitamente las características físicas de la cuenca en estudio. Los gastos generados para la cuenca La Comunidad quedaron del orden de los históricos. Mientras que los volúmenes obtenidos para la estación Zitácuaro son un poco mas grandes con respecto a los históricos. El criterio para determinar cual de las tres correlaciones y regresiones era la mejor, fue aquella cuyo coeficiente de correlación fuera mas cercano a la unidad. En el caso de la estación La Comunidad la mejor correlación y regresión fue la logarítmica con $r=0.838$ y $r=0.710$ en época de estiaje y lluvia respectivamente. Mientras que en el caso de la estación Zitácuaro en época de estiaje la correlación y regresión con mejores resultados presentó fue la lineal con $r=0.768$ y en época de lluvia fue la logarítmica con $r=0.847$.

Cuando en una cuenca cualquiera no se cuenta con información hidrométrica en un cierto período de tiempo, este método es recomendable utilizarlo, siempre y cuando los datos a correlacionar sean de una cuenca cercana a la de análisis.

El método del US Soil Conservation Service y el método Balance Hídrico Edafológico se desarrollan a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la hidráulica, pretender simular el proceso de escurrimiento en toda la cuenca, estos métodos son los mas completos, ya que ofrecen un conocimiento detallado del proceso de precipitación-escurrimiento, sin embargo su aplicación se restringe a cuencas donde se disponen de una amplia información de características topográficas geológicas, usos del suelo, condición de la superficie del suelo etc., y se conoce con precisión la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo. Cuando no se tiene la información necesaria, no es recomendable aplicar estos métodos.

En estos dos métodos los gastos generados son mayores con respecto a los históricos, esta variación se debe por las suposiciones que se hicieron en cuanto al uso y tipos de suelos en las dos cuencas de análisis, pues la información referente a este parámetro se encuentra en forma muy general en cartas elaboradas, por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) además dicha información no esta actualizada, tomando en cuenta que en la actualidad las condiciones geomorfológicas no son las mismas a las presentadas en las cartas editadas hace mas de 15 años, debido a la erosión en las cuencas. Por tal motivo no es recomendable utilizar el método si no se tiene la información mas detallada de la zona en estudio.

Es recomendable la rehabilitación de las dos estaciones en estudio, así como de algunas que pertenecen a las cuencas del Sistema Cutzamala, esto con el objetivo de contar con información veraz y continua, así también, paralelamente se debe sistematizar la obtención de la información de lluvia en la red de estaciones pluviométricas.

Sin embargo la solución no es solo la rehabilitación, si no que se debe tomar en cuenta también la conservación y mantenimiento de las estructuras de aforo existentes, y de los instrumentos de medición tanto hidrométricos como pluviométricos.

Por tal motivo sería ideal contar con sistemas de información hidrológica que proporcione bancos de datos continuos y de mayor calidad, pues los actuales son muy limitados. Al contar con estos datos que son una gran herramienta para la obtención de escurrimientos, se podrán realizar proyecciones de avenidas mas confiables y por lo tanto mejores diseños de las obras hidráulicas.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- CAMPOS Aranda, Daniel F, "**Procesos del ciclo Hidrológico**" volumen 1. Tomo 1/2. Primera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México 1987.
- 2.- CAMPOS Aranda, Daniel F, "**Procesos del ciclo Hidrológico**" volumen 1. Tomo 2/2. Primera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México 1987.
- 3.- APARICIO Mijares, Francisco J. "**Fundamentos de Hidrología de superficie**" Segunda reimpresión. Limusa, México D,F 1993.
- 4.- BEDIENT B Philip, "**Hydrology and Floodplain Analysis**" Second edition, Rice University, Addison-Wesley Publishing Company,. United States of America, June 1992.
- 5.- LINSLEY Ray K. "**Hidrología para Ingenieros**" McGraw-Hill book company, Madrid, España 1980.
- 6.- DOMÍNGUEZ Mora Ramón, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigación Eléctricas, Manual de Diseño de Obras Civiles, "**A.1.2 Precipitación**" México D,F 1982.
- 7.- DOMÍNGUEZ Mora Ramón, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigación Eléctricas, Manual de Diseño de Obras Civiles, "**A.1.3 Escurrimientos**" México D,F 1982.
- 8.- FUENTES M. Oscar, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigación Eléctricas, Manual de Diseño de Obras Civiles, "**A.1.5 Relación entre precipitación y escurrimiento**" México D,F 1982.
- 9.- BEREZOWSKY Verduzco Moises, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigación Eléctricas, Manual de Diseño de Obras Civiles, "**A.2.9 Escurrimiento a superficie libre**" México D,F 1982.
- 10.- Comisión Nacional del Agua (CNA), "**Instructivo para aforo de corrientes**" séptima edición México D.F 1993.

