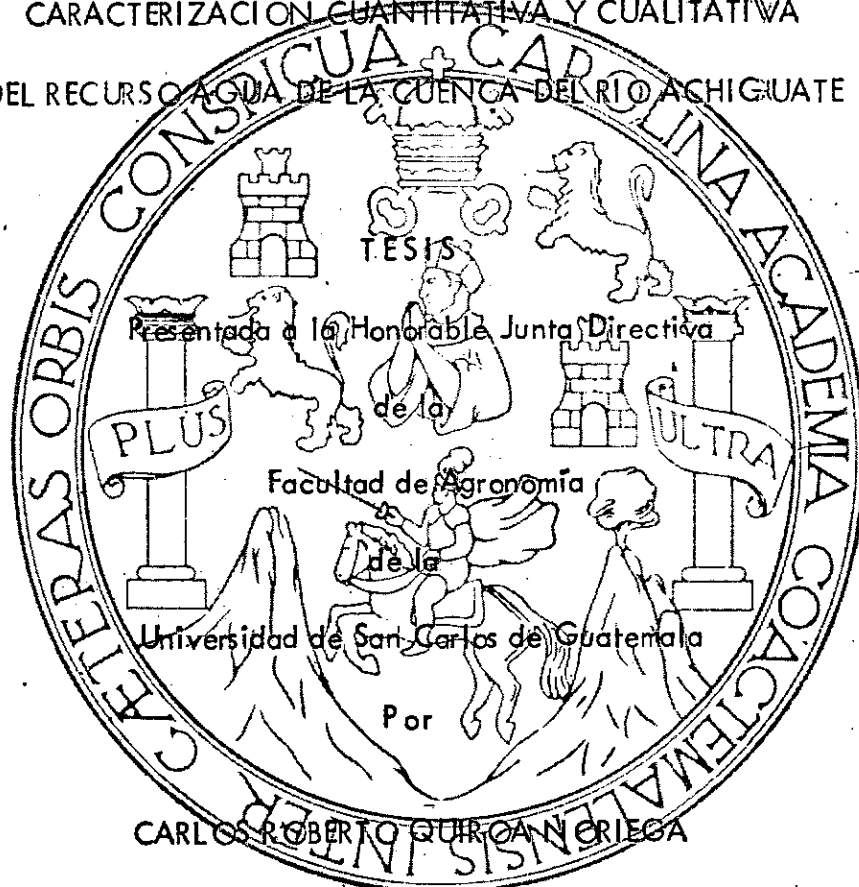


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

CARACTERIZACION CUANTITATIVA Y CUALITATIVA  
DEL RECURSO AGUA DE LA CUENCA DEL RIO ACHIGUATE



CARLOS ROBERTO QUIROGA NERI

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Noviembre de 1984

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

D.L.

01

T(787)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Eduardo Meyer Maldonado

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
VOCAL 1o.	Ing. Agr. Oscar René Leiva R.
VOCAL 2o.	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
VOCAL 3o.	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
VOCAL 4o.	Prof. Heber Arana
VOCAL 5o.	Prof. Leonel Gómez
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Dr. Antonio A. Sandoval S.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Marco Tulio Aragón
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Fredy Hernández Ola
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
SECRETARIO:	Ing. Agr. Carlos R. Fernández P.



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

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1945

**GUATEMALA, CENTRO AMERICA**

Guatemala,

8 de Noviembre de 1984.

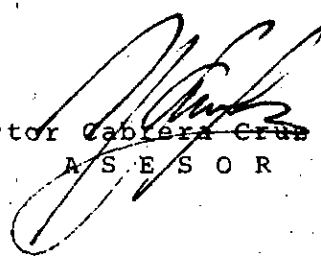
Ingeniero Agrónomo  
César Castañeda S.  
Decano, Facultad Agronomía  
Su Despacho.

Señor Decano:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo a la designación emanada de esa Decanatura, he procedido a asesorar y revisar el trabajo de tesis - titulado: "CARACTERIZACION CUANTITATIVA Y CUALITATIVA - DEL RECURSO AGUA DE LA CUENCA DEL RIO ACHIGUATE", realizada por el Perito Agrónomo: Carlos Roberto Quiroa Noriega, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sobre el particular me permito informarle, que encuentro el trabajo satisfactorio y llena los requisitos académicos para ser aprobado como tesis de grado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Víctor Cabrera Cruz (MSc.)  
A S E S O R

VCC/eqded.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

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

12 de noviembre de 1984

Ingeniero  
César A. Castañeda S.  
Decano Facultad de Agronomía  
Presente


Señor Decano:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo a la designación emanada de esa Decanatura, he procedido a asesorar y revisar el trabajo de tesis titulado: "CARACTERIZACION CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DEL RECURSO AGUA DE LA CUENCA DEL RIO ACHIGUATE", realizada por el Perito Agrónomo Carlos Roberto Quiroa Noriega, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sobre el particular me permito informarle, que encuentro el trabajo satisfactorio y llena los requisitos académicos para ser aprobado como tesis de grado.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. Heber M. Rodríguez A.  
A S E S O R

HMRA/tdev.

Guatemala, 8 de noviembre de 1984

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

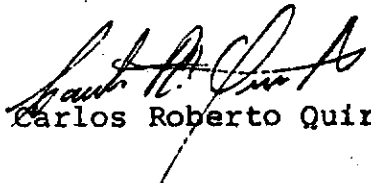
Señores:

De acuerdo a las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA  
DEL RECURSO AGUA EN LA CUENCA DEL RIO ACHI-  
GUATE".

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,

  
P.A. Carlos Roberto Quiroa Noriega

DEDICATORIA

A: DIOS

A: MIS PADRES José Víctor Quiroa Barillas  
Amada Clemencia Noriega de Quiroa

A: MIS HERMANOS José Víctor  
Luis Alfredo  
Edgar Orlando  
Axel David

A: MIS ABUELOS, TIOS Y PRIMOS

A: Los Investigadores del Proyecto de  
Caracterización de Cuencas Hidro-  
gráficas.

AL: Instituto de Investigaciones Agro-  
nómicas.

A: La Facultad de Agronomía

A: La Universidad de San Carlos de  
Guatemala y su Programa de Becas

AL: Instituto Técnico de Agricultura

A: GUATEMALA

## A G R A D E C I M I E N T O S

Al Ing. Agr. MSc. Víctor Cabrera C. e Ing. Agr. MSc. Heber Rodríguez, por su valioso trabajo de asesoramiento y revisión del presente trabajo.

Al Ing. Agr. Hugo A. Tobías e Ing. Agr. MSc. Luis A. Castañeda por su apoyo y colaboración para la realización de este estudio.

Al Ing. Agr. Rolando Aguilera, por su desinteresada colaboración en la realización de los análisis microbiológicos de las muestras.

Al personal de laboratorio de Estudios de Suelo y Agua de la Dirección de Riego y Avenamiento -DIRYA- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, por su colaboración para el análisis físico-químicos de las muestras.

A todas las personas que colaboraron en las estaciones de muestreo para que éste se realizara de la mejor forma posible.

A la señora Tania B. de Villatoro, por su valiosa colaboración durante la realización del trabajo y transcripción mecanográfica final.

# C O N T E N I D O

		Página
I	INTRODUCCION	1
II	OBJETIVOS	2
III	REVISION DE LITERATURA	2
1.	Manejo Integral de una cuenca	2
2.	Estudio Morfométrico de cuencas	3
2.1	Parámetros físicos de la forma de la cuenca.	4
2.2	Parámetros de relieve de una cuenca	5
3.	Estudio Hidrológico de la cuenca	5
3.1	Análisis de precipitación	5
3.2	Análisis de evapotranspiración	6
3.3	Análisis de escurrimiento superficial	8
4.	Estudio de la calidad del recurso agua de la cuenca.	13
4.1	Generalidades	13
4.2	Definiciones	15
4.3	Las fuentes de agua	17
4.4	Descripción de los principales polucionadores potenciales.	20
4.5	Normas de calidad	29
4.5.1	Normas de calidad para aguas de riego.	29
4.5.2	Normas de calidad de agua para uso doméstico.	31
4.6	Recolección de la muestra	36



		Página
IV	MATERIALES Y METODOS	38
	1. Materiales	38
	2. Métodos	38
	2.1 Análisis de precipitación	38
	2.2 Análisis de evapotranspiración	39
	2.3 Análisis de escorrentía	39
	2.4 Selección de puntos de muestreo	39
	2.5 Método de muestreo	44
	2.6 Análisis de muestras	45
V	PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	46
	1. Cuantificación del recurso agua	46
	2. Calidad del recurso agua	63
	3. Aspectos cuantitativos y cualitativos	94
VI	CONCLUSIONES	96
VII	RECOMENDACIONES	97
VIII	BIBLIOGRAFIA	99
IX	APENDICE	102

## INDICE DE FIGURAS

No.		Página
1.	Mapa de ubicación de puntos de muestreo	41
2.	Colector pluvial	42
3.	Isoyetas medias anuales	49
4.	Curva de variación estacional de la lluvia estación El Tejar.	50
5.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Florencia.	50
6.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Antigua.	51
7.	Curva de variación estacional de la lluvia estación El Potrero.	51
8.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Ceylan.	52
9.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Sabana Grande.	53
10.	Curva de variación estacional de la lluvia estación San Andrés Osuna.	54
11.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Escuintla E.E.	55
12.	Curva de variación estacional de la lluvia estación Santa María.	56
13.	Curva de variación estacional de la lluvia estación San José.	56
14.	Curvas de evapotranspiración potencial,	58
15.	Curva de duración de caudales, estación Alotenango	59
16.	Curva de duración de caudales, estación Desembocadura.	61

No.	Página
17. Variación del pH en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	76
18. Valor del pH durante seis muestreos del agua superficial.	77
19. Variación de la conductividad eléctrica en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	78
20. Valor de la conductividad eléctrica durante seis muestreos del agua superficial.	79
21. Variación de los sólidos en solución en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	80
22. Valor de los sólidos en solución durante seis muestreos del agua superficial.	81
23. Variación de la suma de cationes en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	83
24. Valor de la suma de cationes durante seis muestreos del agua superficial.	84
25. Variación de la suma de aniones en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	85
26. Valor de la suma de aniones, durante seis muestreos del agua superficial.	86
27. Variación del porcentaje de sodio soluble en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	88
28. Valor del porcentaje de sodio soluble durante seis muestreos del agua superficial.	89
29. Variación de la relación de adsorción de sodio en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	90
30. Valor de la relación de adsorción de sodio durante seis muestreos del agua superficial.	91

No.		Página
31.	Variación del acarbonato de sodio residual en cinco estaciones de muestreo del agua superficial.	92
32.	Valor del carbonato de sodio residual durante seis muestreos del agua superficial.	93
33.	Hidrógrafo de caudales medios mensuales para la estación Alotenango.	95

## INDICE DE CUADROS

No.		Página
1.	Resultados del análisis cualitativo del agua pluvial.	64
2.	Resultados del análisis cualitativo del agua subterránea.	67
3.	Resultados del análisis bacteriológico del agua subterránea.	68
4.	Resultados del análisis cualitativo del agua superficial en la estación de muestreo Puente San Andrés.	70
5.	Resultados del análisis cualitativo del agua superficial en la estación de muestreo Puente Los Aposentos.	71
6.	Resultados del análisis cualitativo del agua superficial en la estación de muestreo Nacimiento Los Aposentos.	72
7.	Resultados del análisis cualitativo del agua superficial en la estación de muestreo Puente Pastores.	73
8.	Resultados del análisis cualitativo del agua superficial en la estación de muestreo Puente Alotenango.	74

## RESUMEN

La Caracterización cuantitativa y cualitativa del recurso agua de la cuenca del río Achiguate es una parte de la segunda fase de la caracterización general de la cuenca constituida también por los estudios de vegetación y suelo. La primera parte la constituyó la caracterización preliminar realizada a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas (Nufio, 1982). El objetivo del presente estudio es caracterizar cuantitativa y cualitativamente el recurso agua de la cuenca del río Achiguate.

La parte cuantitativa del estudio consistió en estimar la cantidad del recurso agua en concepto de entradas al y salidas del sistema cuenca. A este respecto, se utilizó información climática ya existente, información que en algunos casos fue insuficiente, y las curvas de precipitación, evapotranspiración potencial y escurrimiento superficial presentadas en el estudio de caracterización preliminar (Nufio, 1982). Como entrada únicamente se consideró la precipitación pluvial y como salidas la evapotranspiración potencial y el escurrimiento superficial. Este último fue cuantificado por medio de dos curvas de duración de caudales: una sintética elaborada en 1972 para una estación hipotética a la salida de la cuenca y la otra elaborada en este trabajo con la información limnimétrica de seis años de registro de la estación hidrométrica Alotenango.

La calidad del recurso agua se determinó en las fuentes pluvial, superficial y subterránea, tomando únicamente como área de estudio la subcuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango. La fuente pluvial fue muestreada una vez por mes en cinco estaciones distribuidas en el área de estudio y durante un período comprendido de septiembre a noviembre de 1983. La fuente superficial se muestreó a lo largo de

la corriente principal de la cuenca en cuatro estaciones de muestreo; además, se tomaron muestras de agua en un nacimiento que se pudiera tomar como representativo de la calidad natural del agua superficial. Este muestreo se hizo una vez por mes, de septiembre de 1983 a febrero de 1984. Del agua subterránea se tomaron dos muestras en cada uno de cuatro pozos mecánicos, una en septiembre y otra en octubre de 1983.

Las muestras de las fuentes pluvial, superficial y subterránea fueron sometidas a análisis de tipo físico-químico de acuerdo a las normas para aguas de riego. Además, se realizó un análisis bacteriológico para detectar contaminación por bacterias coliformes en las fuentes superficial y subterránea.

Los resultados cuantitativos obtenidos muestran un balance positivo entre las entradas y las salidas de agua al y del sistema; la mayor salida la constituyó la evapotranspiración. El volumen de agua se estimó en millones de metros cúbicos anuales así: precipitación 2697.80, evapotranspiración potencial 1576.83 y escurrimiento superficial 677.96.

En base a los parámetros cualitativos estudiados, se determinó que, en el tiempo y puntos muestreados, el agua de las fuentes pluvial y subterránea puede usarse para riego y para consumo humano; el agua superficial del río Guacalate, con pequeñas limitaciones en determinadas épocas y localidades, se puede usar para riego. En lo referente a su calidad bacteriológica, esta es tal que no permite usar el agua para consumo humano, a menos que se someta a los tratamientos más estrictos de purificación.

I

INTRODUCCION:

En la búsqueda de soluciones viables a los diversos problemas que impiden el desarrollo integral del país, la Universidad de San Carlos en general y la Facultad de Agronomía, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA-, en particular, realizan estudios de caracterización de diversas cuencas hidrográficas. Estos estudios está planteado que se realicen a largo plazo y el presente, que es una caracterización cuantitativa y cualitativa del recurso agua en la cuenca del río Achiguate, paralelo a los estudios de los recursos vegetación y suelo, constituye la segunda fase de la caracterización de la cuenca, pues la fase preliminar se llevó a cabo en 1982 por Nufio Reyes.

La necesidad de realizar el estudio integral de esta cuenca parte del hecho que la misma ha sufrido fuertes daños en sus recursos naturales, debido a la presión de uso a que se ha visto sometida por su propia ubicación y por sus características fisiográficas. No puede decirse a priori cual es el recurso natural más afectado, pero en el recurso agua los principales fenómenos observables son: gran arrastre de sedimentos e inundaciones en época lluviosa, bajos caudales y escases de agua para riego en época seca y contaminación de los principales cauces; todo esto conlleva otro tipo de problemas de índole, entre otros, social y económico.

En resumen, el presente estudio constituye un aporte para satisfacer la necesidad que existe de generar información básica que sirva de ayuda para posteriores investigaciones en esta y otras cuencas de nuestro medio, ya que actualmente se ve una marcada escases de este tipo de información integrada en nuestro país. Además, es deseable que lo que aquí se expone se tome conjunta e



integralmente con los datos proveídos por los estudios de vegetación y suelo ya que los cambios en cualquiera de los recursos de la cuenca indudablemente afectará a los demás.

## II OBJETIVOS:

### 1. Objetivo General:

- Caracterizar cuantitativa y cualitativamente el recurso agua de la cuenca hidrográfica del río Achiguate.

### 2. Objetivos Específicos:

- Estimar la cantidad del recurso agua de la cuenca del río Achiguate.
- Determinar la calidad del recurso agua de las fuentes pluvial, superficial y subterránea en la subcuenca del río Guacalate, hasta la estación hidrométrica Alotenango.

## III REVISION DE LITERATURA:

### 1. Manejo Integral de una Cuenca:

Vásquez Santizo, 1982, expresa que uno de los principales objetivos en el manejo de cuencas es el de alcanzar una disminución de los efectos causados por los fenómenos atmosféricos.

En el área que comprende una cuenca en particular pueden existir zonas críticas que en un momento dado pueden causar daños y pérdidas económicas o de vidas animal y/o humanas, deterioro o destrucción de obras e instalaciones, causando la interrupción de toda actividad allí desarrollada.

Para el tratamiento de tales zonas críticas se hace necesario considerar las relaciones entre los sistemas naturales y socioeconómicos a fin de conocer cuáles son los procesos atmosféricos que causan en determinado caso los daños y cuáles actividades humanas aumentan o pueden disminuir estos efectos dañinos.

En el manejo integral de una cuenca los objetivos se resumen de la siguiente manera:

- a. La reducción de las fuentes productoras de material sólido y
- b. La reducción de su transporte

Los dos objetivos anteriores pueden alcanzarse manejando en forma racional, tanto el recurso agua, como el recurso suelo y bosque.

## 2. Estudio Morfométrico de Cuencas:

Las características físicas de una cuenca tienen influencia sobre la respuesta hidrológica de la misma. Recíprocamente, el carácter hidrológico de una cuenca contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Se podría suponer que esta interrelación debería suministrar la respuesta hidrológica a partir de parámetros físicos que son fáciles de medir. Aunque se han podido desarrollar algunas relaciones útiles, hasta el momento son más cualitativas que cuantitativas (Linsley et al, 1977).

La dificultad de relacionar las características físicas e hidrológicas de una cuenca se debe a un gran número de factores. La determinación precisa de las características físicas de una cuenca está limitada por la disponi-

bilidad de mapas en general, son de diferentes escalas y están hechos con estándares cartográficos diferentes, de manera que un mismo parámetro puede tener diferentes valores de acuerdo con el mapa del cual se ha obtenido. Para otros parámetros, las definiciones son arbitrarias, de modo que existe la posibilidad de que aún no se hayan logrado las definiciones apropiadas. Finalmente, es claro que las relaciones entre las características físicas, prácticamente estáticas, de la cuenca y las características hidrológicas, altamente estocásticas, de la misma, deben ser de gran complejidad. (Linsley et al, 1977).

### 2.1 Parámetros físicos de la forma de la Cuenca:

Entre estos parámetros están: Número de orden de la cuenca, densidad de drenaje, longitud del flujo de superficie, relaciones de área, forma de la cuenca.

Nufio Reyes (1982) reporta las siguientes características morfométricas de la cuenca del río Achiguate:

- Area de la Cuenca	1321.53	Km <sup>2</sup>
- Perímetro de la Cuenca	222.05	Km
- Longitud del cauce principal	123.50	Km
- Longitud de todos los afluentes	4554.00	Km
- Orden de la Cuenca	8	
- Radio de elongación	0.33	
- Densidad de drenaje	3.446	Km/Km <sup>2</sup>
- Factor de forma	11.54	
- Elevación máxima de la Cuenca	2627	msnm

- Elevación media 162 mts/Km
- Elevación máxima en el perímetro de la cuenca 3976 msnm

## 2.2 Parámetros de relieve de una Cuenca:

La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma. Algunos de estos parámetros de relieve de una cuenca son los siguientes: Pendiente del canal, pendiente del terreno, información de área elevación.

Es de hacer notar que en el trabajo que se desarrollará en el período 1983-1984 no se entrará a considerar la correlación de los datos obtenidos en el estudio preliminar de la cuenca por Nufio Reyes, específicamente en la parte morfométrica, pero sí convendrá tenerlos disponibles para entender algunos fenómenos con la ayuda de ellos.

## 3. Estudio Hidrológico de la Cuenca:

Los estudios hidrológicos requieren de gran cantidad de información la cual puede ser obtenida a diferentes grados de detalle de acuerdo a su utilización e importancia en los procesos hidrológicos. La información que se analizará primordialmente es aquella que tiene influencia en las relaciones precipitación-escorrentía; escorrentía, precipitación, temperatura, clima (Rojas 1979).

### 3.1 Análisis de precipitación:

La precipitación es la caída a la superficie de la tierra o al mar de pequeñas gotas de agua proveniente de

las nubes que se encuentran en la atmósfera. Nufio Reyes, 1982, en su trabajo Caracterización Preliminar de la Cuenca del río Achiguate y tomando como base de información el Estudio Integral de los Recursos Hidráulicos del Departamento de Escuintla, publicado por el Instituto Geográfico Nacional -IGN- en 1974, presenta los histogramas de precipitación anual, las curvas de variación estacional de la lluvia y las isoyetas medias anuales con base a los registros de precipitación desde el año de 1953 al 1972. Estas gráficas tienen como fuente de información gran valor en el trabajo presente ya que en la caracterización preliminar no fueron interpretadas o analizadas por no ser parte de los objetivos del estudio.

Es necesario conocer las cantidades máximas de lluvia, así como su intensidad, con el fin de determinar los gastos de aportación a un almacenamiento o los gastos por drenar en una cuenca; además, es necesario conocer el régimen de un río, mediante el conocimiento de la variación de los niveles del agua, en función del tiempo y volumen llovido y de los efectos sobre los escurrimientos subterráneos. Por lo anterior se concluye que el conocimiento de las cantidades máximas que ocurren en áreas de diferentes dimensiones y de lluvias de diferentes duraciones es importante para la planeación y proyección de obras hidráulicas, (Rodríguez Toriz, 1981).

### 3.2 Análisis de Evapotranspiración:

La evapotranspiración abarca la fase del ciclo hidrológico en la cual el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor, considerando la acción de la cobertura vegetal.

La evapotranspiración indica cambio en la humedad de

la cuenca y por lo tanto, a veces se usa para estimar la escorrentía producida por una tormenta. También se usa para estimar necesidades de abastecimiento de agua para proyectos de irrigación.

La evapotranspiración se encuentra influenciada por diversos factores, tanto físicos como climáticos, tales como: tipo de suelo, vegetación, temperatura, brillo solar que debido a la escases de registros son difíciles de obtener en nuestro medio (Aguilera Vizcarra, 1974).

El uso consuntivo es la evaporación total de un área más el agua utilizada directamente para construir los tejidos de las plantas. La distinción entre los términos evaporación y uso consuntivo es en gran parte académica, con diferencias numéricas que están casi siempre dentro de los errores de medición y generalmente se tratan como sinónimos.

Suponiendo que cualquier reducción en evapotranspiración y debida a una deficiencia en la humedad del suelo es independiente de las condiciones meteorológicas, el concepto de evapotranspiración potencial introducido por Thornthwaite es de uso común. El término fue definido como la cantidad máxima de agua que puede perder como vapor de agua, en un clima determinado, una superficie completamente cubierta de vegetación, cuando el suelo está saturado.

Para el caso del presente trabajo se utilizaron las curvas de evapotranspiración potencial elaboradas por el método de Thornthwaite, para el período de registro de 1964 a 1978 y fueran presentadas en la Caracterización Preliminar de la Cuenca (Nufio, 1982). Para estudios posteriores será necesario realizar el estudio de la evapotranspiración a nivel de uso consuntivo para determinados cultivos y para áreas específicas a las que se

les conozca otras características tales como las de suelo.

### 3.3 Análisis de Escurrimiento Superficial:

Las observaciones de caudal efectuadas durante una larga serie de años en una estación de aforo forman un conjunto importante de cifras y gráficas que conviene examinar y clasificar según los métodos que faciliten su análisis y permitan extraer los elementos que interesan al hidrólogo y al ingeniero (Remenieras, 1974).

La mayoría de los datos empleados por los hidrólogos tienen también utilidad en meteorología, climatología y otras ciencias relacionadas con la superficie de la tierra. Los datos sobre caudales se recopilan para ser empleados principalmente en estudios hidrológicos; sin embargo, lo más importante en esta clase de análisis, es que el caudal de la corriente sea la variable dependiente, ya que interesa básicamente el cálculo de velocidades o volúmenes de las corrientes y los cambios de dichos valores por diversas causas (Estrada Girón, 1970).

Las estaciones de aforo tienen como objetivo medir la velocidad del flujo en una sección del cauce del río y a partir de ella poder calcular en un instante dado el caudal que escurre.

#### Metodología de Análisis:

a. Cuadros numéricos de los caudales absolutos, medios diarios, mensuales y anuales:

Caudales medios diarios: estos caudales son calculados en lts/seg o en mts<sup>3</sup>/seg a partir de la cota media leída en la escala (o registrada por el limnógrafo) de la estación hidrométrica para el día considerado, utilizando la curva de calibración de la estación en cuestión.

Caudales medios mensuales: es la media de caudales medios diarios.

Caudal medio anual o módulo: es la media de los caudales medios mensuales.

b. Curvas Representativas:

Hidrógrafo de caudales diarios: es una curva que representa el caudal medio diario (ordenadas) contra el tiempo cronológico (abcisas).

Curva de duración y clasificación de caudales: son curvas de frecuencias acumuladas descendentes que expresan el porcentaje del tiempo durante el cual un valor dado de caudal, es igualado o excedido en el período de registro.

También son definidas como curvas de frecuencias acumuladas descendentes que se obtienen mediante el plotteo de caudales contra la frecuencia acumulada de estos caudales.

Estas curvas reflejan el régimen del río durante el período de registro y si este es lo suficientemente grande, puede considerarse como una curva típica de duración, es decir, refleja el comportamiento promedio de esa corriente. Puede entonces haber curvas de duración "baja" o sea cuando se cubren años de flujo bajo en extremo. Debe tenerse cuidado en estudiar el tipo de precipitación que hubo en el período de registro, para interpretar la curva de duración de caudales. Los tipos de caudales que se utilicen, sean diarios, mensuales o anuales, tendrán gran influencia en la curva, ya que existe más variabilidad en los medios diarios que en los otros dos y en los mensuales más que en los anuales (Estrada Girón, 1974).



Entre los parámetros que dan las curvas de duración de caudales están:

i. Volúmen: que está representado por el área bajo la curva. El volumen obtenido será el total escurrido en un año promedio, en metros cúbicos.

ii. Caudales promedios: como el área bajo la curva mide el volumen disponible en un cien por ciento, al dividirlo entre cien se obtiene el caudal promedio anual. De la misma manera se pueden calcular caudales promedio entre valores de caudal fijados.

iii. Mediana: será el caudal igualado o excedido el 50% del tiempo.

iv. Caudales característicos: son puntos esenciales de la curva que definen los caudales típicos de un río, entre ellos tenemos:

- Caudal característico máximo: es el caudal igualado o excedido 10 días del año o sea el 2.74% del tiempo en la curva de duración de caudales diarios.
- Caudal característico medio (mediana): es el caudal excedido o igualado el 50% del tiempo o sea 180 días (6 meses).
- Caudal característico de estiaje: es el caudal igualado o excedido durante 355 días al año o sea el 97.3% del tiempo.
- Caudal característico de 1, 3 y 9 meses: es el caudal excedido durante esos meses o sea el 8.34%, 25% y 75% del tiempo.

- Caudal característico de aguas altas: es el promedio de caudales comprendidos entre cero y 90 días al año o sea 0 y 24.66%.
- Caudal característico de aguas medias: es el caudal promedio entre 90 y 270 días o sea el 24.66 y 73.93%.
- Caudal característico de aguas bajas: es el caudal promedio entre 270 y 365 días o sea entre el 73.98 y el 100% del tiempo.

#### Índice de Variabilidad:

Si la curva tiene gran pendiente en el extremo superior, denotará que esta es una corriente muy variable, sujeta a crecidas tan grandes y variables como torrenciales sean los aguaceros y de muy poco almacenamiento en la zona de crecidas. El caso contrario indicará un régimen más estable con un gran almacenamiento en la zona de crecidas o bien que en su curso atraviesa almacenamiento superficiales como lagos o pantanos. La pendiente en el extremo inferior de la curva da un índice de los aportes de agua subterránea que recibe el río; una pendiente pronunciada indicará un volumen reducido y si por el contrario la curva es plana significa que recibe considerables aportes de agua subterránea. Por ejemplo, el río Michatoya tiene un régimen sumamente estable producido por el embalse artificial y natural del lago de Amatitlán (López Choc, 1972).

El índice de variabilidad es el logaritmo de la desviación estándar de los logaritmos de los caudales. Como la desviación estándar indica la variación de una cantidad que fluctúa con respecto a una media central, tal como el promedio aritmético y el índice de variabilidad es en sí una desviación estándar. Cuando el índice de variabilidad es alto, la variación del caudal es grande

y cuando es bajo, es pequeño.

Lane y Lei (citados por Amisial, 1979), presentaron un método aproximado para estimar el índice de variabilidad de cuencas sin registro. Hicieron un análisis regional del índice de variabilidad para la parte Este de los Estados Unidos ploteando para varias cuencas con registro las curvas de duración y calculando los índices de variabilidad correspondientes. Para extender los resultados a cuencas sin registro de la misma región, correlacionaron los valores calculados del índice con las características fisiográficas de la cuenca.

Acajábón Mendoza, 1973, trabajando en la cuenca del río Samalá, encontró que los valores de los índices de variabilidad entre las tres estaciones estudiadas en esta cuenca (Chutinimit, Cantel y Candelaria) son muy semejantes entre sí, lo cual apoya la teoría de que en un mismo sistema, la tendencia se mantiene independiente del área. Tanto las características del suelo como la poca variabilidad de la lluvia sobre el área tributaria a las estaciones hacen que los índices obtenidos sean bajos.

Por otra parte, Pellecer Meza, 1968, dice que el área de las cuencas influye en el índice de variabilidad, pues domina el efecto de almacenamiento del cauce si ésta es grande o la variabilidad de la lluvia si es pequeña. Cuando el índice de variabilidad es alto, el caudal del río variará en igual magnitud con respecto al caudal promedio y su régimen puede considerarse inestable. En cambio, si el índice es bajo el régimen se considera como estable y la variación del caudal promedio será del orden de su índice.

Todos los índices de variabilidad menores que el valor promedio para varias cuencas pertenecen a cuencas en las cuales predominan un material madre bastante per-

meable. Índices mayores que el promedio pertenecen a cuencas de roca impermeable (Pellecer, 1968).

En general se concluye que las curvas de duración de caudales tienen las siguientes utilidades:

- Interpretar las características del régimen de un río en general y de su comportamiento en cuanto a crecidas y caudales bajos.
- Comparar las características del régimen de dos o más cuencas en una región con el objeto de trasponer datos hidrológicos obtenidos en una o varias cuencas a otras.
- Obtener valores típicos de una corriente.
- Obtener preliminarmente el volumen que es necesario embalsar para asegurar determinado flujo o volumen que se puede derivar de una corriente un determinado número de días al año en promedio.
- Obtener los valores de caudal que puede esperarse que sucedan por lo menos durante un porcentaje dado de tiempo.

#### 4. Estudio de la calidad del recurso agua de la cuenca:

##### 4.1 Generalidades:

Tratar el tema de la calidad del agua implica estudiarla y describirla individualmente y luego relacionarla al uso que se quiera destinar.

De acuerdo a la American Water Works Association (AWWA), 1968, la calidad del agua está relacionada a su origen e historia; en otras palabras, el agua va a tener determinada calidad a partir de su origen (lluvia, pozo, nacimiento, etc.) y ésta puede variar de acuerdo a los lugares que recorra antes de ser tomada por el usuario;

en estos intermedios puede sufrir contaminación o autopurificación. La calidad del agua es influenciada por los factores naturales y la actividad del hombre. Estos factores como quiera que sean producen variaciones en la calidad del agua obtenida de un mismo tipo de fuente y las variaciones se dan por la facilidad del agua de funcionar como solvente, además de mantener partículas en suspensión y arrastre continuo.

Swenson & Palwin citados por Vargas, 1969, estiman que la calidad del agua varía de un lugar a otro con la estación del año, el clima y con la clase roca del suelo que remueve. También es modificada por la temperatura del agua, bacterias del suelo y por la evaporación.

El uso es lo que más contribuye a alterar la calidad del agua. Cada flujo de retorno produce severos cambios en el cuerpo de agua que lo recibe; en consecuencia, debido a la actividad humana aparecen los contaminantes del agua.

La calidad del agua va a tener diversos puntos de vista de acuerdo al uso que se le pretende dar; no rigen las mismas normas a un agua para consumo humano, como una para riego u otra para uso industrial. En este aspecto Vargas, 1969, toma la siguiente definición de calidad: "Es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua con relación a sus propiedades para usos benéficos", diremos además que calidad es un término que se emplea para indicar la conveniencia de usar un producto para determinado fin.

De los usos diversos que se le pueden dar al agua entre los más importantes están:

- Consumo doméstico
- Uso agrícola (riego y abrebar ganado)
- Uso industrial

- Reservas y abrebaderos silvestres
- Acuicultura
- Deportes acuáticos
- Medio transporte

Vamos a partir del punto que el agua en su forma químicamente pura ( $H_2O$ ) no se le encuentra en la naturaleza, siempre va a contener sustancias que no necesariamente tendrán que ser contaminantes, sino simplemente sustancias ajenas a la molécula de agua, la fuente de estas sustancias tampoco será en todos los casos distinta a la naturaleza de la corriente, depósito, manantial o acuífero, como el caso de sales, álcalis, sedimentos e inclusive materia orgánica, pero lo que sí es cierto es que las fuentes de contaminación ajenas a la naturaleza de la fuente son las más problemáticas y las que crean más desequilibrios. En este aspecto se pueden mencionar, entre otras: aguas servidas de las poblaciones, las cuales transportan materias fecales, detergentes, jabones, grasas, etc.; también existe la adición de residuos agroquímicos, lodos provenientes de la erosión como resultado de la intervención del hombre en el "manejo" de los suelos.

#### 4.2 Definiciones:

Al llegar a este punto hemos tratado términos tales como contaminación y polución por lo cual es necesario tomar definiciones de los mismos así como la forma en que los utilizaremos de aquí en adelante.

La AWWA, citada por Vargas, 1969, dice que contaminación es: "La adición de sustancias al agua que la hacen desagradable a la vista, al gusto, etc., y una agua polucionada es inadecuada para cualquier uso".

La palabra contaminación se deriva de una raíz griega que quiere decir corromper y la Academia Nacional Waste

Management and Control define contaminación como un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua o tierra, que será o puede ser perjudicial para el hombre y otras formas de vida, procesos industriales, condiciones de vida y propiedades culturales.

Midencey, 1968, amplía más estos términos, para una mejor comprensión, de la siguiente forma.

a. Contaminación:

Es un término general que significa la introducción al agua de microorganismos o sustancias que la hacen inadecuada para el consumo humano. Se considera, generalmente que implica la presencia o posible presencia de bacterias patógenas. Es un tipo específico de polución. Puede decirse que es un empeoramiento de la calidad del agua de una región por aguas negras o desperdicios industriales hasta un grado tal que provoca un riesgo real a la salud pública por un constante envenenamiento o propagación de enfermedades. La contaminación incluye a cualquier efecto o equivante resultante de la disposición de aguas negras o desperdicios industriales, sean o no aguas de la región.

b. Polución:

El término polución, aplicado al agua es usado en más de un sentido y no puede definirse con precisión, por lo tanto decir que un agua es pura o polucionada será siempre en una forma relativa. En general una fuente de agua se considera como polucionada si contiene sustancias de tal naturaleza y en tal calidad, que la hacen inconveniente para el uso particular en el cual es requerida.

El término polucionante por su dificultad de definición tiene ampliaciones que ayudan a su comprensión, tales como:

i) Polucionante corolario: Son sustancias de origen natural, no introducidas en el agua como resultado de la actividad humana, pero que aumentan excesivamente y causan empeoramiento de las aguas de una región como resultado de la descarga de aguas negras y desperdicios industriales.

ii) Polucionantes potenciales: En general, toda sustancia que existe puede considerarse como polucionante en potencia, ya que si se encuentra lo suficientemente concentrada menoscabará la utilidad del agua para más de alguno de sus usos benéficos.

iii) Polucionantes conservadores: Son todas aquellas sustancias que no son alteradas por los procesos biológicos que ocurren en todas las aguas en su estado natural. Generalmente se trata de sustancias químicas inorgánicas que únicamente son afectadas cuantitativamente por la dilución y no cualitativamente. Puede incluirse dentro de estas los desechos de variado tipo, tóxico o no, sustancias orgánicas persistentes como colorantes, así como altas concentraciones de cloruros que pueden provenir de pozos o minas.

iv) Polucionantes no conservadores: Son los que sufren cambios, tanto en su constitución como en cantidad, principalmente como resultado de la actividad biológica que se presenta en todas las aguas en su estado natural.

#### 4.3 Las Fuentes de Agua:

De acuerdo a la fuente de agua puede existir una variación en su calidad o en su susceptibilidad a ser contaminada; de acuerdo a la AWWA, 1968, éstas fuentes en su forma aprovechable dentro del ciclo hidrológico puede ser:



- Lluvia o nieve
- Agua superficial: corrientes de agua, lagunas o lagos naturales y embalses.
- Agua subterránea: manantiales, pozos poco profundos, galerías de infiltración y pozos profundos.

a. Lluvia y Nieve:

El agua condensada en las nubes es prácticamente pura pero a medida que cae va absorbiendo partículas contaminantes de la atmósfera y por lo tanto; su pureza va a variar de acuerdo a la zona o región donde precipite y si es de las primeras o las últimas lluvias; la AWWA, 1968, reporta que en las ciudades industrializadas y durante las primeras lluvias el agua tiende a estar más contaminada.

b. Agua de superficie:

La calidad del agua tomada de una fuente de superficie depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del tiempo. La calidad del agua de las corrientes es generalmente más variable y menos satisfactoria que la de las lagunas y lagos. El agua de regiones calcáreas es más dura, pero menos corrosiva que el agua de las regiones graníticas. Las fuentes de superficie en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas de alcantarilla y desperdicios industriales.

En la cuenca del río Achiguate no existe otro cuerpo de agua de superficie de importancia a excepción del río por lo cual orientaremos nuestra investigación hacia este aspecto.

Los mayores volúmenes de la cuenca van a provenir de la precipitación pluvial, principalmente de las partes al-

tas de la cuenca y en este aspecto la AWWA, 1968, dice que la calidad y clase de los aluviones de superficie en las corrientes va a depender de la inclinación del terreno, los materiales del suelo, el área, el tipo de vegetación y uso de la tierra.

c. Agua subterránea:

Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas, algunas de estas sustancias son fácilmente solubles en agua.

Aunque las bacterias y otros organismos vivientes en la superficie de la tierra pueden ser recogidas primero por la lluvia que cae sobre ellos, la filtración en el subsuelo da por resultado la separación de estos organismos. Hay una excepción cuando cerca de la superficie las rocas están agrietadas, como ocurre con la piedra caliza. En este caso, la contaminación de superficie puede ser llevada a grandes distancias sin variación importante.

Las condiciones sanitarias en las proximidades de las fuentes de agua subterránea son importantes, en particular cuando la polución en el subsuelo proviene de letrinas, pozos absorbentes y albañales con fugas. Especialmente seria es la polución que se presenta al nivel o debajo del manto freático. Las fuentes de polución situadas en la superficie de la tierra, aunque no deben ser ignoradas son menos importantes que las fuentes subterráneas.

En general, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color, y más duras que el agua de superficie de la región en la cual se encuentran.

Para efecto de muestreo de aguas subterráneas no existe mucho problema ya que Hubbert, citado en el manual de la

AWWA, 1968, dice que la extracción puede provocar cambios en la calidad pero, en general, las aguas subterráneas tienden a tener una calidad uniforme.

#### 4.4 Descripción de los principales polucionadores potenciales:

Esta descripción es un extracto de la realizada por Vargas, 1969, en su trabajo titulado "Parámetros de calidad de las aguas naturales de la República de Guatemala", quien a su vez cita a "Water Quality Criteria" de la oficina de control de la calidad de agua del estado de California, E.E.U.U.

##### a. Color:

El color en el agua puede ser de origen mineral o vegetal; causado por sustancias metálicas tales como componentes de hierro y manganeso, humus, desechos solubles de las industrias, turba, tanino y microorganismos. El agua de irrigación que retorna al cuerpo de agua también contribuye al color. El término "color aparente" es usado por el color que incluye un efecto de materia en suspensión.

##### b. Dureza:

El término dureza del agua es aplicado a la capacidad de ésta para neutralizar el jabón, cualquier sustancia que forma una cuajada insoluble con jabón causa dureza, pero la dureza se le atribuye principalmente al ión calcio y magnesio, ya que otros elementos que producen dureza raramente se presentan en concentraciones apreciables en aguas naturales.

La dureza se expresa en términos de una concentración equivalente de carbonato de calcio, porque la dureza

es causada solamente por cationes tales como calcio y magnesio y consecuentemente es independiente de los aniones en la solución; el término "dureza temporal" y "dureza permanente" o los correspondientes a términos como "dureza carbonatada" y "dureza no carbonatada" han sido usado extensamente.

La dureza puede ser causada por la acumulación natural de sales al contacto con el suelo y formaciones geológicas, o por polución directa de desechos industriales. Algunos desechos industriales tienen efecto indirecto sobre la dureza en el agua subterránea por incrementar el contenido de ácido carbónico, favoreciendo la solución de sales de calcio y magnesio. El flujo de retorno del agua de irrigación también incrementa la dureza.

El agua dura no ha sido demostrado que sea dañina para la salud de los consumidores. El mayor efecto perjudicial de la dureza es de tipo económico por el excesivo consumo de jabón al hacer uso de estas aguas.

#### c. Turbidéz:

Esta es atribuída a materia suspendida y coloides, el efecto es perturbar la claridad y disminuir la penetración de la luz. Puede ser causado por microorganismos o desperdicios orgánicos, sílice u otras sustancias minerales incluyendo zinc, hierro, y componentes de manganeso.

La turbidéz de una muestra de agua se determina en función de la cantidad de luz que es absorbida cuando ésta pasa a través de la muestra.

La turbidéz excesiva afecta a los peces por interferir con la penetración de la luz, disminuye la fotosíntesis y decrece la productividad primaria de la cual depende la alimentación de los peces y como consecuencia la producción de éstos disminuye. Las partículas que produ-

cen turbidez pueden ser letales, modifica la estructura de los lagos.

d. Alcalinidad:

Acidez o alcalinidad no es una sustancia específica polucionante, sino que es el efecto combinado de varias sustancias y condiciones. Es una medida de la capacidad de una solución de neutralizar el ión hidrógeno y está expresada en términos de una cantidad equivalente a carbonato de calcio. La alcalinidad es causada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y en menor grado boratos, silicatos, fosfatos y sustancias orgánicas. Acidez y alcalinidad son relativas al pH, pero alta alcalinidad no indica alto pH.

La alcalinidad no es considerada dañina a los humanos; pero si está asociada con alto valor de pH, dureza y excesivos sólidos puede ser mortal.

e. Calcio:

El elemento calcio no se encuentra en la naturaleza porque es oxidado rápidamente en el aire y al reaccionar con el agua se libera gas hidrógeno. Sales de calcio y el ión calcio de cualquier modo, son entre las sustancias más comunes en el agua.

El cuerpo humano requiere aproximadamente 0.7 a 2.0 gramos de calcio por día; una cantidad en exceso de la concentración de calcio es normalmente consumida en agua de dureza uniforme.

Algunos investigadores creen que el calcio en el agua puede ser usado por el cuerpo como un suplemento a el calcio en la dieta; de cualquier modo el valor nutricional del calcio en el agua no ha sido establecido y es todavía

objetable.

El calcio es beneficioso en el agua como uno de los factores que tienden a evitar la corrosión. El calcio es esencial para el normal crecimiento de las plantas y para el mantenimiento del buen cultivo en el suelo y es deseable en agua para irrigación.

El calcio en el agua reduce la toxicidad de muchos componentes químicos a los peces y otra fauna acuática.

f. Cloruros:

Estos son encontrados prácticamente en todas las aguas naturales, pueden ser de mineral natural original o derivados de alguna polución.

En agua potable generalmente no son dañinas al hombre, siendo hasta que se alcanzan altas concentraciones; aunque los cloruros pueden ser perjudiciales a algunas personas que sufren enfermedades del corazón o riñones. Las restricciones en las concentraciones de cloruros son generalmente basadas en requerimientos al paladar.

Los cloruros tienen un efecto significativo en el tipo de corrosión de acero y aluminio. Se ha demostrado que el ión cloruro tiene un efecto inmediato de corrosión sobre acero en concentraciones tan bajas como de 3 mg/ltr y para acero inoxidable de 10 mg/ltr.

Los cloruros son considerados entre los aniones más molestos en agua de irrigación. Son generalmente más tóxicos que los sulfatos, y sus efectos dañinos abarcan más plantas incluyendo limoneros, alfalfa, árboles frutales y tubérculos; pero los sulfatos son más tóxicos que los cloruros en las remolachas.

g. Fluoruros:

Es el mayor reactivo no metal. El fluor nunca es en-

contrado libre en la naturaleza, pero es un constituyente de la fluorita, del fluoruro de calcio, de rocas sedimentarias o también de creolita.

Fluoruros en altas concentraciones no son constituyentes comunes de aguas naturales superficiales, pero pueden ocurrir en concentraciones detrimentes en aguas subterráneas.

Fluoruros en ciertas cantidades son tóxicos a los humanos, con dosis de 250 a 450 mg causan severos síntomas y 4.0 grs. causan la muerte. Hay numerosos artículos describiendo los efectos de los fluoruros en el agua y su acción en el esmalte dental de los niños.

La presencia de 1 mg/ltr de ión fluoruro en el agua es más beneficioso que dañino.

Algunas veces se encuentran fluoruros en aguas naturales o en ríos polucionados y estos aparentemente no producen efectos dañinos sobre las plantas.

Los efectos de los fluoruros en el agua que beben los animales son análogos a los de los humanos.

#### h. Hierro:

El hierro y sus componentes comunes en presencia de oxígeno producen coloración en el agua. Este resulta de la corrosión, de poluciones de desechos industriales o de soluciones de sales férricas y ferrosas tales como los cloruros, son altamente solubles en agua; los iones ferrosos son realmente oxidados en aguas superficiales naturales a condiciones férricas y forman hidróxidos insolubles.

En vez de razones fisiológicas, los límites de contenido de hierro están basados en consideraciones estéticas y de sabor.

Hierro y manganeso tienden a precipitar como hidróxi-

do, el cual mancha la ropa y la porcelana.

El hierro es uno de los constituyentes menores del agua de irrigación, usualmente se encuentra en bajas concentraciones. Es generalmente de poca importancia en ésta. El hierro es un constituyente de la dieta animal, pero los animales son sensibles a los cambios de concentración de éste, las vacas no beben mucha agua si esta es alta en hierro y consecuentemente, la producción de leche se ve afectada.

#### i. Magnesio:

Es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, constituyendo cerca de 2.1% de ella. Por ser muy activo químicamente, no se encuentra en el estado elemental en la naturaleza. Con excepción del hidróxido de magnesio con altos valores de pH las sales son muy solubles.

A un pH de 7, el ión magnesio teóricamente puede estar presente en la cantidad de 1200 moles por litro o 28.8 grs. por litro, pero a un pH de 10 la concentración máxima posible de ión magnesio puede ser de 28.8 miligramos por litro, a un pH de 11 solamente 0.288 miligramos por litro. Este fenómeno es útil en el proceso de remoción del magnesio del agua.

El magnesio es un elemento mineral esencial para la existencia humana; el requerimiento diario de magnesio es de 0.7 gramos. Es considerado no tóxico a los hombres y no arriesga la salud pública; una alta concentración de sales de magnesio tiene un efecto laxativo. Es esencial para el cultivo normal de las plantas. Los cationes de calcio y magnesio en agua de irrigación, tienden a guardar el suelo permeable y se obtienen cultivos buenos. Se ha reportado que el agua con concentraciones arriba de 24 mg/ltr. de magnesio no afectan seriamente las condicio-



nes del agua subterránea al crecimiento de árboles o condiciones del suelo. Los animales requieren sales de magnesio en su dieta.

En el cuerpo humano el calcio y magnesio son antagónicos a un cierto grado y el calcio puede aliviar ciertos síntomas de exceso de magnesio. Dietas altas en magnesio y bajas en calcio pueden causar raquitismo.

j. Manganeso:

Este no es encontrado puro en la naturaleza, pero sus minerales son muy comunes y bastantes difundidos. El metal o sus sales son muy usados en aleaciones de acero, baterías secas, en vidrios, cerámica, en la manufactura de pinturas y barnices, en tintas y tientes, en fósforos y en la agricultura.

Los cloruros, nitratos y sulfatos de manganeso son altamente solubles en agua, pero los óxidos, carbonatos e hidróxidos son poco solubles en ella. Por esta razón los iones mangánico y manganoso están raramente presentes en concentraciones arriba de 1.0 mg/ltr.; en aguas naturales superficiales. En agua subterránea sujeta a condiciones restringidas, el manganeso puede ser lavado de el suelo y ocurre en altas concentraciones.

El manganeso es esencial para la nutrición de árboles y animales, una dieta deficiente en manganeso produce crecimiento anormal, síntomas de disturbios en el sistema nervioso central, anemia y posible interferencia en las funciones reproductivas; la dieta normal humana es cerca de 10 mg. diarios.

A pesar de los efectos tóxicos el manganeso en circunstancias poco comunes, es muy difícil que pase inadvertido una concentración alta de éste, ya que no puede ser tolerada estéticamente en el agua de beber.

El manganeso es poco deseable en abastecimiento de agua doméstica porque causa un sabor desagradable, depósitos en los alimentos durante la cocción, mancha y decolora la ropa, fomenta el crecimiento de algunos organismos en reservorio, filtros y sistemas de distribución. Es esencial para el crecimiento de las plantas, ha sido usado para enriquecer el suelo, sin embargo en concentraciones altas puede ser fitotóxico; una deficiencia de manganeso en animales produce un mal funcionamiento de los ovarios, anomalías en los huesos, degeneración testicular, baja lactación, falta de crecimiento y síntomas de disturbios del sistema nervioso central.

k. Nitratos:

Son el producto final de la estabilización aeróbica del nitrógeno orgánico y como tal ocurre en aguas polucionadas, éstas tienen que pasar por autopurificación o por un proceso de tratamiento aeróbico. Los nitratos también ocurren en la percolación del agua subterránea como resultado de la excesiva aplicación de fertilizantes. Pocas veces puede ser agregado a ríos o agua subterránea por la natural degradación o directamente por desechos inorgánicos industriales, pero tales fuentes son relativamente insignificantes.

Los nitratos son raramente abundantes en agua superficial natural, porque ellos sirven como fertilizante esencial de todos los tipos de plantas desde fitoplacton hasta árboles. La acción fotosintética está constantemente usando nitratos y convirtiéndolos a nitrógeno orgánicos en las células de las plantas.

Exceso de nitratos tienden a reducir la permeabilidad de los suelos, pueden a veces acumular concentraciones tóxicas en solución en los mismos. En general los ni-

tratos son deseables en agua de riego por su valor fertilizante.

Altas concentraciones de nitratos estimulan el crecimiento del placton y otras hierbas acuáticas.

#### l. Nitritos:

Estos son formados en el agua generalmente por la acción de las bacterias sobre el amonio y el nitrógeno orgánico. Debido a que son oxidados rápidamente a nitritos, raramente están presentes en concentraciones significantes en el agua superficial. En unión con amonio, nitratos y nitritos en el agua son indicativos de polución, aunque la presencia de nitritos no siempre significa polución.

Nitrito es un componente venenoso, pero se encuentra ordinariamente en pequeñas cantidades en agua de beber, que escasamente tiene efectos farmacológicos.

Estos se encuentran en muy bajas concentraciones en aguas de irrigación y son de poca significancia. También estimulan el crecimiento de placton en reservorios.

#### m. pH:

El pH es usado para designar el logaritmo (base 10) del recíproco de la concentración del ión hidrógeno. Una concentración alta del ión hidrógeno puede afectar adversamente para más de un uso benéfico. No solamente el ión hidrógeno es un polutante por sí mismo sino que también está íntimamente ligado a las concentraciones de muchas otras sustancias, particularmente con las débilmente disociables ácidos y bases.

La concentración del ión hidrógeno de un agua cruda para consumo doméstico es importante, ya que afecta el sabor, corrosión, coagulación y aplicaciones industriales.

Valores bajos de pH incrementan la acción corrosiva del agua hacia el concreto. Aguas subterráneas con un pH menor que 6 es potencialmente peligrosa al concreto por su continua propiedad corrosiva. La corrosión del concreto no es función solamente del pH, sino varía con el contenido de dureza y alcalinidad; con el dióxido de carbono libre, es particularmente perjudicial.

El valor óptimo de pH en agua de irrigación varía con el tipo de cultivo y las propiedades físicas y químicas del suelo. En suelos alcalinos es deseable usar aguas de un pH moderadamente alto.

#### 4.5 Normas de Calidad:

Este punto será abordado por dos aspectos fundamentales que son: Agua para riego y Agua para consumo doméstico. No se tomará más profundamente otros aspectos como uso industrial ya que sería necesario realizar un manual con estas especificaciones.

##### 4.5.1 Normas de calidad para aguas de riego:

Estas normas ya fueron establecidas y aprobadas internacionalmente y están ampliamente descritas en el Manual 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, titulado: "Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos Sódicos", por ser esta una información bastante accesible no se contemplará a mayor detalle y nos limitaremos a realizar un breve resumen que de a entender que aspectos deben manejarse con respecto al tema.

La cantidad del agua desde el punto de vista agrícola, es un término que se usa para indicar la conveniencia o limitación para fines de riego (De la Peña, 1976).

Al momento de determinar la calidad de agua para riego el solo resultado no nos va a dar todos los parámetros de decisión, sino que hay que tomar en cuenta otros aspectos

tos los cuales De la Peña, 1976, los clasifica así:

- Las características químicas
- Las condiciones agronómicas
- Las condiciones edafológicas

a. Características químicas:

Va a depender de los constituyentes salinos y de su peligro potencial en los efectos directos e indirectos sobre los cultivos.

Teniendo en cuenta tres aspectos: calidad del drenaje, racionalización del riego y concentración progresiva de iones, se clasifican las aguas en el aspecto químico bajo tres factores:

- i) Contenido total de sales solubles
- ii) Concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes y su efecto en las características físicas del suelo.
- iii) Concentración de iones tóxicos y su efecto en las plantas de cultivo.

Los análisis necesarios involucran lo siguiente:

- Conductividad eléctrica
- Contenido total de sales en ppm
- Cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio
- Aniones: carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfuros.
- Porcentaje de sodio con respecto a las bases totales

b. Condiciones agronómicas:

Una vez obtenidas en el laboratorio las características químicas del agua para riego, la aplicación de ella va a estar sujeta a la susceptibilidad a daño que puedan o-

casionar los contenidos salinos en el cultivo por efectuarse.

Como órgano de consulta en este aspecto hay que recurrir a tabulaciones realizadas por diversos organismos en cuanto a la tolerancia o susceptibilidad de los cultivos.

En resumen, las condiciones agronómicas serán manejadas y decididas por el agricultor de acuerdo a sus conocimientos, necesidades y limitaciones.

c. Condiciones edafológicas:

Cuando las aguas de riego presentan contenidos de sales que pueden ser perjudiciales a los cultivos, su daño puede ser de carácter creciente si las sales se concentran en el espesor del suelo donde se desarrolla el sistema radicular de la planta.

Esta condición se puede controlar aplicando además de la lámina de agua requerida por el riego, otra porción de agua adicional o lámina de sobre riego que deberá ser en cantidad suficiente para arrastrar fuera del espesor radicular las posibles concentraciones salinas.

En este caso será necesario que el agricultor cuente con los medios para obtener un cálculo de su lámina de riego y la lámina de sobre riego por cuanto puede tener como limitante la falta de agua suficiente para sobre regar.

4.5.2 Normas de calidad de agua para uso doméstico:

Las normas de calidad del agua son límites en los valores cuantitativos de las cantidades de sustancias extrañas presentes en la misma. Estas normas no son cantidades absolutas pero se basan en consideraciones económicas, de

salud pública, de usos consuntivos, así como de simple placer estético.

En el agua, puede existir organismos entéricos patógenos; estos llegan frecuentemente por medio de la descarga de excrementos humanos en fuentes usadas para suministro de agua cruda. Los análisis de organismos entéricos en el agua de abastecimiento son de por sí complicados y costosos, pero detectando organismos del grupo coliforme, es posible suponer la existencia de otros grupos de organismos patógenos que ocurren en los excrementos dado que los dos grupos se comportan similarmente (McCarty, 1979). Las normas para agua potable no señalan una eliminación completa de organismos coliformes en el agua.

La salud pública es la consideración más importante para muchos de los tipos reales de calidad de agua. Las concentraciones permisibles de arsénico y cianuro son bajas, ya que ambas son letales aún en dosis moderadas. Los sulfatos y el magnesio en cantidades de 1000 mg/ltr. pueden producir efectos laxantes. Concentraciones elevadas de nitratos ingeridas durante el embarazo pueden conducir al nacimiento de un niño cianótico. El cobre limita los procesos de tratamiento biológico usado para aguas residuales (McCarty, 1979).

El gusto del público o la estética establecen criterios para consideraciones subjetivas tales como: sabor, color, olor y turbidez. Los criterios han sido establecidos en parte por encuestas sobre la opinión pública y en parte por las pruebas realizadas en consumidores de áreas dadas de suficiente extensión. Los criterios no son más que límites que la mayoría de la gente encuentra aceptable.

Existen diversas normas establecidas sobre parámetros aceptables para el agua potable; principalmente en los Estados Unidos donde varían de un estado a otro, pero la

Organización Mundial de la Salud (OMS), con sede en Ginebra, Suiza estableció en 1964 las "Normas Internacionales para el Agua Potable"; esta organización tomó como criterios las concentraciones máximas tolerables. Sus normas involucran los tres aspectos fundamentales; calidad física, calidad química y normas bacteriológicas.

Normas Internacionales para el agua potable(\*)  
(Organización Mundial de la Salud, Ginebra  
1964).

a. Calidad física:

Sustancia	Concentración	Concentración
	Máxima aceptable	Máxima tolerable
Color	5 unidades	50 unidades
Turbidez	5 unidades	25 unidades
Sabor	No rechazable	-----
Olor	No rechazable	-----

b. Calidad química:

Los componentes químicos del agua se dividen en cuatro grupos:

I) Compuestos que influyen sobre la potabilidad del agua:

Sustancia	Concentración		Concentración	
	Máxima aceptable		Máxima tolerable	
Sólidos totales	500	mg/ltr.	1500	mg/ltr.
Hierro (Fe)	0.3	"	1.0	"

---

(\*) Tomando de parámetros de calidad de las aguas naturales de la República de Guatemala, de Sergio A. Vargas, 1969.



Sustancia	Concentración Máxima aceptable		Concentración Máxima tolerable	
	Manganeso (Mn)	0.1	mg/ltr.	0.5
Cobre (Cu)	1.0	"	1.5	"
Cinc (Zn)	5.0	"	15	"
Calcio (Ca)	75	"	200	"
Magnesio (Mg)	50	"	150	"
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	200	"	400	"
Cloruros (Cl)	200	"	600	"
Magnesio-Sulfato sódico	500	"	1000	"
Compuestos fenó- licos (referidos al fenol)	0.001	"	0.002	"
Extracto de car- bón con cloro- formo (ECC: con- taminantes orgá- nicos)	2.0	"	0.5	"
Sulfato de alqui- bencilo (SAB: sustancias ten- ciativas)	0.5	"	1.0	"
Grado de pH	7.0	8.5	6.5	9.2

II) Componentes peligrosos para la salud:

Sustancia	Concentración Máxima tolerable	
Nitrato referido a NO <sub>3</sub>	4.5	mg/ltr.
Fluoruros	1.5	"

III) Sustancias tóxicas:

Sustancia	Concentración Máxima aceptable	
Compuestos fenólicos	0.0002	mg/ltr.
Arsénico	0.05	"
Bario	1.00	"

Sustancia	Concentración Máxima aceptable	
Cadmio	0.01	mg/ltr.
Cromo	0.05	"
Cianuros	0.20	"
Plomo	0.05	"
Selenio	0.01	"
Radionúcleotidos (actividad beta total)	1000	-----

#### IV) Indicadores químicos de contaminación:

Indicador	Límite mínimo de contaminación	
Demanda química de oxígeno (DQO)	10	mg/ltr.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	6	"
Nitrógeno total, excluido el NO <sub>3</sub>	1	"
Amoníaco	0.5	"
Extracto de carbón con cloro- formo (ECC: Contaminación Or- gánica)	0.5	"
Grasa	1.0	"

#### c. Normas bacteriológicas

##### Clasificación:

NMP/100 ml de  
bacterias coliformes:

I) Calidad bacteriológica que  
no exige más que un tratamiento de  
desinfección.

0 - 50

II) Calidad bacteriológica que  
no precisa la aplicación de los mé-  
todos habituales de tratamiento

(coagulación, filtración, desinfección)

50 - 5000

III) Contaminación muy intensa que hace necesarios tratamientos más activos.

5000 - 50000

IV) Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales que estas fuentes solo se utilizarán en último extremo.

más de 50000

#### 4.6 Recolección de la muestra:

##### a. Cantidad:

Para la mayor parte de los análisis físicos y químicos es suficiente una muestra de 2 litros, pero para ciertas determinaciones especiales, se puede necesitar un mayor volumen. No debe utilizarse la misma muestra para examen químico y microbiológico porque es diferente la técnica de recolección y manejo (American Public Health Association et al, 1962).

b. Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis:

En general, mientras menos tiempo transcurra entre la recolección de una muestra y su análisis, será mayor la confianza de los resultados analíticos. Se sugieren, como razonables, los siguientes límites máximos, para muestras destinadas a análisis físicos y químicos:

- Aguas no contaminadas . . . . . 72 horas
- Aguas ligeramente contaminadas . 48 "
- Aguas contaminadas . . . . . 12 "

c. Muestras representativas:

Se debe poner especial atención para que se obtenga una muestra que sea realmente representativa de las condiciones existentes y para que se maneje en una forma tal que no se deteriore o contamine antes de llegar al laboratorio. Antes de llenarlo, se debe enjuagar el frasco de muestra, por dos o tres veces, con la misma agua que se va a muestrear. Los detalles de recolección varían tanto con las condiciones locales, que no se puede formular una recomendación específica que sea de aplicación universal.

Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y cada frasco se debe identificar apropiadamente, de preferencia fijando una etiqueta debidamente rotulada. El registro debe incluir todos aquellos datos que permitan la identificación positiva de la muestra en cualquier instante, los mismo que el nombre del muestreador, la fecha, hora y localización exacta de la estación de muestreo, la temperatura del agua y cualquier otro dato que se pueda necesitar en el futuro para propósitos de correlación. Las estaciones de muestreo se deben identificar por una descripción detallada, por mapas o planos, o con la ayuda de estacas, boyas o balizas terrestres, de forma que sea posible identificarlas por otra persona.

Lee, 1980, recomienda que el recipiente sea abierto y cerrado dentro del agua. Es imposible prever cambios en las características de la muestra de agua durante su transporte y almacenamiento, pero el procedimiento adecuado ayuda a disminuir los cambios indeseables.

Las muestras de pozos se deben tomar después de haberlos bombeados por suficiente tiempo, para asegurarse de que la muestra representa la calidad de las aguas subterráneas que alimentan el pozo.

En ríos y corrientes cuando solo se va a tomar una muestra por punto conviene hacerlo a media corriente y a

media profundidad (A.P.H.A. et al, 1962).

## IV

**MATERIALES Y METODOS:**

**1. Materiales:**

- Tambos plásticos de un galón
- Muestreadores rústicos para agua pluvial
- Frascos de 500 ml. de tapón esmerilado
- Hieleras
- Cristalería para análisis bacteriológico de aguas
- Cámara estéril
- Incubadora
- Autoclave
- Lauril triptosa
- Bilis verde brillante
- Material y equipo de dibujo
- Hojas cartográficas de escala 1:50,000
- Datos de caudales
- Datos climáticos
- Vehículo

**2. Métodos:**

**2.1 Análisis de precipitación:**

Para realizar este análisis se utilizó el mapa de isoyetas elaborado con datos de 1953 a 1972 (IGN, 1974, citado por Nufio, 1982) el cual cuenta con curvas cada 100 mm. de precipitación. Se ha considerado el método de las isoyetas como el más exacto para promediar la precipitación sobre un área y consiste en localizar las estaciones y en graficar las cantidades precipitadas en un mapa adecuado; sobre este mapa se dibujan las líneas de igual precipitación (isoyetas). La precipitación promedio para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área de influencia de cada isoyeta y la sumatoria de productos dividida en

entre el área total de la zona de estudio. El análisis de los datos se realizó por el método de Thornthwaite y Mather (1954) y el método de Blaney y Criddle (1950).

**2.2. Análisis de evapotranspiración:** Blaney y Criddle (1950) y Thornthwaite (1948) recomendó los métodos de Thornthwaite, Blaney y Criddle y el de Turc para estimar la evapotranspiración potencial en casos como este en donde la mayor información que se puede obtener es referente a precipitación, temperatura y latitud; por esa razón, se trabajó con el mapa de curvas de evapotranspiración potencial que elaboró el INSIVUMEH (Núfio, 1982) basado en datos de registro obtenidos de 1964 a 1978. La evapotranspiración potencial total para el área se calculó ponderando la evapotranspiración entre isopletras sucesivas por su área de influencia y la sumatoria de productos.

**2.3. Análisis de escorrentía superficial:** Para este estudio se tomó como base la información generada por la estación hidrométrica Alotenango (de registros limnométricos) situada en el municipio del mismo nombre en el departamento de Sacatepéquez y sobre el río Guacalate, pues no existe otra estación aguas abajo. Se utilizó además la curva de duración de caudales elaborada en forma sintética en el período 1971-1972 a partir de un análisis regional del índice de variabilidad de las cuencas de los ríos Madre Vieja, Coyolate, María Linda y Aguacapa (Núfio, 1982).

Para la elaboración de la curva de duración de caudales de la estación hidrométrica Alotenango se utilizó el Método Convencional consignado por Pellecer (1968).

**2.4. Selección de puntos de muestreo:**

Primero se determinó el número de muestras de agua que podían ser analizadas y de acuerdo a la disponibilidad de laboratorios y de recursos para la investigación

se decidió utilizar los servicios del laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento -DIRYA. Por esa razón se decidió muestrear solo la cabecera de la cuenca, esto es, la subcuenca del río Guacalate hasta la estación hidrológica Alotenango, ya que la información hidrométrica generada por esta estación permitía trabajar la parte hidrológica de este estudio. Por la misma razón de la disponibilidad de recursos se decidió establecer cinco puntos de muestreo por fuente (pluvial, subterránea y superficial) de tal forma que interesaba distribuir estos puntos de la mejor forma posible en el área de estudio (Fig. No. 1 ).

#### A. Agua Pluvial:

El punto de muestreo se ubicó en un lugar privado, al aire libre, sin influencia de vegetación o construcciones y en donde había una persona capaz de controlar el muestreador rústico, hecho de madera y plástico (Fig. No. 2 ). En este sentido brindaron su apoyo los Alcaldes de tres poblaciones y los empleados de oficinas del sector público agrícola en las otras dos poblaciones. Los puntos de muestreo quedaron finalmente distribuidos de la siguiente forma: Municipalidad de Magdalena Milpas Altas, Estación Experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA- en Chimaltenango, Municipalidad de Parramos, Oficinas de la Dirección General de Servicios Agrícolas -DIGESA- en Ciudad Vieja y Municipalidad de Alotenango.

#### B. Agua Subterránea:

Se establecieron los puntos de muestreo en lugares en los que había pozos perforados procurando que su distribución fuera de tal forma que se mostrara con representatividad la cuenca. Previamente se consultó el in-

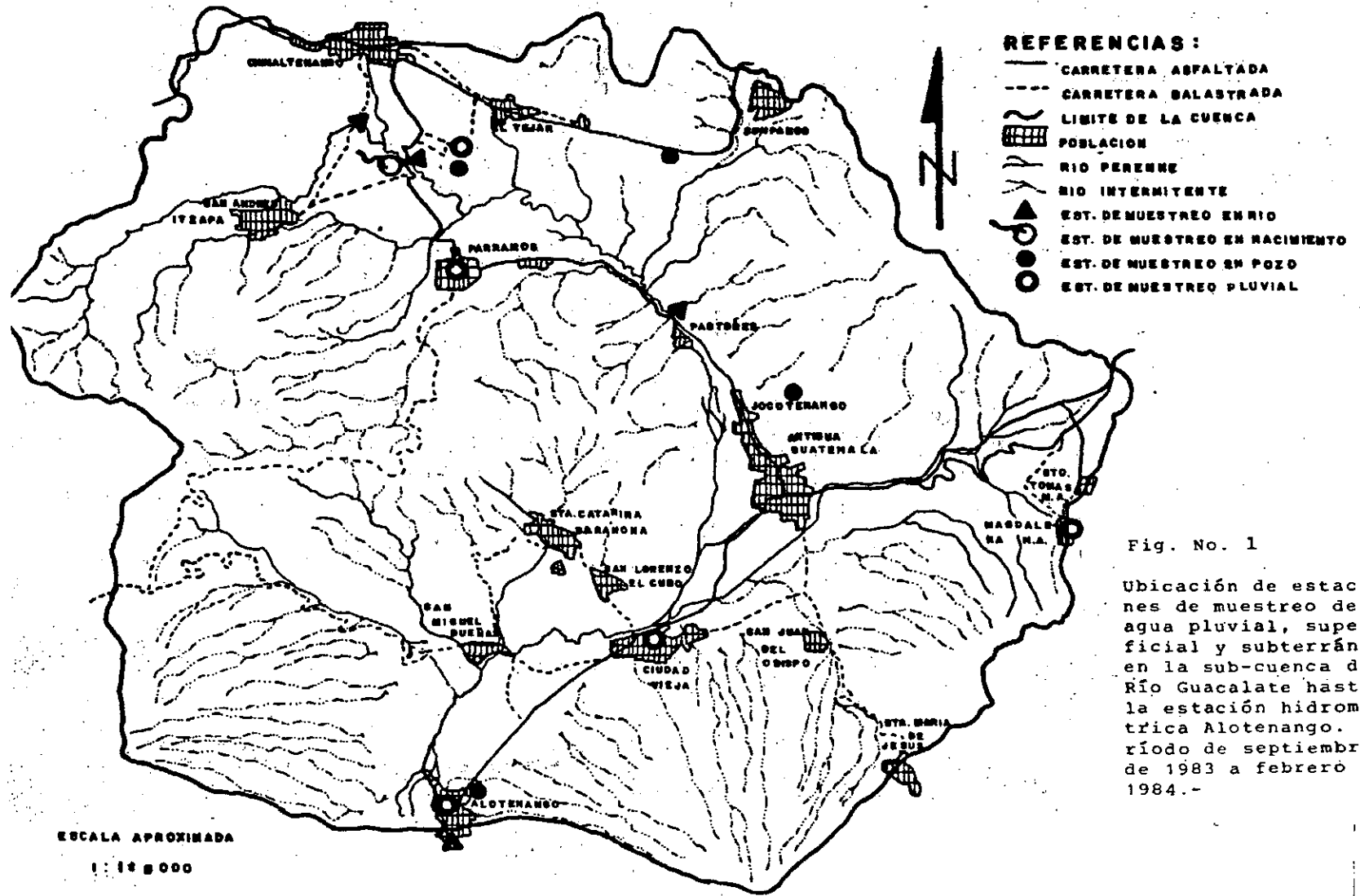


Fig. No. 1

Ubicación de estaciones de muestreo de agua pluvial, superficial y subterránea en la sub-cuenca del Río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango. período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.-



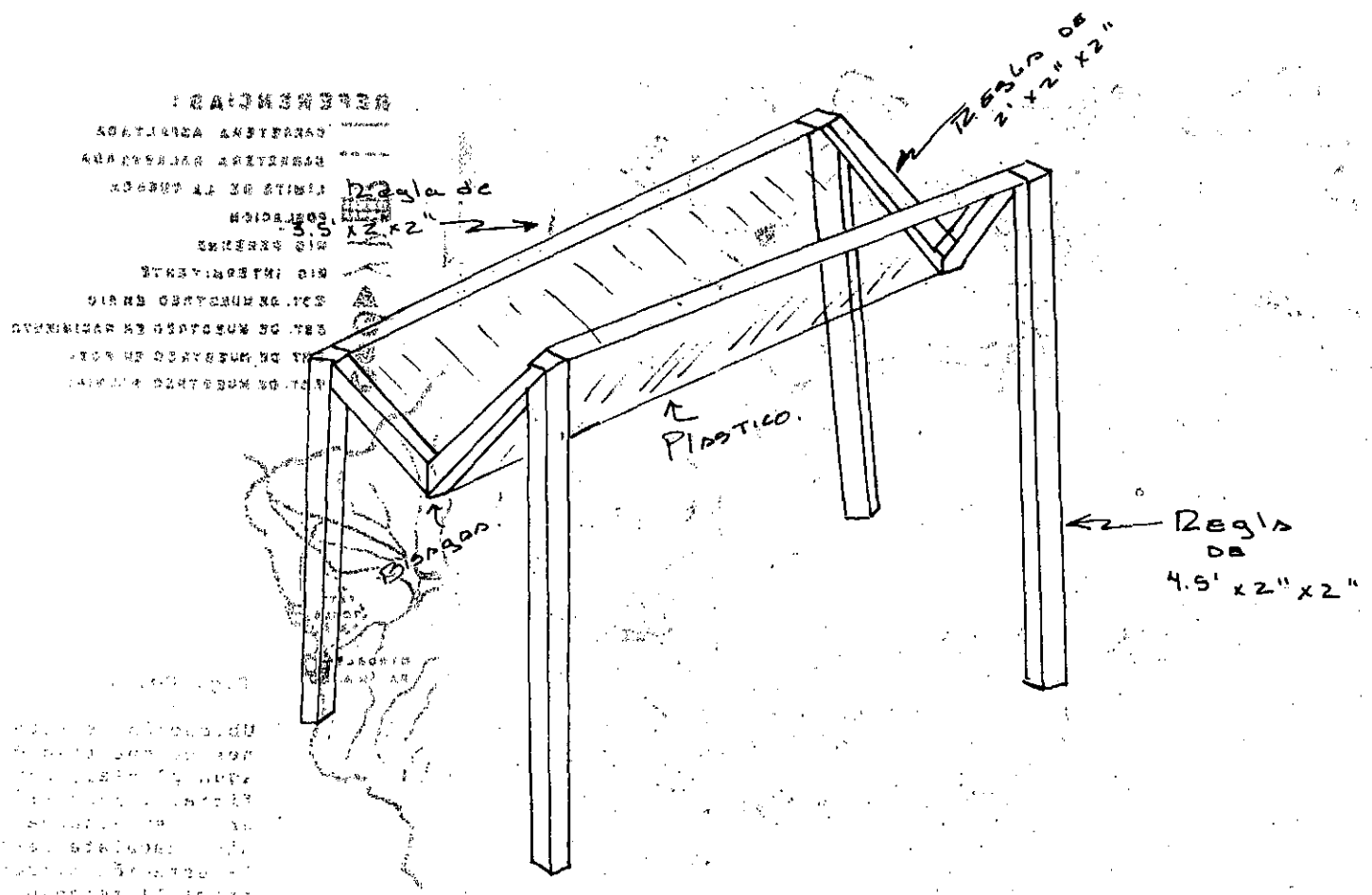


Fig. 2 Colector rústico de madera y plástico para agua pluvial (el dibujo no está hecho a escala).

ventario de pozos que de la cuenca existe en el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH.

Los puntos de muestreo elegidos fueron: Granja El Pon-Pon en Sumpango, Estación Experimental del ICTA en Chimaltenango, Finca Filadelfia en Jocotenango y Finca El Pedregal en Alotenango.

### C. Agua Superficial:

Este se consideró el aspecto más importante del estudio de calidad ya que el agua superficial es la más susceptible a la contaminación; lamentablemente solo fue posible muestrear la corriente principal y en puntos bastante separados. Los puntos de muestreo fueron minuciosamente estudiados para no desperdiciar un punto de muestreo que perdiera la relación con los demás. Las estaciones de muestreo establecidas fueron:

a. Puente San Andrés: Puente ubicado en la ruta departamental número 7 que de la población de Chimaltenango conduce a San Andrés Itzapa; aquí la corriente recibe el nombre de río Itzapa. El punto de ubicación de la estación de muestreo se eligió por encontrarse al inicio de la corriente principal y por estar poco sujeta a la contaminación.

b. Puente Los Aposentos: Este punto está ubicado abajo del puente que está a la entrada del Balneario Los Aposentos, por la ruta nacional número 14 que de la cabecera departamental de Chimaltenango conduce a la ciudad de Antigua Guatemala. Este punto se eligió a pesar de encontrarse bastante cercano al anterior (aproximadamente 2 Kms. en la corriente) porque se apreciaba el cambio en el aspecto del agua pues ya en este punto recibe di-

rectamente los desagües de la población de Chimaltenango lo cual afecta la calidad del agua.

c. Nacimiento Los Aposentos: Ubicado en el balneario del mismo nombre, este punto se eligió porque se deseaba tener un punto de comparación para la calidad del agua del río. Se considera que el agua de este nacimiento representa la calidad natural del agua superficial en esa zona.

d. Puente Pastores: Esta estación se ubicó 50 metros aguas abajo del puente a la entrada de la población de Pastores, por la ruta nacional, número 14 que conduce de Chimaltenango hacia la Antigua Guatemala. Este punto se eligió por considerarse lo suficientemente distante del anterior, por poderse apreciar un cambio a simple vista en el aspecto del agua y antes de entrar a poblados grandes tales como Jocotenango, Antigua Guatemala y Ciudad Vieja los que con la descarga en el río de sus aguas servidas tendrán un efecto modificador en la calidad del agua.

En éste punto el río ya se conoce con el nombre de GUACALATE.

e. Puente Alotenango: Este punto se eligió por ser la salida del área de estudio y porque es el último punto densamente poblado de la cabecera de la cuenca.

#### 2.5 Método de Muestreo:

El muestreo se realizó durante seis meses: septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 1983 y enero y febrero de 1984. Se tomaron muestras durante tres meses de la estación lluviosa y tres de la estación seca. La frecuencia de muestreo fue de una cada mes debido a la poca disponibilidad de recursos.

De las fuentes muestreadas, se efectuaron análisis bacteriológicos únicamente para el agua superficial y la subterránea. Análisis físico-químicos se efectuaron para las tres fuentes (pluvial, superficial y subterránea).

La muestra pluvial se colectó en la forma ya indicada y, por ser un fenómeno natural y eventual, no fue posible determinar un día específico de muestreo. Debido a ello fue necesario solicitar la colaboración de una persona responsable de la localidad para que tomara la muestra de la lluvia más próxima a la fecha de recorrido general de la cuenca cada mes.

El agua subterránea se muestreó del punto de salida más cercano a la bomba del pozo. En el caso de las muestras para análisis físico-químicos, esta se colectó en tambos plásticos y para análisis bacteriológicos en frascos de cristal, con tapón esmerilado, previamente esterilizados en auto-clave. En todos los casos, luego de accionar la bomba, se abrió la válvula de salida y se dejó correr el agua por un tiempo prudencial para luego llenar el frasco a 3/4 de su capacidad total y taparlo antes de retirarlo. Cada frasco ya con la muestra de agua se identificó y se transportó en refrigeración en una hielera.

El agua superficial se muestreó a media corriente y a media profundidad, sin agitar el fondo; el recipiente se enjuagó dos veces con el agua de la corriente donde se iba a muestrear en el caso de la muestra para análisis físico-químico. En el caso de la muestra para análisis bacteriológico, el frasco se destapó directamente dentro del agua y allí mismo volvió a taparse antes de retirarlo para evitar influencias extrañas; también se identificó la muestra y se transportó en refrigeración.

#### 2.6 Análisis de Muestras:

Los análisis físico-químicos se efectuaron en los

laboratorios de estudios de Suelo y Agua de DIRYA.

Los parámetros obtenidos de cada análisis fueron los establecidos internacionalmente para determinar calidad de agua para riego.

El análisis bacteriológico fue realizado en los laboratorios de microbiología de la Facultad de Agronomía. Este análisis se inició (sembrado de tubos) a un plazo no mayor de 24 horas de colectada la muestra (tiempo durante el cual la muestra se mantuvo en refrigeración). El método empleado fue el de tubos múltiples que consiste en determinar la presencia y número de bacterias coliformes mediante la siembra de una serie de porciones de un volumen determinado de muestra en tubos que contienen un medio favorable de cultivo. La prueba se basa en la característica de las bacterias coliformes de producir gas y se realiza a través de tres fases no necesariamente en una secuencia ininterrumpible. Para el caso del presente estudio se realizaron solamente las dos primeras fases o sea la prueba presuntiva y la prueba confirmada pues con ello se aseguraba la presencia o ausencia de bacterias coliformes (tomado del Manual de Procedimientos Simplificados para el Examen de Aguas, AWWA, 1966).

V

#### PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS:

##### 1. Cuantificación del recurso agua:

Esta es una de las partes más importantes del estudio y quizá donde los resultados resultan más escasos debido al tipo de información necesaria, ya que en algunos casos no se ha publicado, tiene algunas divergencias o no se han llevado a cabo registros para la totalidad del área.

Desde luego que lo deseable hubiese sido elaborar un modelo hidrológico para la cuenca pero para ello hay nece-

sidad de tomar algunas suposiciones las cuales se pueden aclarar mejor tomando en conjunto los cuatro trabajos que sobre la cuenca realiza el IIA (Caracterización preliminar, estudios de vegetación, suelo y agua), también es necesario seguir recopilando información ya que actualmente se toman algunos datos de caudales por aforos eventuales en la zona de la planicie costera y también se inauguró recientemente (junio, 1984) una estación de registros linnigráficos en la subcuenca del río Guacalate a la altura de San Luis Las Carretas en el departamento de Sacatepéquez lo cual ayudará grandemente para el estudio de crecidas.

Para iniciar esta presentación de resultados fue necesario corregir el mapa que de la cuenca se presentó en la caracterización preliminar (Nufio, 1982), ya que de acuerdo al que en 1983 elaboró el IIA no concuerda con el área y límites de la cabecera de la cuenca. Esto fue posible corregirlo ya que el grupo de investigación de suelos comprobó por métodos fotogramétricos, cartográficos, planimétricos y visitas de campo, los límites de la cuenca y en una comunicación de los grupos de estudios de cuencas con el Ingeniero Víctor Aragón, Jefe de la División de aguas subterráneas del INSIVUMEH, corroboró que si existía el error y que este ya fue corregido, aunque el boletín hidrológico que lo presenta no ha sido publicado aún. Esta diferencia corresponde a la cabecera de la cuenca en el área de influencia de la estación hidrométrica Alotenango y representa aproximadamente el 16% del área; los boletines hidrológicos hasta el del año hidrológico 1979-1980 reporta un área de 328.05 Km<sup>2</sup> y la comprobación del IIA para este estudio arroja un área de 390.58 Km<sup>2</sup>; la delimitación corregida se presenta en los mapas de isoyetas e isopletas que se utilizaron para la cuantificación de precipitación y evapotranspiración respectivamente.

Antes de entrar de lleno a la cuantificación de cada aspecto, es de hacer notar que se tomaron dos puntos de control para la cuenca siendo uno de ellos la estación hidrométrica Alotenango de la cual se obtuvieron los datos de registros para un período de seis años (1974-1980) y el otro es un punto hipotético que el INDE estableció en el período 1971-1972 (Nufio, 1982) en el cual y por un estudio regional de cuencas se determinó un índice de variabilidad y una curva sintética para toda la cuenca, este punto recibe el nombre de estación Desembocadura.

#### A. Cuantificación de la precipitación:

El análisis de las isoyetas medias anuales correspondientes a los años de 1953-1972 (Fig. No. 3 ), da un volumen de precipitación de 438.98 millones de metros cúbicos anuales para la cabecera de la cuenca hasta la estación Alotenango y de 2,697.80 millones de metros cúbicos anuales para toda la cuenca. Individualmente se pudo observar que las isoyetas de la cabecera de la cuenca están entre las de menor precipitación anual de toda la cuenca, variando de los 1000 a los 2000 milímetros anuales y las más altas precipitaciones se encuentran concentradas en el pie de monte del litoral pacífico lo cual evidencia un marcado efecto orográfico y puede ser observado al comparar las curvas de variación estacional de la lluvia (Figs. 4 al 13) correspondiendo a la cabecera de la cuenca (aguas arriba de la estación Alotenango) las estaciones pluviométricas El Tejar, Florencia, Antigua y El Potrero; para el pie de monte del litoral pacífico, Ceylán, Sabana Grande, San Andrés Osuna y Escuintla E.E.; para la planicie del pacífico Santa María y San José.

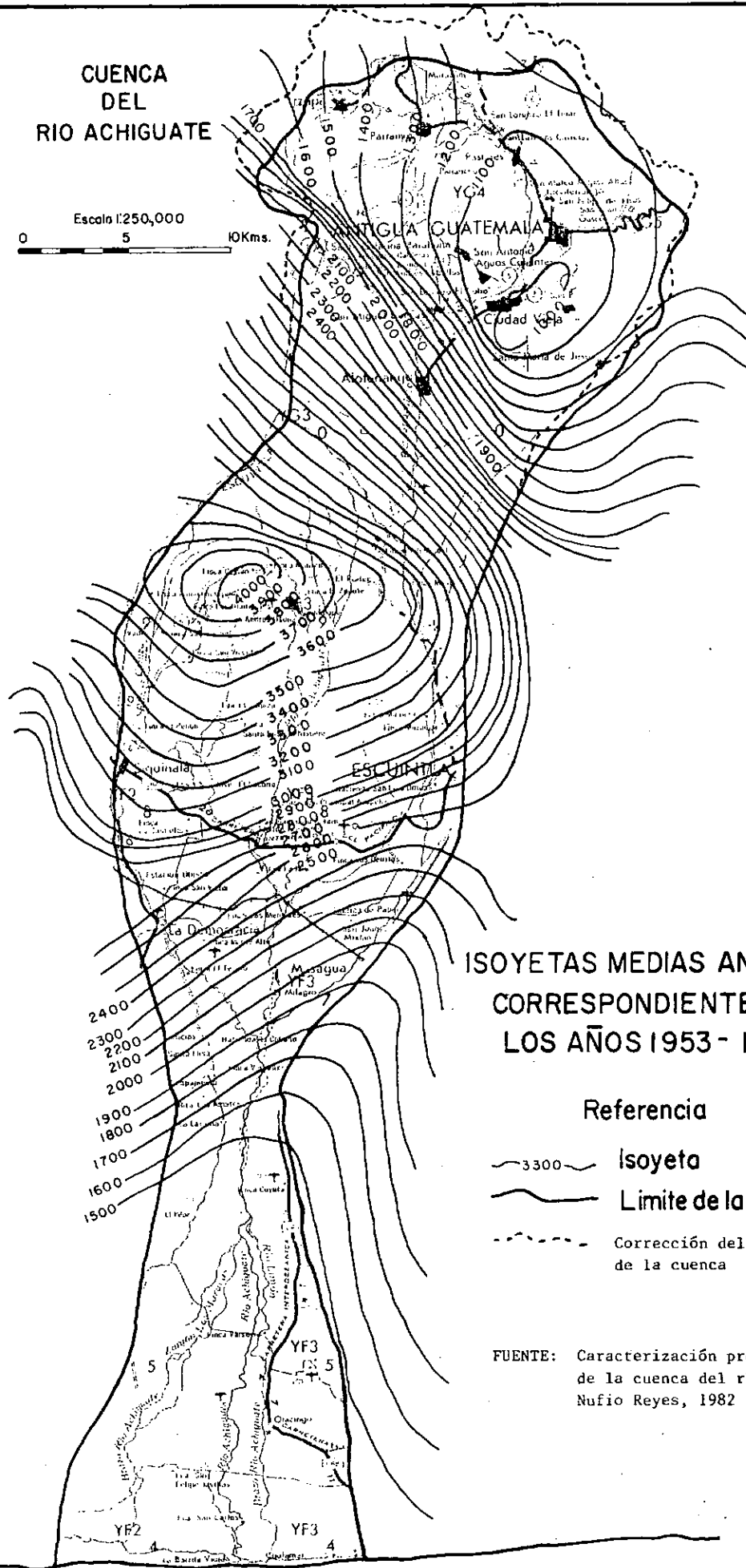
#### B. Cuantificación de la evapotranspiración potencial:

Según las isolíneas de evapotranspiración potencial

**CUENCA  
DEL  
RIO ACHIGUATE**

Escola 1:250,000

0 5 10 Kms.



**ISOYETAS MEDIAS ANUALES  
CORRESPONDIENTES A  
LOS AÑOS 1953 - 1972**

**Referencia**

- 3300 — Isoyeta
- — — Limite de la cuenca
- - - - - Corrección del límite de la cuenca

FUENTE: Caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate Nufio Reyes, 1982

**OCEANO PACÍFICO**

Fig. No. 3



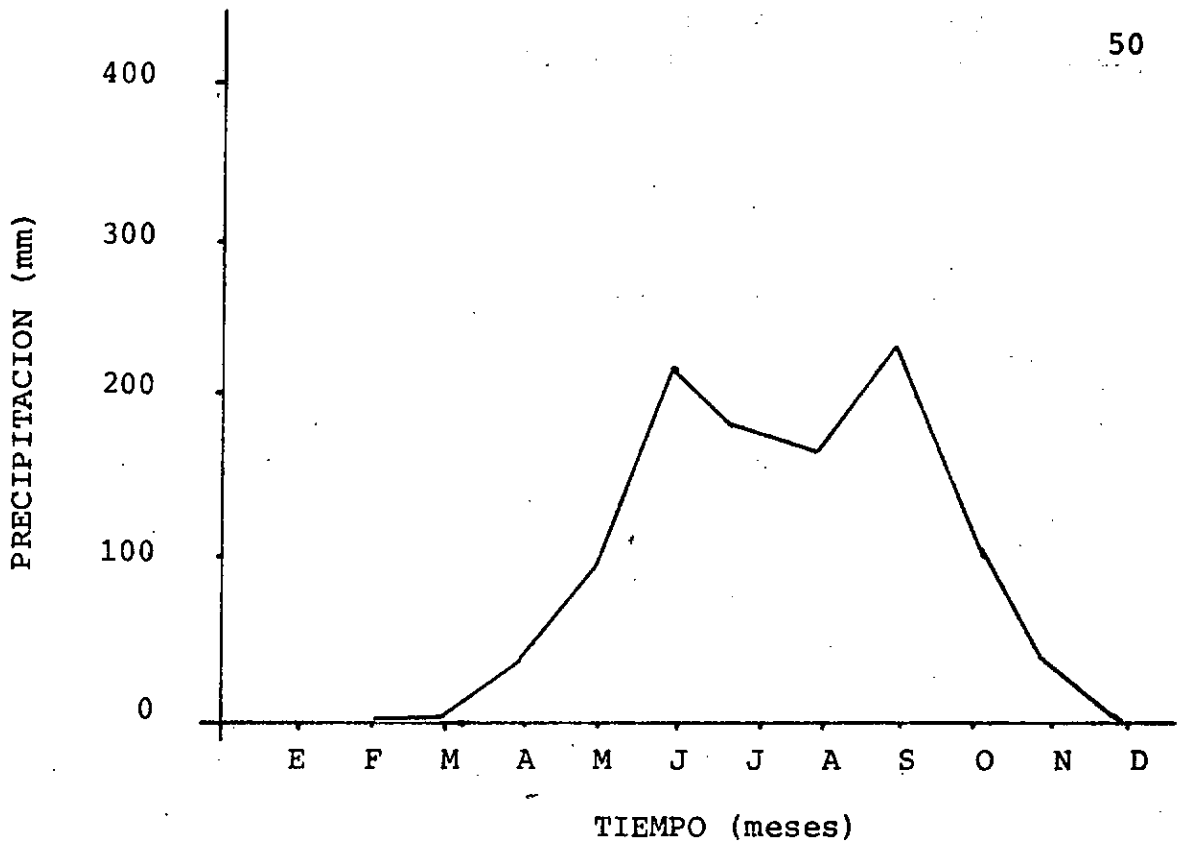


Fig. No. 4 Curva de variación mensual de la lluvia para la estación El Tejar durante el período de registro de 1960 a 1969.

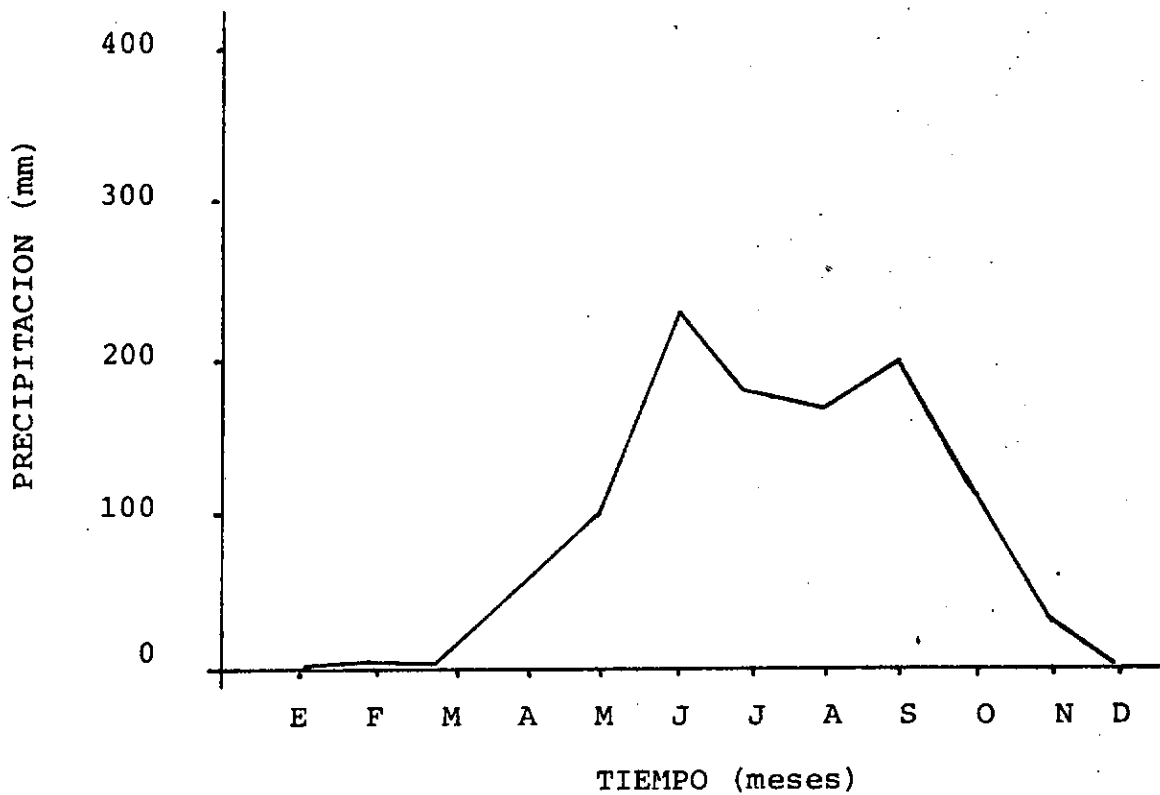


Fig. No. 5 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Florencia durante el período de registro de 1960 a 1979

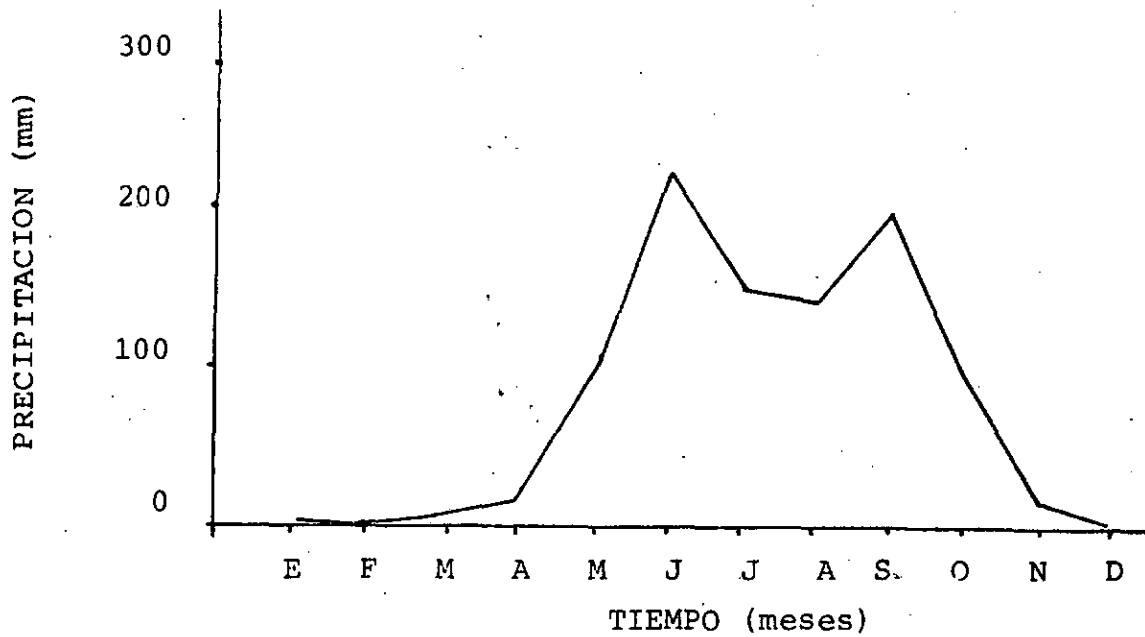


Fig. No. 6 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Antigua durante el período de registro de 1960 a 1979.

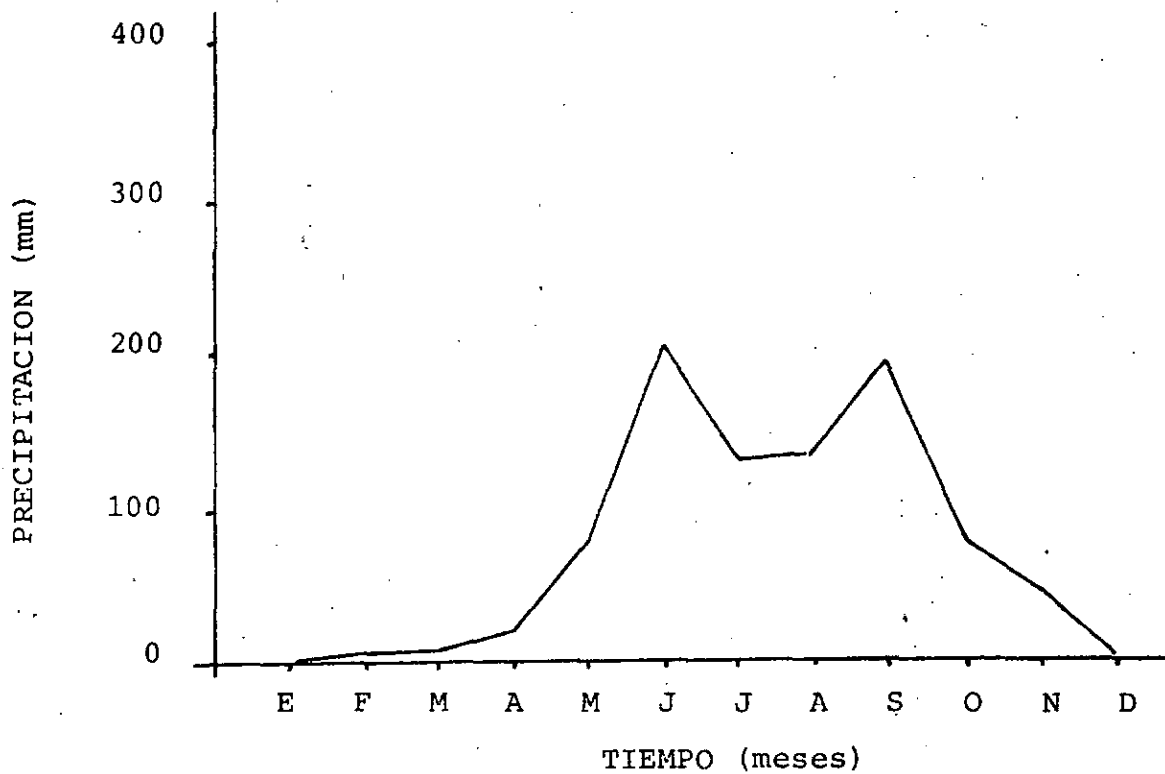


Fig. No. 7 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación El Potrero durante el período de registro de 1960 a 1979.

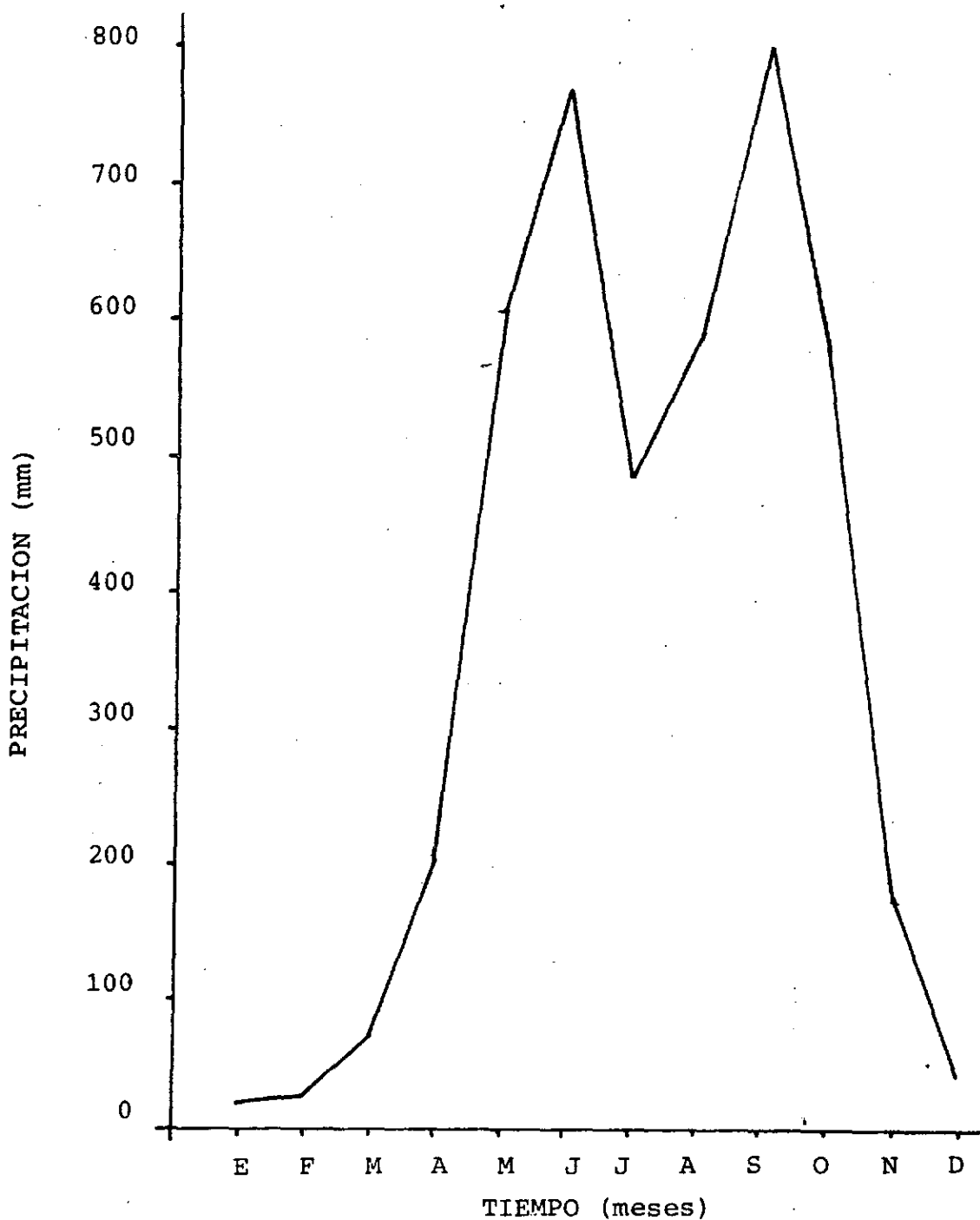


Fig. No. 8 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Ceylan durante el período de registro de 1960 a 1979.

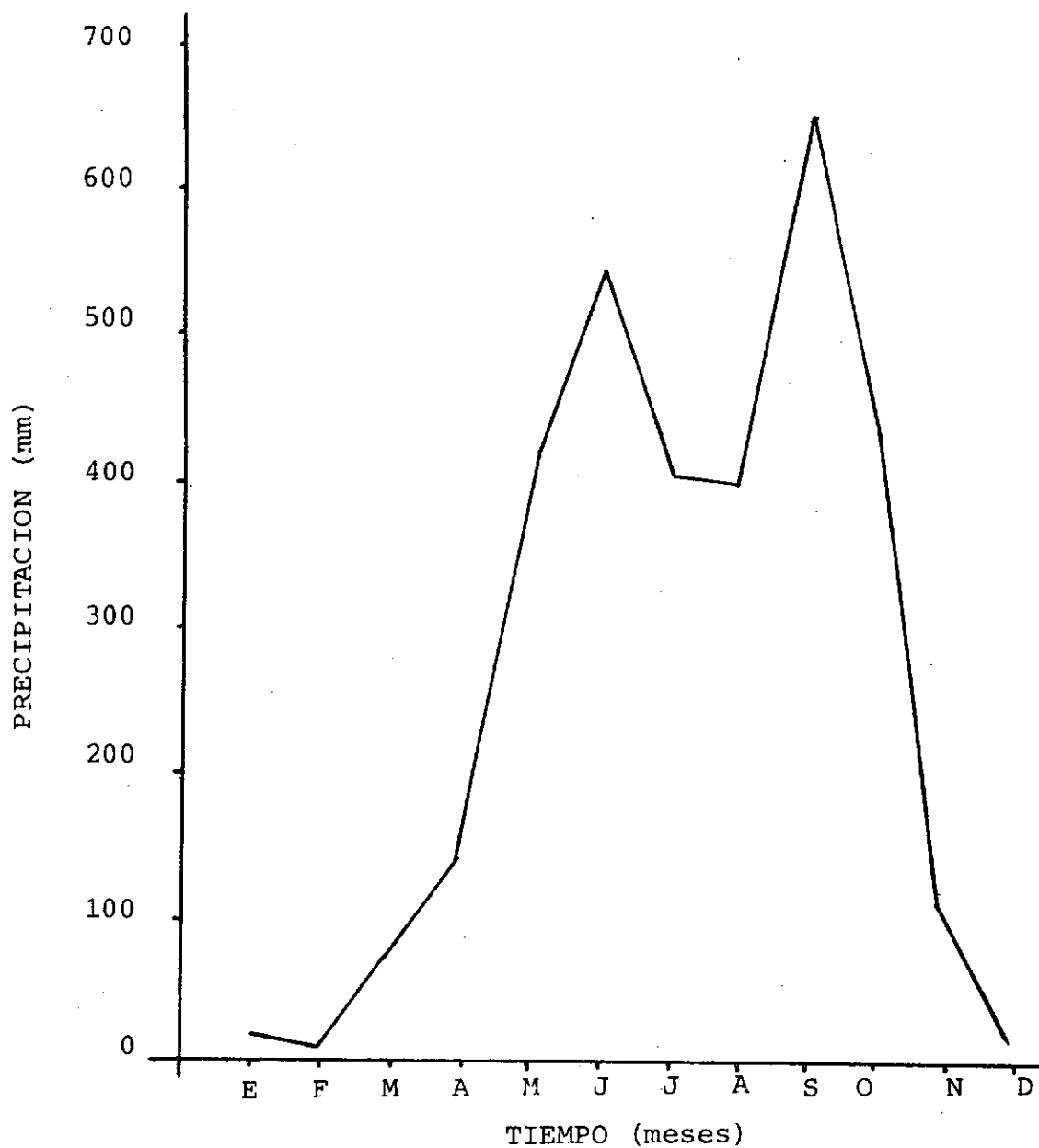


Fig. No. 9 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Sabana Grande durante el período de registro de 1970 a 1979.

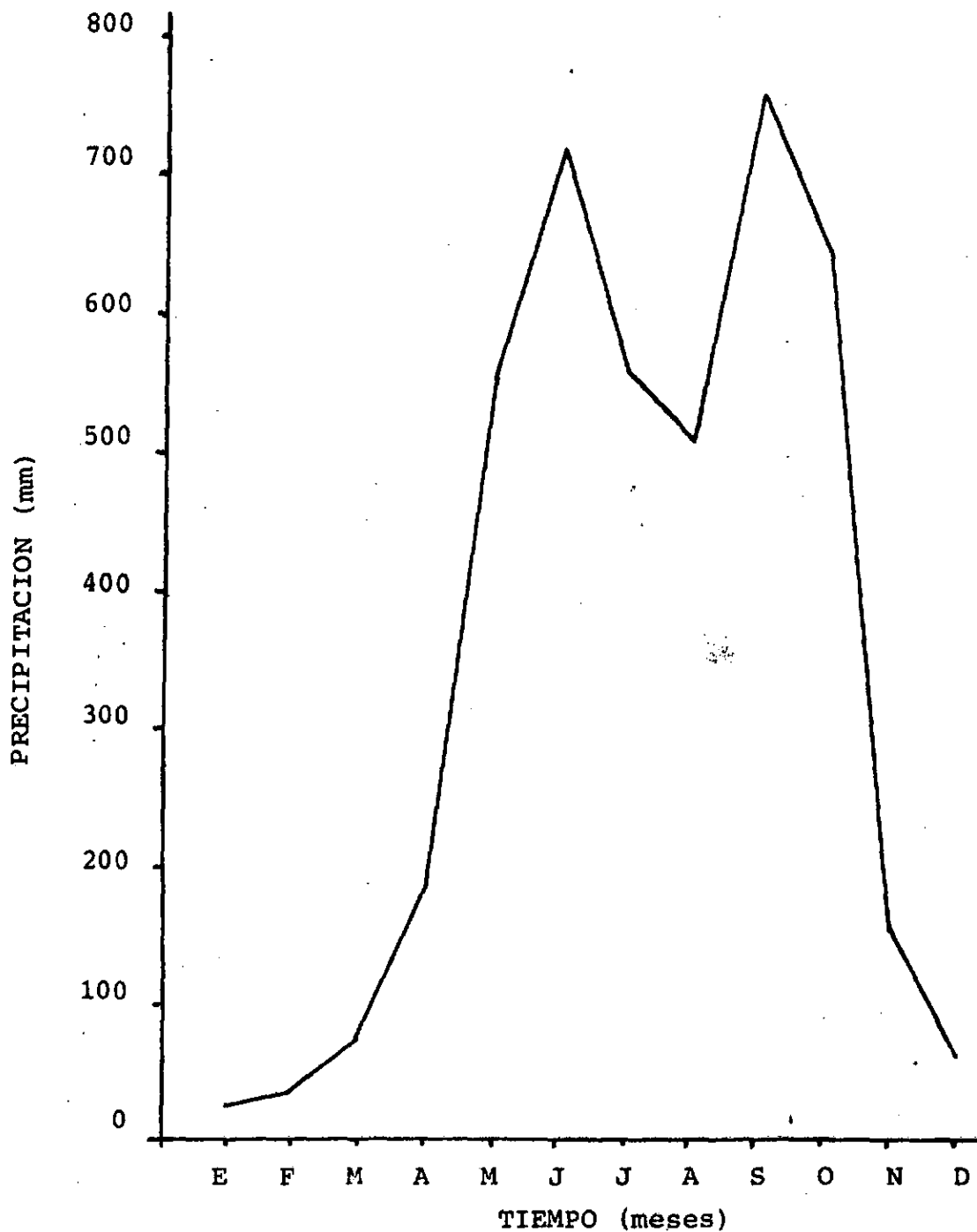


Fig. No. 10 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación San Andrés Osuna durante el período de registro de 1960 a 1979.

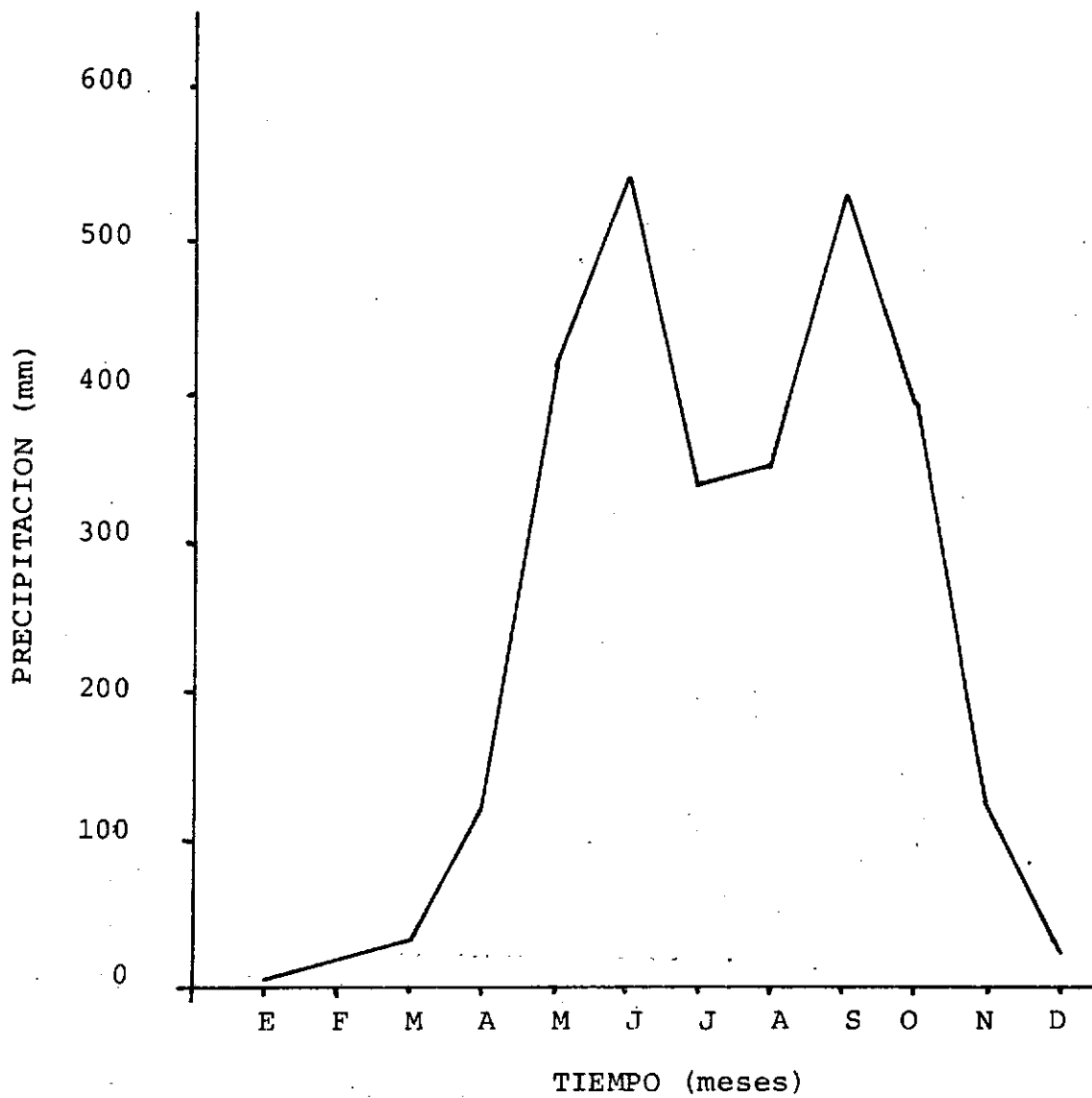


Fig. No. 11 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Escuintla EE durante el período de registro de 1960 a 1979.

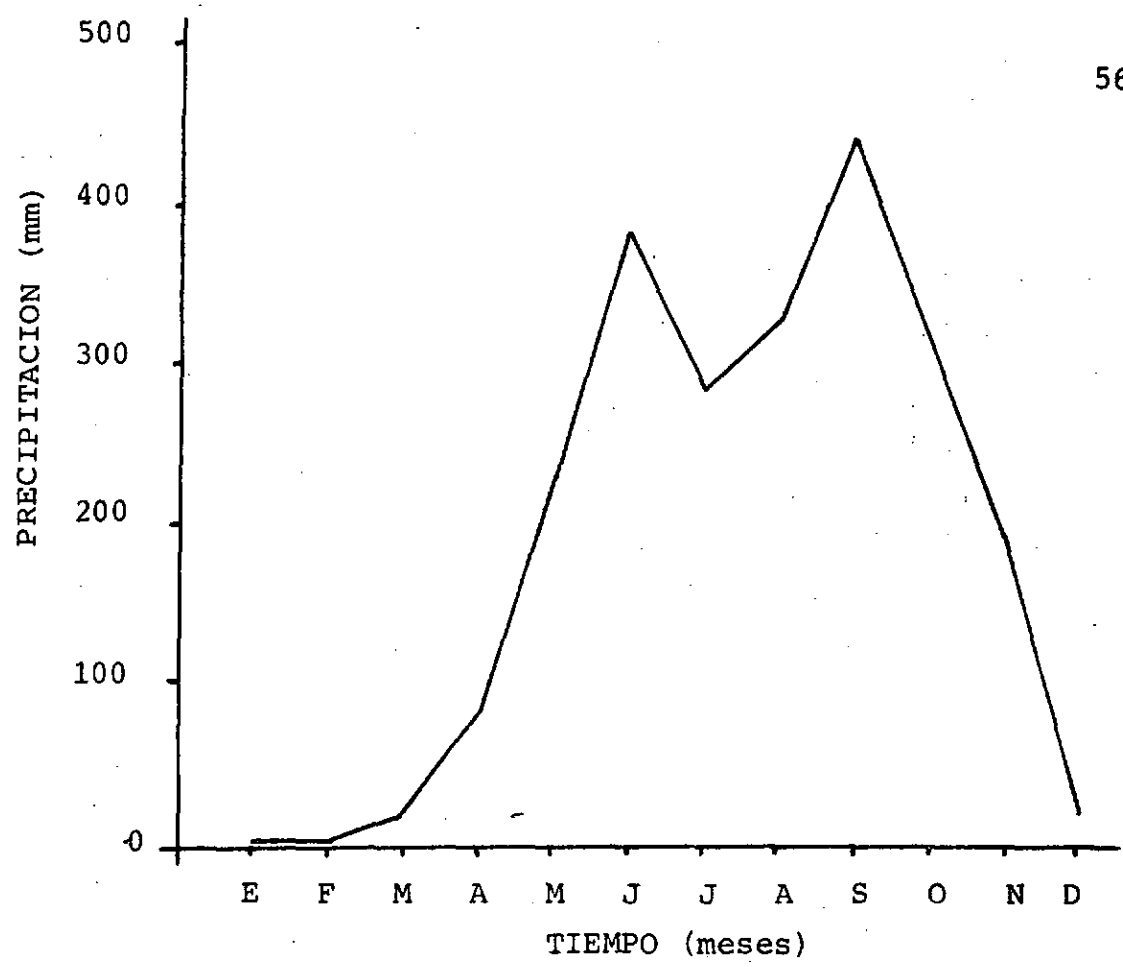


Fig. No. 12 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación Sta. María durante el período de registro de 1960 a 1979.

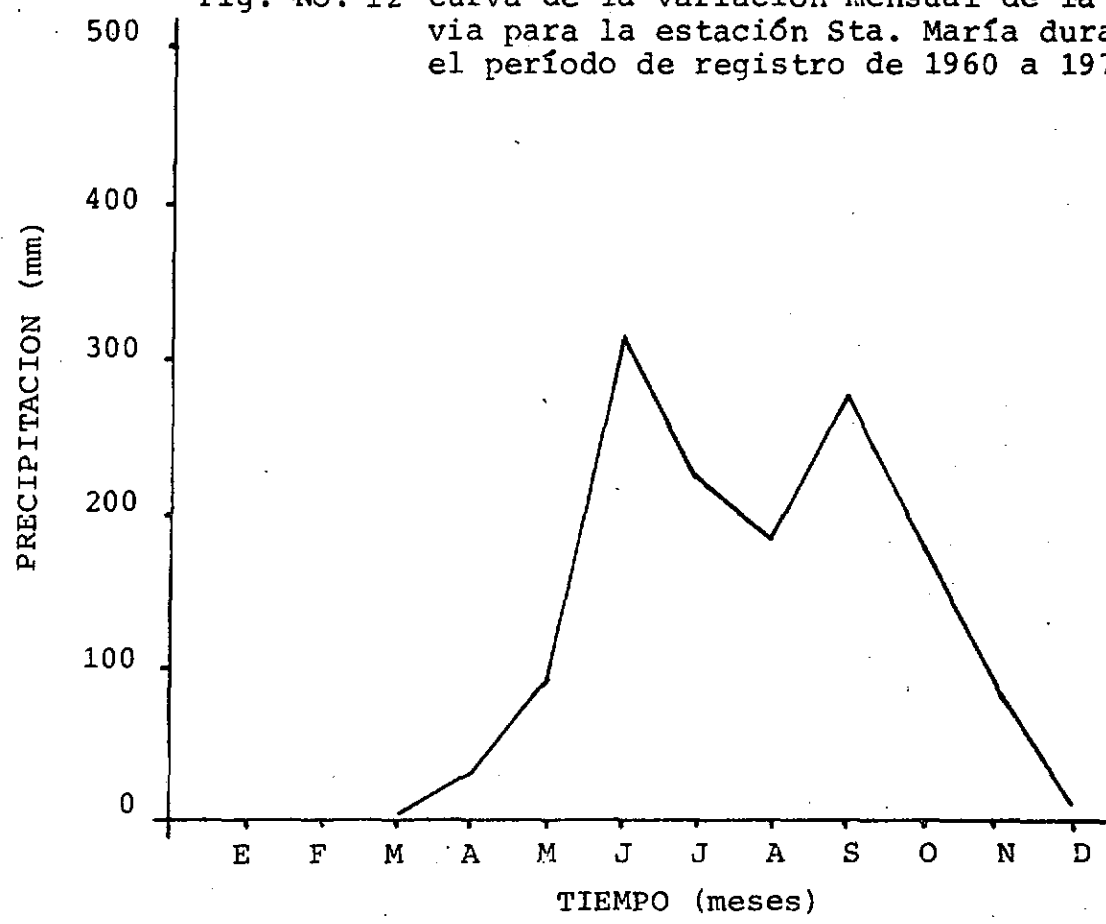


Fig. No. 13 Curva de la variación mensual de la lluvia para la estación San José durante el período de registro de 1960 a 1969.

del Atlas Climatológico elaborado por el INSIVUMEH (1982), para el período de 1964 a 1978 (citado por Nufio, 1982) (Fig. No. 14) se observó que el promedio anual de este parámetro varía de 800 mm. anuales en la cabecera de la cuenca a un valor de 1700 mm. anuales en la parte baja de la misma.

La evapotranspiración potencial estimada para la cabecera de la cuenca asciende a 321.92 millones de metros cúbicos anuales y de 1576.83 millones de metros cúbicos anuales para toda la cuenca.

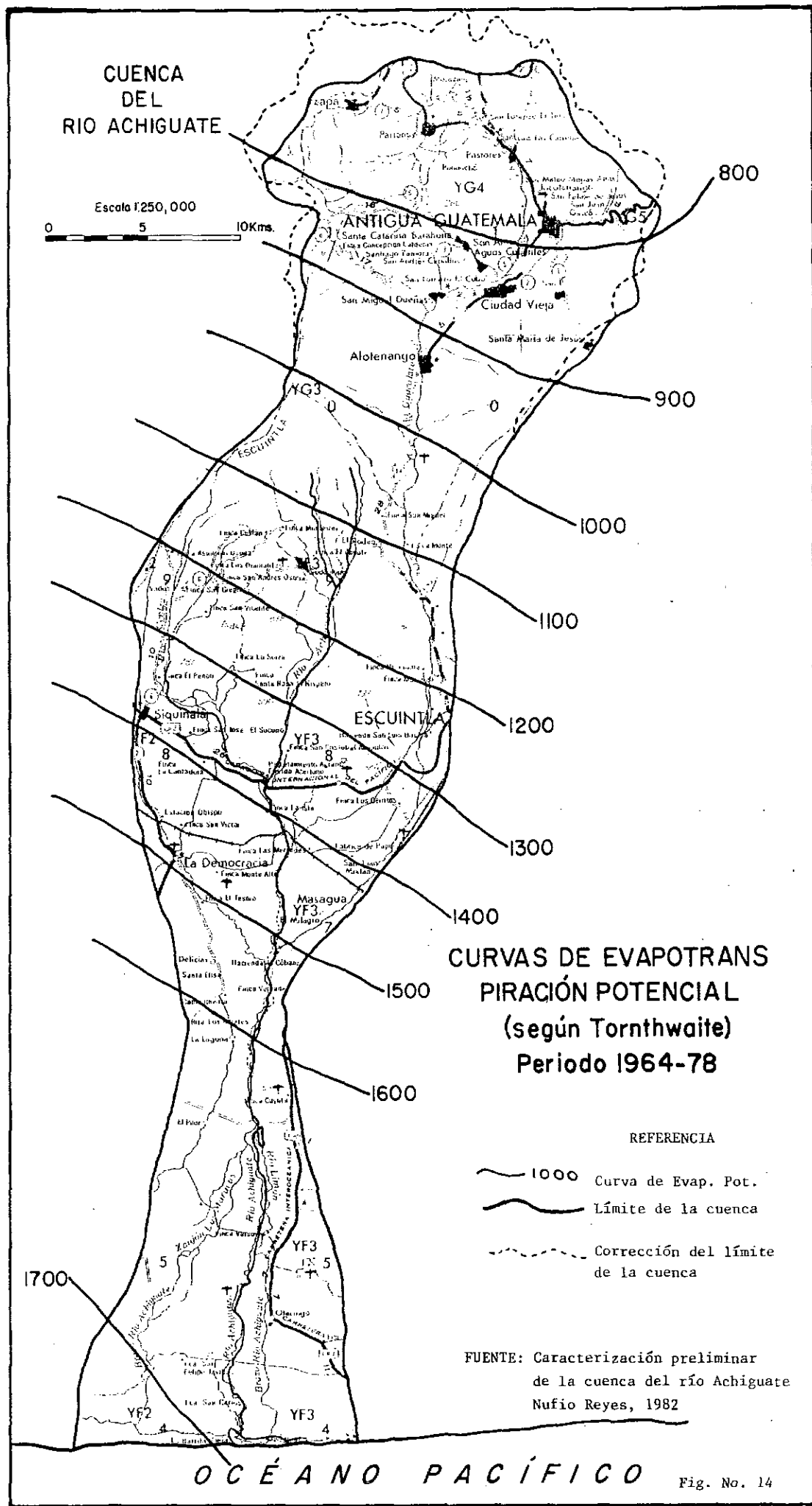
### C. Cuantificación del escurrimiento superficial:

La curva de duración de caudales diarios para la estación hidrométrica Alotenango (Fig. No.15 ) presenta una pendiente grande en el inicio, lo cual de acuerdo a Pellecer (1968), indica poco almacenamiento en la zona de crecidas y en cuanto a las avenidas serán tan variables como la lluvia misma, también indica que las posibilidades de desarrollo de la cuenca son limitados, por lo cual es necesario tomar las medidas pertinentes para hacer variar esta situación por medio de proyectos de conservación, almacenamiento y distribución racional del recurso agua.

Este tipo de curva es típico para las cuencas de la parte alta de la vertiente del pacífico, ya que por sus características de pendiente y material parental de los suelos las corrientes serán tan inestables a menos que exista algún tipo de embalse natural o artificial que tienda a estabilizarlo.

En cuanto al índice de variabilidad, el valor de 0.2069 (ver apéndice) indica que el régimen de caudales del río no tiene excesiva variabilidad; además, Pellecer 1968, encontró que todas las cuencas en Guatemala que presentan un valor menor de 0.30 son de roca permeable. Tomando esto como base se puede considerar que este es el caso de la subcuenca del río Guacalate al menos hasta el





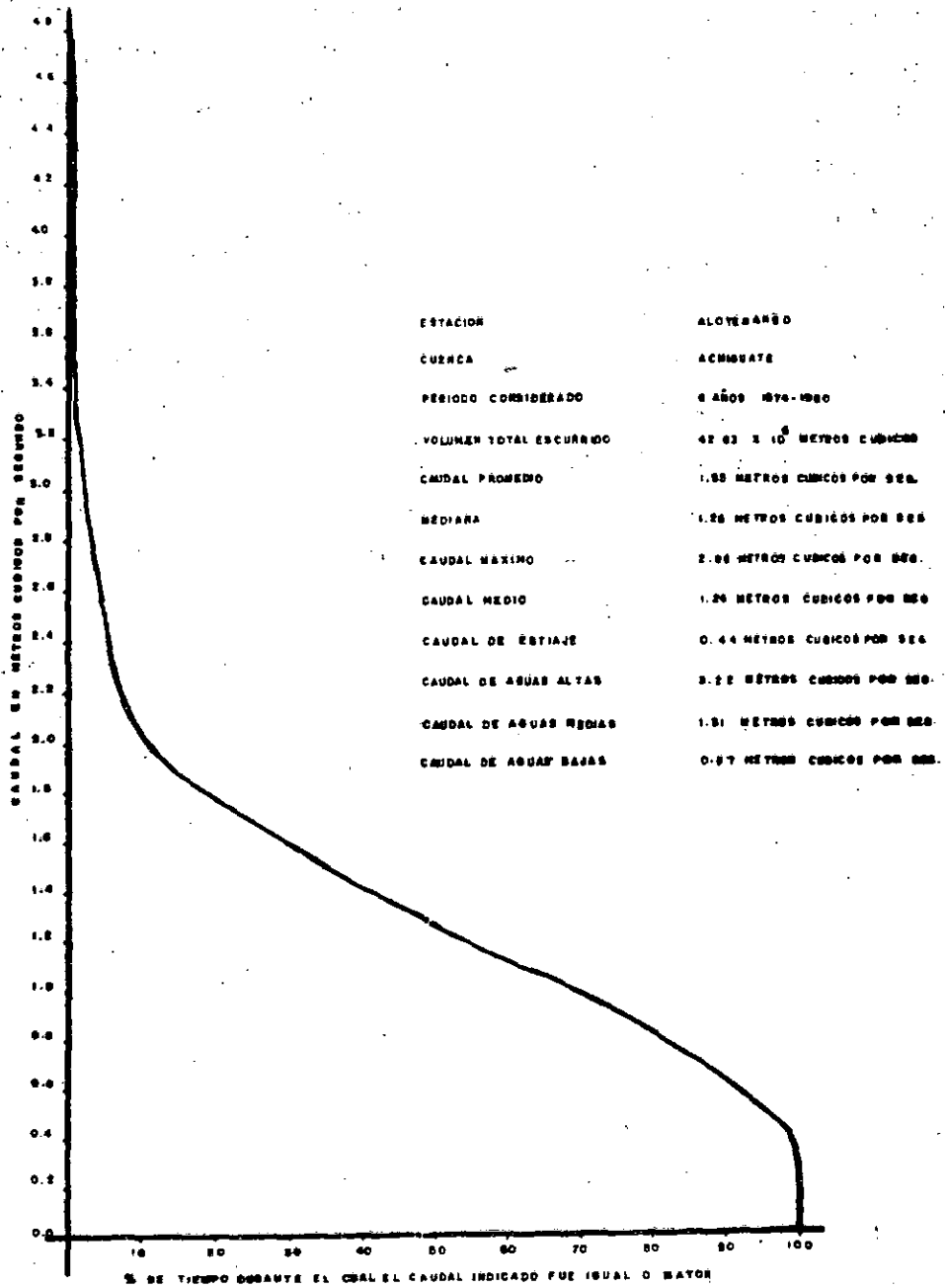


Fig. 15 Curva de duración de caudales medios diarios para la estación hidrométrica Alotenango en la sub-cuenca del río Guacalate.

punto considerado.

Por otro lado, se puede realizar una comparación con la curva de duración de caudales elaborada en forma sintética para toda la cuenca del río Achiguate (Fig. No.16) En ella el índice de variabilidad es de 0.29 lo cual indica una mayor variabilidad para la totalidad de la cuenca que para la cabecera de la misma. Es este caso lo más aconsejable luego de conocer este resultado sería tratar de ubicar estaciones de registros de caudales, en puntos que permitan realizar estudios de escurrimiento superficial para tres diversas regiones, las cuales (Nufio, 1982) citando el Atlas Nacional de Guatemala, nombra como tierras altas volcánicas, pendiente volcánica reciente y llanura costera del pacífico, regiones en las cuales también se presentan diversos patrones pluviográficos bien definidos como puede observarse en las curvas de variación mensual de la lluvia para las estaciones allí ubicadas (Figs. 4 a 13).

En cuanto a la esorrentía para la estación Alotenango, se estimó un caudal promedio de 1.35 metros cúbicos por segundo lo que representa un volumen total escurrido de 42.63 millones de metros cúbicos al año y para la estación Desembocadura, se estima un caudal promedio de 21.50 metros cúbicos por segundo lo cual representa un volumen total escurrido de 677.96 millones de metros cúbicos por año.

#### D. Balance de entradas y salidas:

Aquí no se puede hablar de un balance hidrológico ya que no se estimó el comportamiento del agua subterránea y se refiere únicamente a la cuantificación de la precipitación como entrada de agua a la cuenca y la esorrentía superficial más la evapotranspiración potencial como salidas y se supuso que la diferencia de entradas y salidas

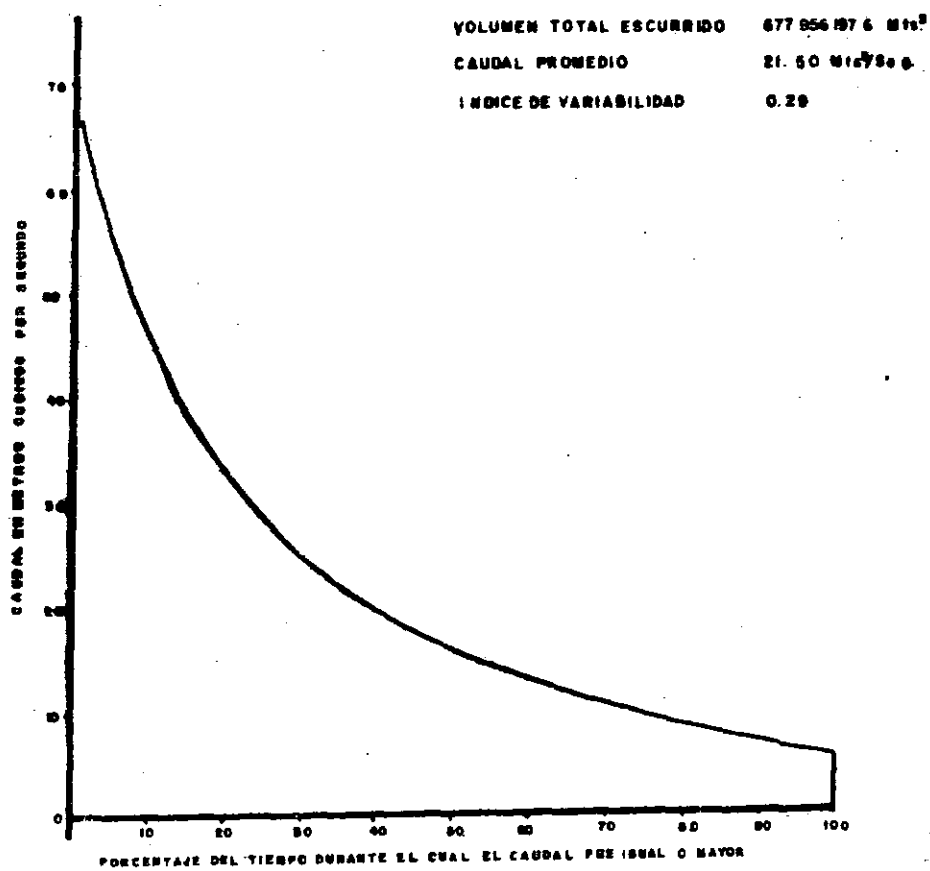


Fig. 16 Curva de duración de caudales (sintética) para la estación de Desembocadura de la cuenca del río Achiguate.

viene a ser el almacenamiento.

Este almacenamiento se estimó para dos áreas especificadas siendo una de ellas la influenciada por la estación hidrométrica Alotenango en la subcuenca del río Guacalate y para toda la cuenca del río Achiguate, con punto de control en la estación Desembocadura.

Estación Alotenango:

Precipitación Pluvial:	(+)	438.98 x 10 <sup>6</sup>	mts. <sup>3</sup>	anuales
Evapotranspiración Potencial:	(-)	321.92 x 10 <sup>6</sup>	"	"
Escorrimento Superficial:	(-)	42.63 x 10 <sup>6</sup>	"	"
<hr/>				
Almacenamiento estimado:	(+)	74.43 x 10 <sup>6</sup>	"	"

Estación Desembocadura:

Precipitación Pluvial:	(+)	2697.80 x 10 <sup>6</sup>	mts. <sup>3</sup>	anuales
Evapotranspiración Potencial:	(-)	1576.83 x 10 <sup>6</sup>	"	"
Escorrimento Superficial:	(-)	677.96 x 10 <sup>6</sup>	"	"
<hr/>				
Almacenamiento estimado:	(+)	433.01 x 10 <sup>6</sup>	"	"

En ambos casos el almacenamiento es positivo y también la evapotranspiración viene a ser el factor de mayor salida de agua de la cuenca.

Al hacer uso de estos datos para otro estudio deben tomarse con la reserva del caso, tomando en cuenta que al momento de realizarse el presente estudio no se han publicado aún los datos hidrológicos para los últimos cuatro años, período durante el cual las cuencas del pacífico han sufrido cambios drásticos debido a la presión de uso de sus recursos. Hay que recordar que la única estación de registro hidrológico tomada en cuenta abarca solamente un 35% de toda la cuenca y el resto no cuenta con ningún tipo de registro en cuanto a esorrentía, tampoco se tomó en

cuenta la dinámica del agua subterránea.

2. Calidad del recurso agua:

A. Fuente pluvial:

En el Cuadro No. 1 se presentan los resultados de los análisis de muestras de agua pluvial. La calidad del agua pluvial raras veces se ha analizado y en los casos en que se ha hecho es cuando ha existido un problema detectado con anterioridad tal como contaminación atmosférica. En el presente caso, este aspecto se tomó en cuenta para tener información cualitativa no solo de las salidas de agua de la cuenca concebida como sistema, sino también de sus entradas, aunque es lamentable que solo se pueda contar con parámetros cualitativos de agua para riego. A primera vista de los resultados puede verse que el agua es de la mejor calidad para cualquier uso que quiera dársele. Sin embargo, es necesario hacer una comparación más minuciosa de los resultados para tratar de buscar un patrón de comportamiento, si lo existiera.

El parámetro que más llama la atención es el pH cuyo valor medio estuvo en 6.5 con un valor máximo de 7.15 y un mínimo de 5.90 lo cual dió un rango de 1.25 entre los valores extremos. Este rango denota una variación que bien vale la pena discutir.

El pH del agua pluvial presenta un comportamiento tal que sus valores medios tienden a la acidéz, de acuerdo a la clasificación siguiente:

Acidéz	moderada	5.5 - 6
Acidéz	débil	6.0 - 6.6
Acidéz	muy débil	6.6 - 6.9
Alcalinidad	muy débil	7.0 - 7.5

En el rango de acidéz moderada se encontraron solamente dos valores puntuales y correspondieron al último mes de muestreo pluvial en las ciudades de Ciudad Vieja y

CUADRO No. 1 Resultados del análisis cualitativo de muestras de agua pluvial recolectadas en la subcuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período septiembre a noviembre de 1983.

ESTACION Y FECHA DE MUESTREO		MAGDALENA M.A.		ICTA CHIMALT.		PARRAMOE			CIUDAD VIEJA			ALOTENANGO			
		22/9/83	10/10/83	22/ 9/83	10/10/83	22/9/83	10/10/83	17/12/83	20/9/83	10/10/83	17/11/83	22/9/83	10/10/83	17/11/83	
pH		6.5	6.61	6.40	6.19	6.40	6.47	6.49	7.15	6.78	5.96	7.15	6.50	5.90	
CE x 10 <sup>6</sup> a 25°C		11	0.1	11	0.1	21	10	63.4	9	16	8.3	20	12	21.9	
Sólidos en Solución (PPM)		7.5	0.00	7.5	0.00	15	10	55	2.5	10	2.5	5.0	2.5	17.5	
Suma de cationes Meq/litro		0.15	0.07	0.15	0.04	0.19	0.6	0.79	0.15	0.18	0.42	0.13	0.05	0.21	
Suma de aniones Meq/litro		0.48	0.11	0.45	0.15	0.50	0.10	0.54	0.49	0.11	0.35	0.55	0.12	0.31	
MILIEQUIVALENTES P/LITRO	CATIONES	Ca <sup>++</sup>	0.08	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	0.50	0.08	0.08	0.33	0.08	0.00	0.08
		Mg <sup>++</sup>	0.06	0.06	0.06	0.03	0.07	0.03	0.11	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.06
		Na <sup>+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.10	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.05
		K <sup>+</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.8	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02
	ANIONES	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.41	0.10	0.41	0.12	0.44	0.09	0.31	0.47	0.06	0.10	0.50	0.07	0.12
		Cl <sup>-</sup>	0.07	0.01	0.04	0.03	0.06	0.01	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.15
		% Sodio Soluble	6.67	14.29	6.67	25.00	5.26	33.33	12.66	6.67	11.11	9.52	15.38	16.67	23.81
RAS		0.04	0.06	0.04	0.08	0.04	0.16	0.18	0.04	0.08	0.09	0.09	0.08	0.19	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RES		0.27	0.04	0.27	0.09	0.29	0.06	0.00	0.33	0.00	0.00	0.39	0.04	0.00	
CLASE		C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	

Alotenango.

En el rango de acidéz débil se presentaron 7 valores que son la mayoría.

En el rango de acidéz muy débil se presentan dos valores que corresponden al muestreo de octubre en las poblaciones de Magdalena Milpas Altas y Ciudad Vieja.

Arriba de 7 se clasifica como alcalinidad muy débil y se presentan dos valores, con 7.15, en el mes de septiembre para las poblaciones de Ciudad Vieja y Alotenango.

Lo que llama la atención es que los valores más altos y más bajos corresponden a las mismas localidades: Ciudad Vieja (7.15 para septiembre, 6.78 para octubre y 5.96 para noviembre) y Alotenango (7.15 para septiembre, 6.50 para octubre y 5.90 para noviembre); las otras tres estaciones tuvieron valores más estables (entre 6.19 y 6.61) lo cual indica una variación espacial en cuanto al valor de pH.

El otro punto es que los valores altos ambos correspondieron al primer muestreo realizado en el mes de septiembre de 1983 y los dos valores bajos se reportaron en el tercer muestreo efectuado el mes de noviembre de 1983, lo cual indica una variación en el tiempo; no se contó con los suficientes elementos de juicio para dilucidar esta situación y únicamente se puede hipotetizar al respecto: la ubicación de estos dos poblados en medio del cañón formado por los volcanes de Agua por el lado oriental y Acatenango y Fuego por el lado occidental provoca corrientes de aire que arrastra materiales provenientes de los mismos volcanes que afecte el pH.

En cuanto a los demás parámetros cualitativos no se observaron variaciones espaciales o temporales que fueran significativas.



### B. Fuente subterránea:

De los pozos muestreados (Cuadro No. 2) el de la granja Pon-Pon en Sumpango y el de los campos experimentales del ICTA en Chimaltenango dieron agua de clase  $C_1 S_1$  que de acuerdo a la clasificación del USDA (De la Peña, 1976) no presenta ningún problema para su uso en la agricultura. No hubo un segundo muestreo de agua en el pozo del ICTA debido a fallas mecánicas producidas en el mismo. El agua del pozo de la Finca Filadelfia en Jocotenango dió clase  $C_1 S_1$  en el primer muestreo y clase  $C_2 S_1$  en el segundo. Observando estos resultados se pudo ver que en una misma fecha existe variación en la conductividad eléctrica tendiendo a aumentar conforme se avanza hacia la parte sur de la cuenca.

La Clase  $C_2$  agrupa las aguas de salinidad media con un rango de 250 a 750 micromhos/cm a 25°C de acuerdo a la clasificación del USDA (United States Department of Agriculture). Las aguas con clase  $C_2$  pueden usarse para el riego de todas las plantas menores, aún las más sensibles; cuando se cultivan en suelos de baja permeabilidad habrá que tener algunas precauciones en los lavados y a veces tendrá que efectuarse una selección de plantas de mediana tolerancia, aunque generalmente con la manera ordinaria de regar se lavarán lo suficiente (De la Peña, 1976).

En cuanto a los demás parámetros registrados para calidad de las aguas de riego todos tienden a aumentar conforme se avanza hacia el sur aunque es difícil hacer una total aseveración en cuanto a la dirección de variación por el reducido número de pozos muestreados.

En cuanto a la calidad bacteriológica del agua subterránea (Cuadro No. 3), únicamente el pozo de la Finca Filadelfia de Jocotenango dió un valor de N.M.P./100 ml. (número más probable de bacterias coliformes por 100 ml.

CUADRO No. 2 Resultados del análisis cualitativo de muestras de agua subterránea recolectada en la subcuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre y octubre de 1983.

ESTACION Y FECHA DE MUESTREO		GRANJA PON-PON		ICTA CHIMAL	FCA. FILADELFIA		FCA. EL PEDREGAL		
		22/9/83	10/10/83	10/10/83	22/9/83	10/10/83	22/9/83	10/10/83	
PARAMENTRO									
pH		7.36	7.16	7.03	7.55	7.60	7.54	7.67	
C.E x 10 <sup>6</sup> a 25°C		136	178	129.5	190	257.9	268	273	
Sólidos en Solución (PPM)		167.5	190	165	247.5	240	277.5	272.5	
Suma de cationes Meq/litro		2.03	1.77	1.43	2.98	2.76	4.04	3.70	
Suma de aniones Meq/litro		1.99	2.14	1.89	2.92	3.46	3.78	3.85	
MILIEQUIVALENTES P/LITRO	CATIONES	Ca <sup>++</sup>	0.67	0.67	0.67	1.0	1.0	0.83	0.91
		Mg <sup>++</sup>	0.82	0.57	0.36	0.88	0.66	1.70	1.45
		Na <sup>+</sup>	0.45	0.42	0.35	0.90	0.87	1.39	1.19
		K <sup>+</sup>	0.09	0.11	0.05	0.20	0.23	0.12	0.15
	ANIONES	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.59	0.18	0.00	0.70	1.11	0.82	0.41
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.14	1.55	1.06	1.70	1.53	1.82	2.04
		Cl <sup>-</sup>	0.07	0.17	0.18	0.12	0.07	0.33	0.04
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	----	----	----	----	----	----	----
		SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.19	0.24	0.65	0.40	0.75	0.81	1.00
	% Sodio Soluble		22.17	23.73	24.48	30.20	31.52	34.41	32.16
RAS		0.52	0.53	0.49	0.93	0.95	1.24	1.10	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RES		0.24	0.49	0.03	0.00	0.98	0.00	0.09	
CLASE		C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	

CUADRO No. 3 RESULTADOS DEL ANALISIS BACTERIOLOGICO A LA PRUEBA CONFIRMADA PARA DETECTAR E. coli EN CUATRO MUESTRAS DE POZO DE LA SUBCUENCA DEL RIO GUACALATE. (Oct. 1983)\*

ESTACION	RESULTADO (CLAVE)	NMP/100 ml
GRANJA EL PON PON	0 0 0	Menor que 2
EST. EXP. ICTA	0 0 0	Menor que 2
FINCA FILADELFIA	2 0 0	5
FINCA EL PEDREGAL	0 0 0	Menor que 2

\* Análisis realizado en los laboratorios de Microbiología de la Facultad de Agronomía, USAC.

de muestra ) de 5 por haber obtenido dos positivos en la prueba confirmada. En los demás casos el N.M.P. se ubica en menos que 2 ya que ninguno de los tubos sembrados dió positivo para la prueba confirmada.

Esto quiere decir que de acuerdo a las normas establecidas en los parámetros de calidad de las aguas naturales de la República de Guatemala (Vargas, 1969) el agua es apta para beber y no exige más que un tratamiento de desinfección.

#### C. Fuente superficial:

Durante el recorrido de reconocimiento ya se había observado que las corrientes superficiales perennes eran las más contaminadas, aspecto que se confirmó al obtener los resultados (Cuadros Nos. 4 al 8). Para esta fuente se llevó a cabo un muestreo continuo durante 6 meses, una vez por mes y los resultados de los análisis físico-químicos dieron variaciones apreciables tanto en el tiempo como en el espacio.

pH: De los parámetros registrados los de pH son los que se mantienen más estables por lo que fue necesario exagerar la escala en las gráficas (Figs. No. 17 y 18). El menor valor observado fue de 7.01 para la estación puente Los Aposentos durante el tercer muestreo realizado el 17 de noviembre de 1983 y el valor más alto fue de 8.41 para la estación puente Pastores durante el mismo muestreo. El rango de estos valores extremos es de 1.40 lo cual da una variación espacial ya que el muestreo fue realizado el mismo día y con un lapso de una hora entre un muestreo y otro. Todos los valores de pH observados tienden a la alcalinidad y es este el único parámetro en el que se observa que la estación más contaminada (Puente Los Aposentos) muestra valores abajo de las demás estaciones. Esto indica que el tipo de contaminación en la



Cuadro No. 5 Resultados del análisis cualitativo del agua superficial para la estación de muestreo Puente Los Aposentos. Período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

Fecha de Muestreo		27/ 9/83	10/10/83	27/11/83	13/12/83	18/ 1/84	14/ 2/84	
No. en Lab.		83-234	83-279	83-340	83-352	84-07	84-43	
PH		7.37	7.09	7.01	7.48	7.23	7.53	
CEX10 <sup>-6</sup> a 25 C°		117	302	318.2	180.4	180.4	214	
Sólidos en Solución P.P.M.		167.5	307.5	347.5	200	210	206	
Suma de Cationes Meg/litro		1.91	3.84	4.04	2.66	2.69	2.76	
Suma de Aniones Meg/litro		1.76	4.58	4.69	3.26	2.84	2.85	
Miliequivalentes por Litro	Cationes	Ca ++	0.83	1.66	1.33	1.00	1.00	1.16
		Mg ++	0.66	0.82	0.93	0.82	0.82	0.82
		Na +	0.31	0.98	1.38	0.69	0.68	0.60
		K +	0.11	0.38	0.40	0.15	0.19	0.18
	Aniones	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0.29	0.35	0.88	0.15	0.21	0.29
		HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	1.20	2.99	3.09	2.46	2.23	2.09
		CL <sup>=</sup>	0.05	0.55	0.72	0.19	0.14	0.08
		NO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0.22	0.69	0.00	0.46	0.26	0.43
		% Sodio soluble	16.23	25.52	34.16	25.94	25.66	21.74
RAS	0.36	0.88	1.30	0.72	0.71	0.60		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RES	0.00	0.86	1.71	0.79	0.62	0.36		
CLASE	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>		







Cuadro No. 8 Resultados del análisis cualitativo del agua superficial para la estación de muestreo Puente Alotenango. Período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

Fecha de Muestreo		22/ 9/83	10/10/83	17/11/83	13/12/83	18/ 1/84	14/ 2/84	
No. en Lab.		83-237	83-282	83-343	83-356	84-11	84-47	
PH		7.53	7.78	8.28	7.53	7.32	7.63	
CEXIO <sup>-6</sup> a 25 C'		146	281.9	219.4	219.4	229.1	261	
Sólidos en Solución P.P.M.		200	277.5	212.5	235	222.5	230	
Suma de Cationes Meq/litro		2.21	3.43	3.90	3.50	3.23	2.55	
Suma de Aniones Meq/litro		2.21	4.07	3.18	3.10	3.36	3.29	
Mil equivalentes por Litro	Cationes	Ca <sup>++</sup>	0.63	1.16	1.33	1.00	0.83	1.00
		Mg <sup>++</sup>	0.82	1.12	1.12	1.12	1.07	0.93
		Na <sup>+</sup>	0.44	0.91	1.07	1.10	1.04	0.41
		K <sup>+</sup>	0.12	0.24	0.38	0.28	0.29	0.22
	Aniones	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0.59	0.79	0.82	0.59	0.18	0.26
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.38	2.20	1.82	2.30	2.67	2.45
		Cl <sup>-</sup>	0.11	0.33	0.21	0.21	0.18	0.14
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0.13	0.75	0.33	0.00	0.33	0.44
		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
% Sodio soluble		19.91	26.53	27.44	31.43	32.20	16.00	
RAS		0.48	0.85	0.97	1.07	1.00	0.41	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RES		0.22	0.71	0.19	0.77	0.95	0.73	
CLASE		C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	

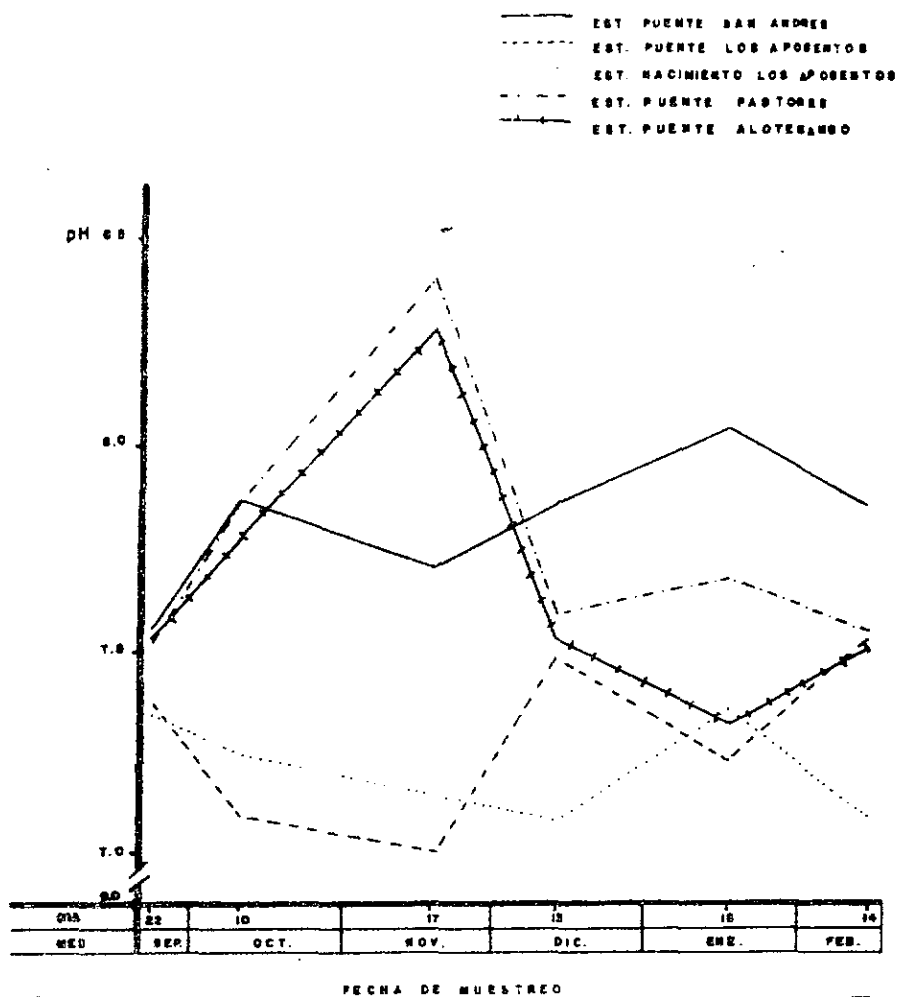


Fig. 17 Variación del pH en cinco estaciones de muestreo de aguas superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

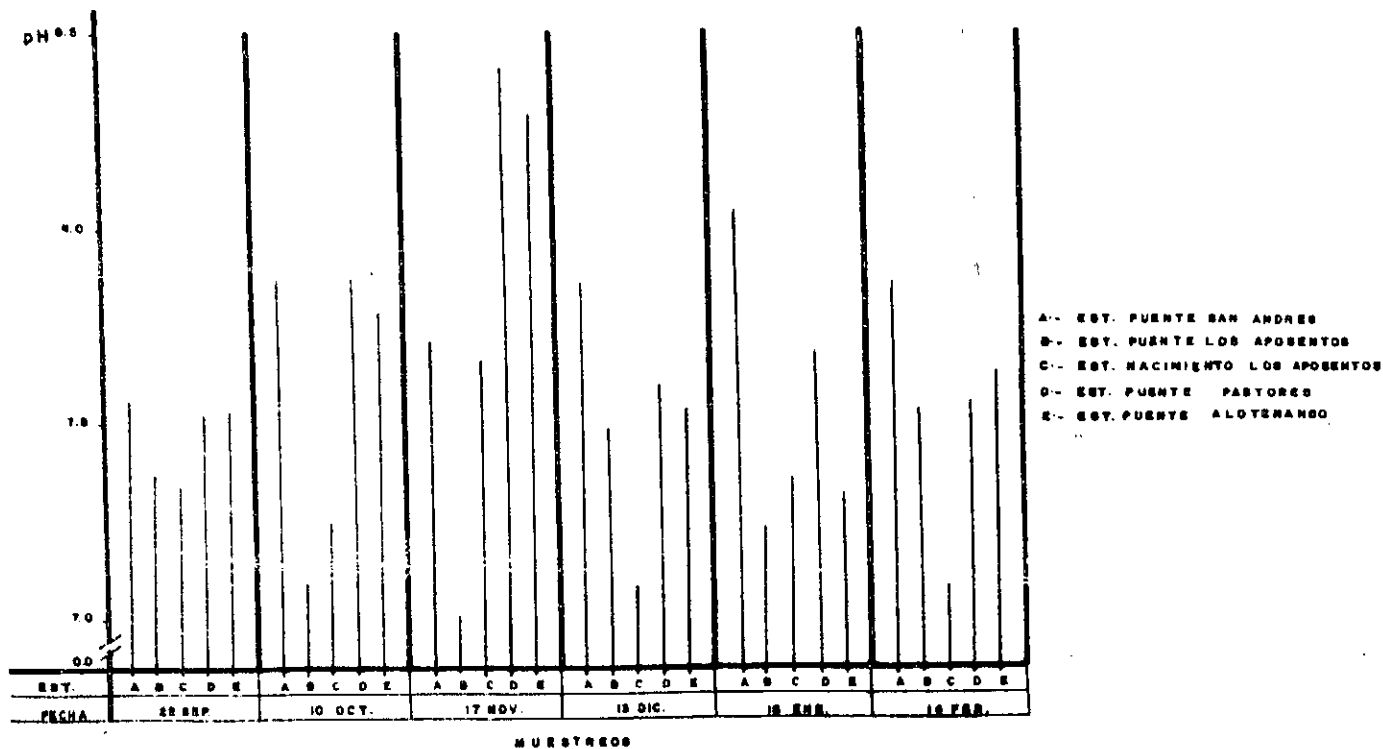


Fig. 18 Valor del pH durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

estación Puente Los Aposentos es poco influyente en el valor del pH pues sus valores siempre estuvieron cercanos a los de la estación testigo.

#### Conductividad eléctrica:

En la mayoría de los casos la conductividad eléctrica correspondió a aguas clase  $C_1$  (Cuadros Nos. 4 al 8) que comprende aquellas aguas en un rango de 100 a 250 micromhos/cm a 25°C. Solo en 4 muestreos se obtuvo clase  $C_2$  (que comprende un rango de 250 - 750 micromhos/cm a 25°C). El valor más alto fue de 318.8 micromhos/cm y correspondió a la estación Puente Los Aposentos durante el muestreo del mes de noviembre de 1983.

Las cinco estaciones mostraron más o menos el mismo tipo de comportamiento (Figs. Nos.19 y 20) y los valores mayores se observaron en las áreas más pobladas. En efecto, la estación Puente San Andrés muestra valores muy parecidos a los de la estación testigo lo que indica que la contaminación por sales es baja al inicio de la corriente. Se puede observar que de la conductividad eléctrica entre la estación Puente San Andrés y la del Puente Los Aposentos es bastante grande en solo 2 Kms. de recorrido. En este trayecto el río capta el drenaje de la ciudad de Chimaltenango.

#### Sólidos en solución:

Este parámetro tiene el mismo comportamiento que el de conductividad eléctrica según se observa en las figuras números 21 y 22. Esto indica que puede existir una íntima relación entre ambos parámetros y que la mayoría de sólidos presentes en el agua superficial son probablemente sales. Un dato interesante es que en la mayoría de muestreos ( 4 de 5) la estación Puente San Andres dió valores de sólidos en solución menores que la estación tes-

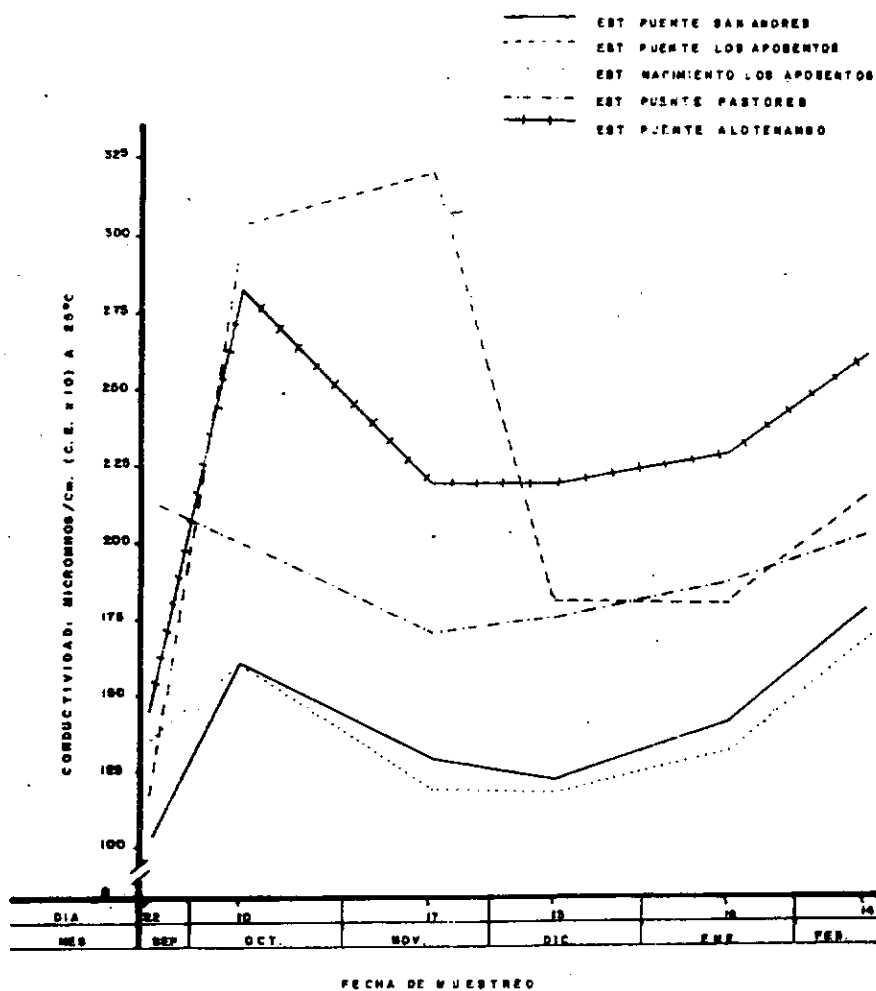


Fig. 19 Variación de la conductividad eléctrica en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

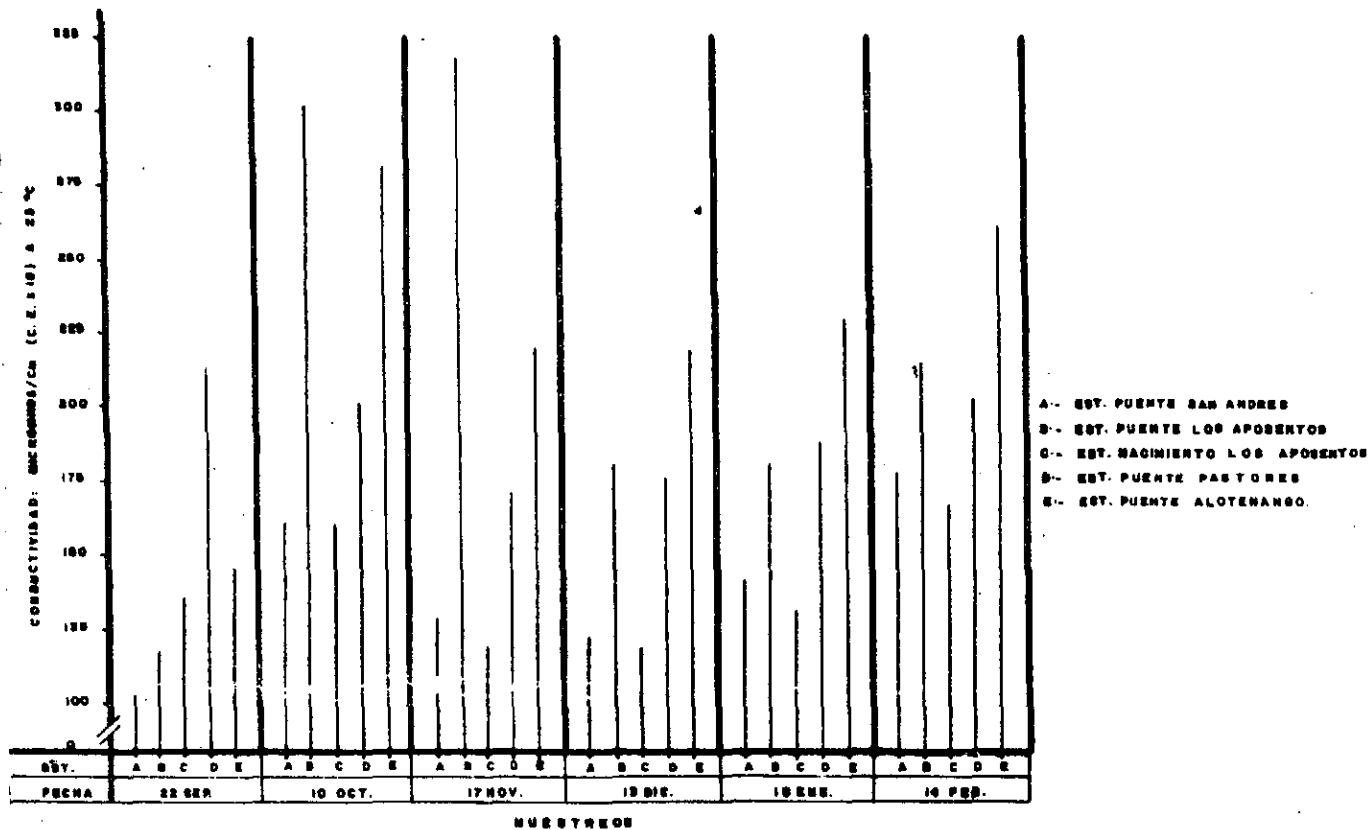


Fig. 20 Valor de la conductividad eléctrica durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

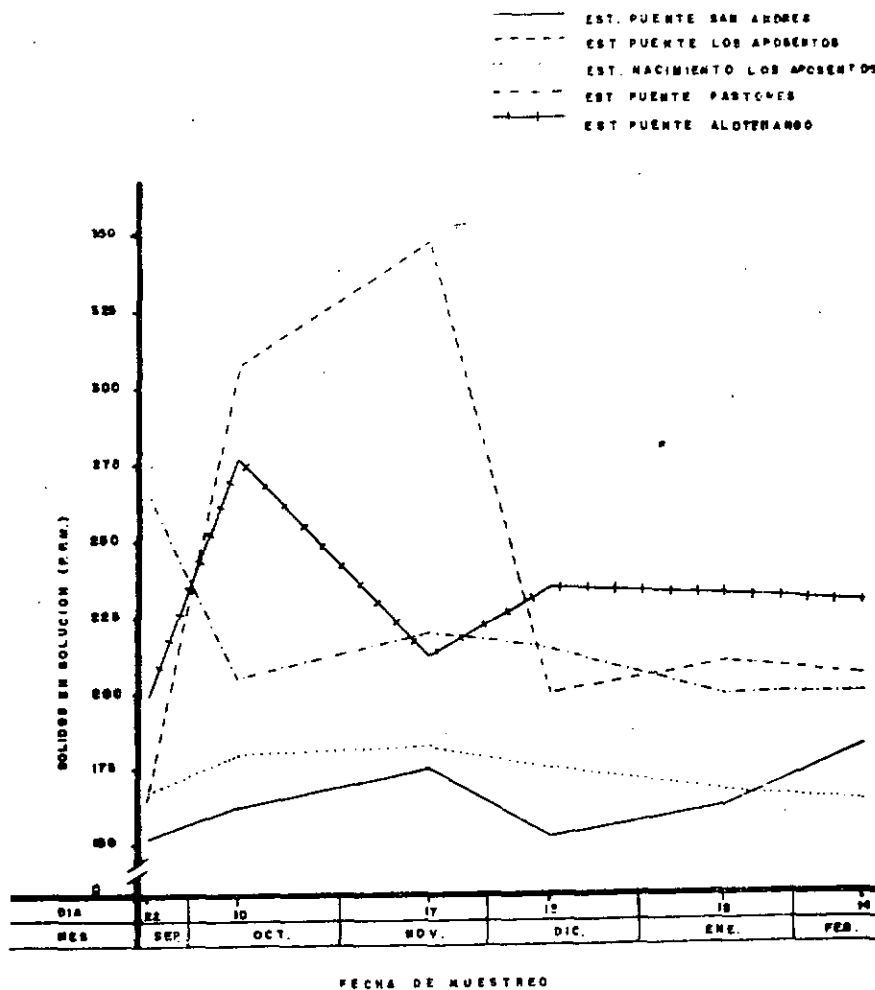


Fig. 21 Variación de los sólidos en solución en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

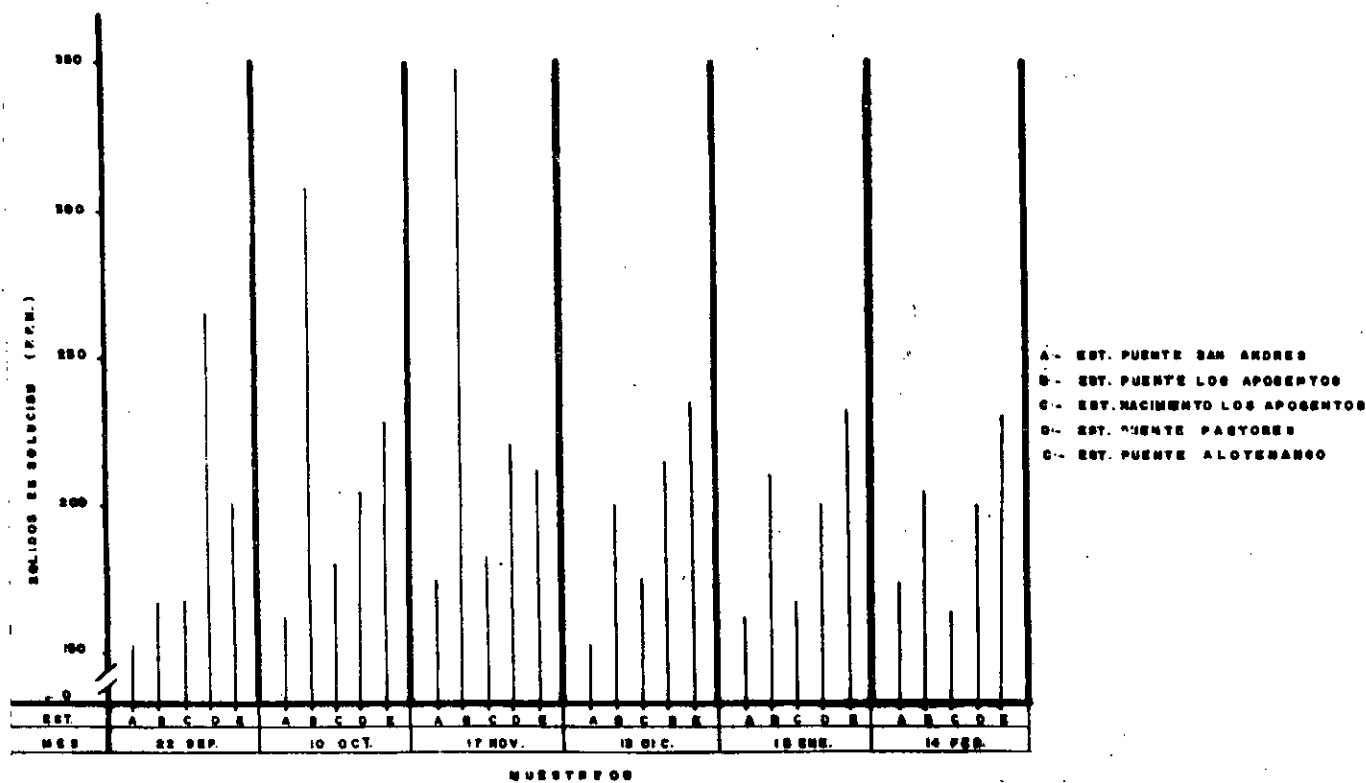


Fig. 22 Valor de los sólidos en solución durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.



tigo. Es evidente el aumento de los sólidos en solución con la contaminación, principalmente luego de que el río recibe los desagües de la población de Chimaltenango. Este es un parámetro que tendió más a la estabilización durante los meses de época seca muestreados.

Suma de cationes y suma de aniones:

Se pudo observar que los valores más altos para estos parámetros se presentaron para aquellos puntos que tienen mayor presión de población ya que la estación testigo y la estación Puente San Andrés tuvieron los valores más bajos y más constantes, esto también evidencia que la contaminación por agua servidas aumentan el contenido de cationes y aniones del agua superficial.

Ambos parámetros tienen similar comportamiento pero en resultados generales la suma de aniones para la mayoría de los casos tuvo valores más altos que la suma de cationes y el anión que provocó mayor aumento en la suma total fue el bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) (Cuadros Nos. 4 a 8) ya que estos son constituyentes de los suelos y de productos de descomposición de materiales orgánicos y son fácilmente disueltos en agua por esta razón es muy fácil que el drenaje los transporte a las corrientes.

Desde luego que los demás iones también se vieron incrementados en relación a la estación testigo, pero los objetivos de este estudio no llegan a poder determinar el origen de cada uno de estos iones solo se puede evidenciar el cambio en el tiempo y el espacio por efectos de contaminación (Figs. Nos. 23 a 26).

Efectos del sodio:

En general los parámetros relativos al sodio no constituyen peligro para la calidad del agua para riego (Figs.

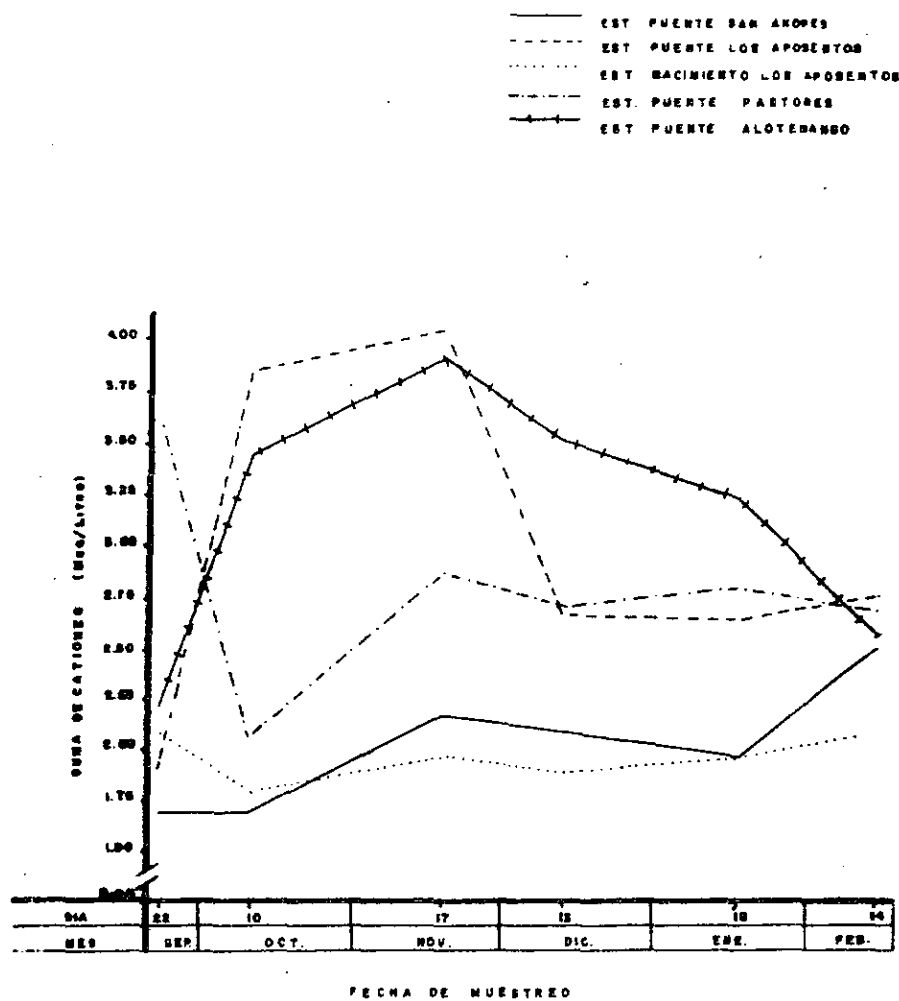


Fig. 23 Variación de la suma de Cationes en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

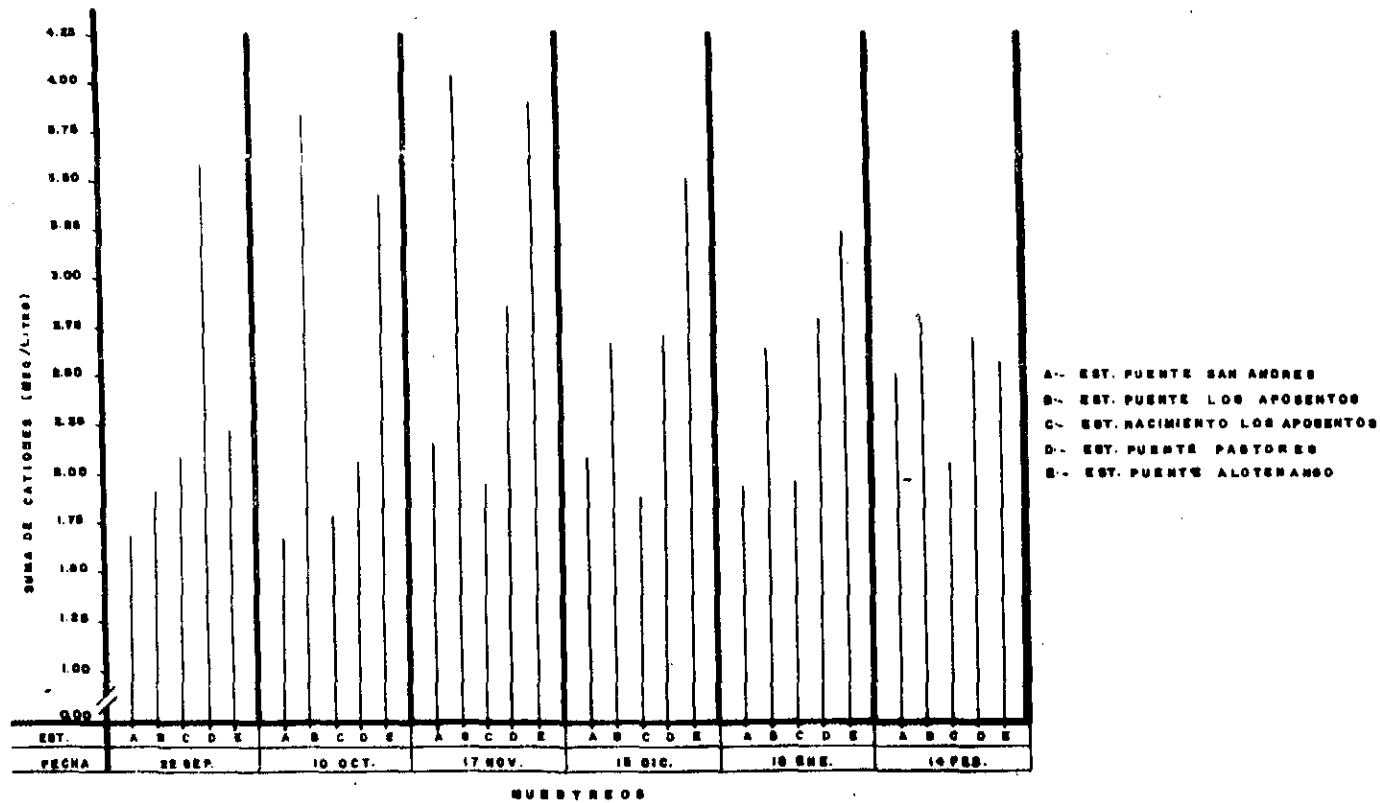


Fig. 24 Valor de la suma de Cationes durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

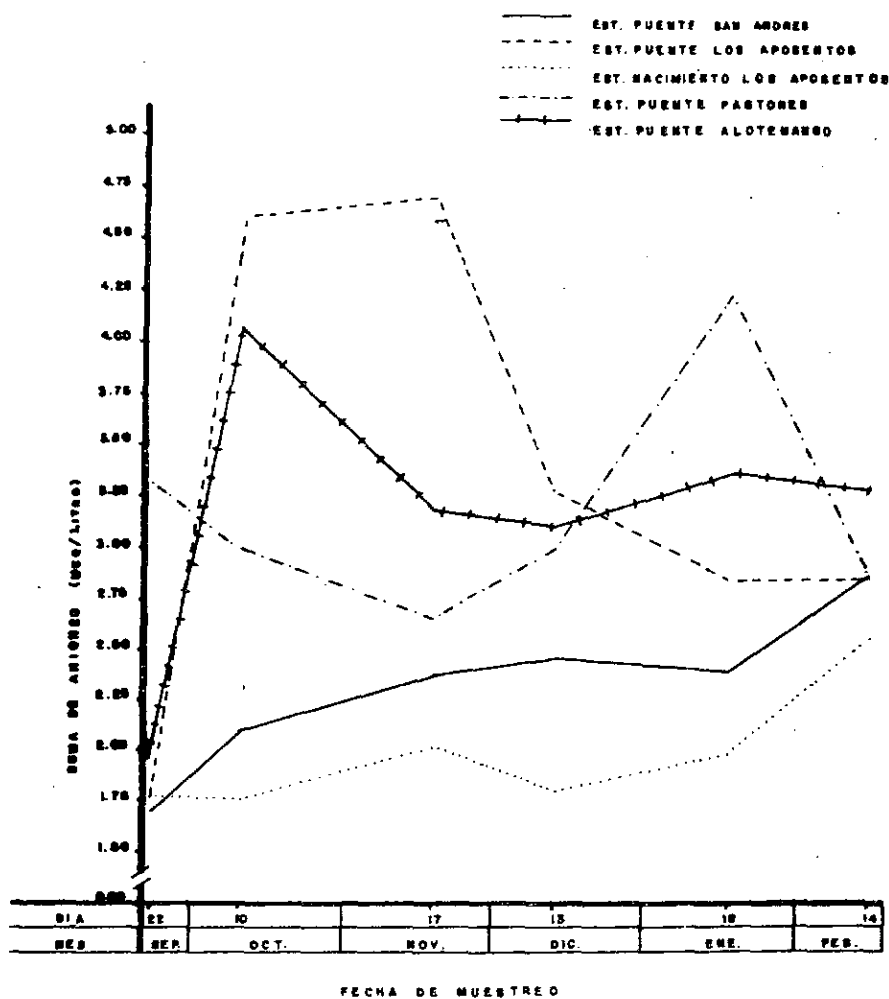


Fig. 25 Variación de la suma de Aniones en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

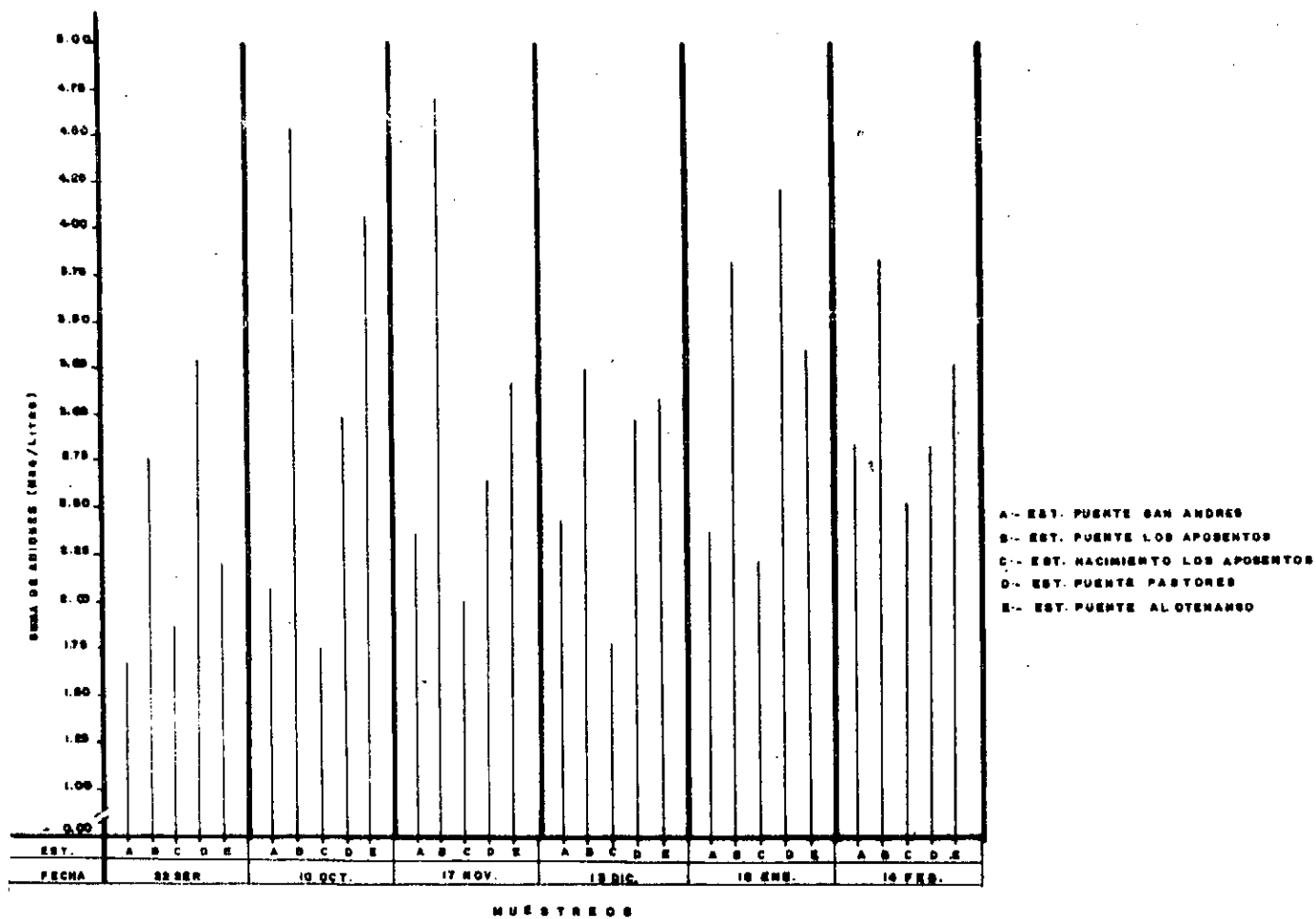


Fig. 26 Valor de la suma de Aniones durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

Nos. 27 a 30). Los valores de relación de absorción de sodio -RAS- por ejemplo, en ningún momento llegaron a ser peligrosos (Figs. Nos. 29 y 30). Aún en los valores extremos, el agua siempre dió clasificación  $S_1$  (De la Peña, 1976). El valor más alto observado fue de 1.30 para la estación Puente Los Aposentos durante el mes de noviembre lo cual nunca puede ser problemático, aún con la máxima salinidad. En cuanto al carbonato de sodio residual -C.R.S. (Figs. Nos. 31 y 32) hay que tomarlo con cautela, principalmente en los puntos más contaminados, ya que es evidente que en determinadas épocas el valor supera a 1.25 Meq/litro y, según Eatón, citado por De la Peña, 1976, aguas con valores de C.R.S de 1.25 a 2.5 Meq/litro son de uso condicionado para riego, considerándose buenas para riego aquellas, que están abajo de 1.25 Meq/litro. Por lo tanto, en cuanto a este parámetro no muestran absoluta seguridad las estaciones Puente Pastores y Puente Los Aposentos, aún cuando los valores observados ocurran eventualmente.

En forma general, la mayoría de parámetros en 4 de las 5 estaciones muestreadas (la estación Puente Pastores es la excepción) durante el muestreo del 22 de septiembre de 1983 tenían valores similares y los valores más altos y más dispersos fueron los muestreados el 17 de noviembre del mismo año. Estos tendieron a estabilizarse nuevamente conforme progresaba la estación seca aunque no puede decirse que el comportamiento tuvo relación matemática temporal o espacial alguna.

Otro caso que es evidente es la grave influencia de la población de Chimaltenango sobre el río al apreciarse un cambio ostensible en 2 Kms. de recorrido entre la estación Puente San Andrés y la del Puente Los Aposentos; también puede observarse que el recorrido y la dilución de contaminantes (al captar nuevos tributarios), tiende a

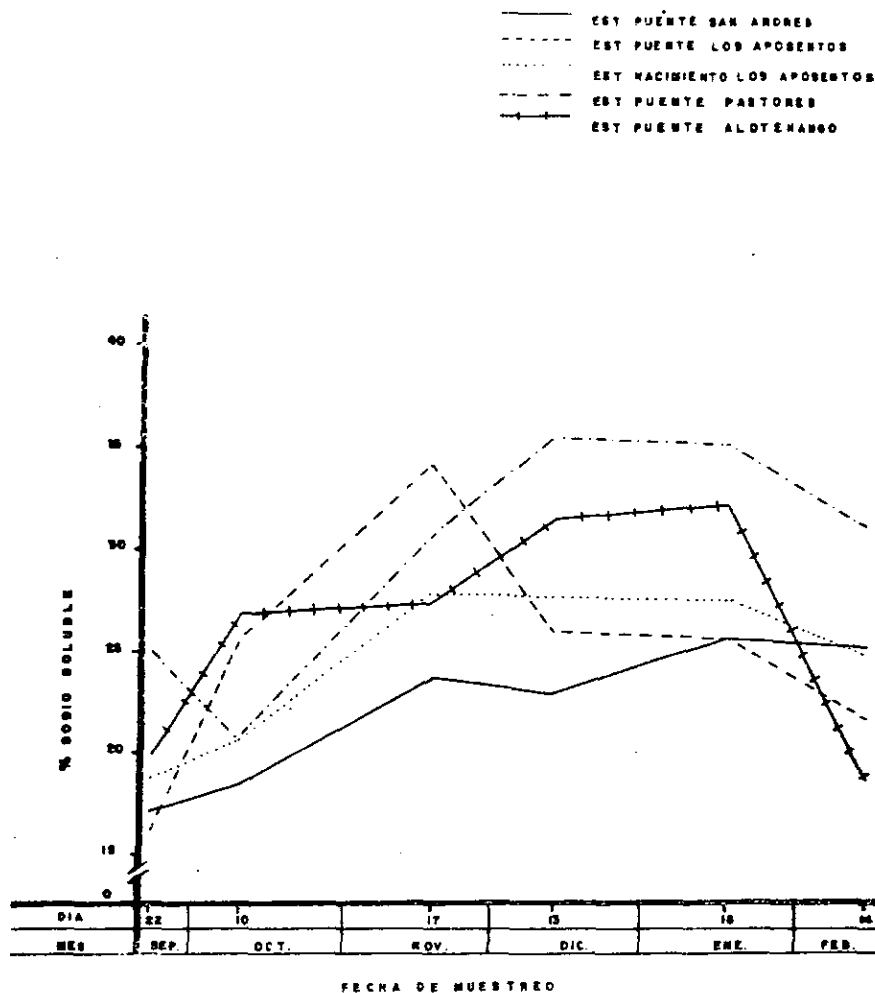


Fig. 27 Variación del porcentaje de Sodio Soluble en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

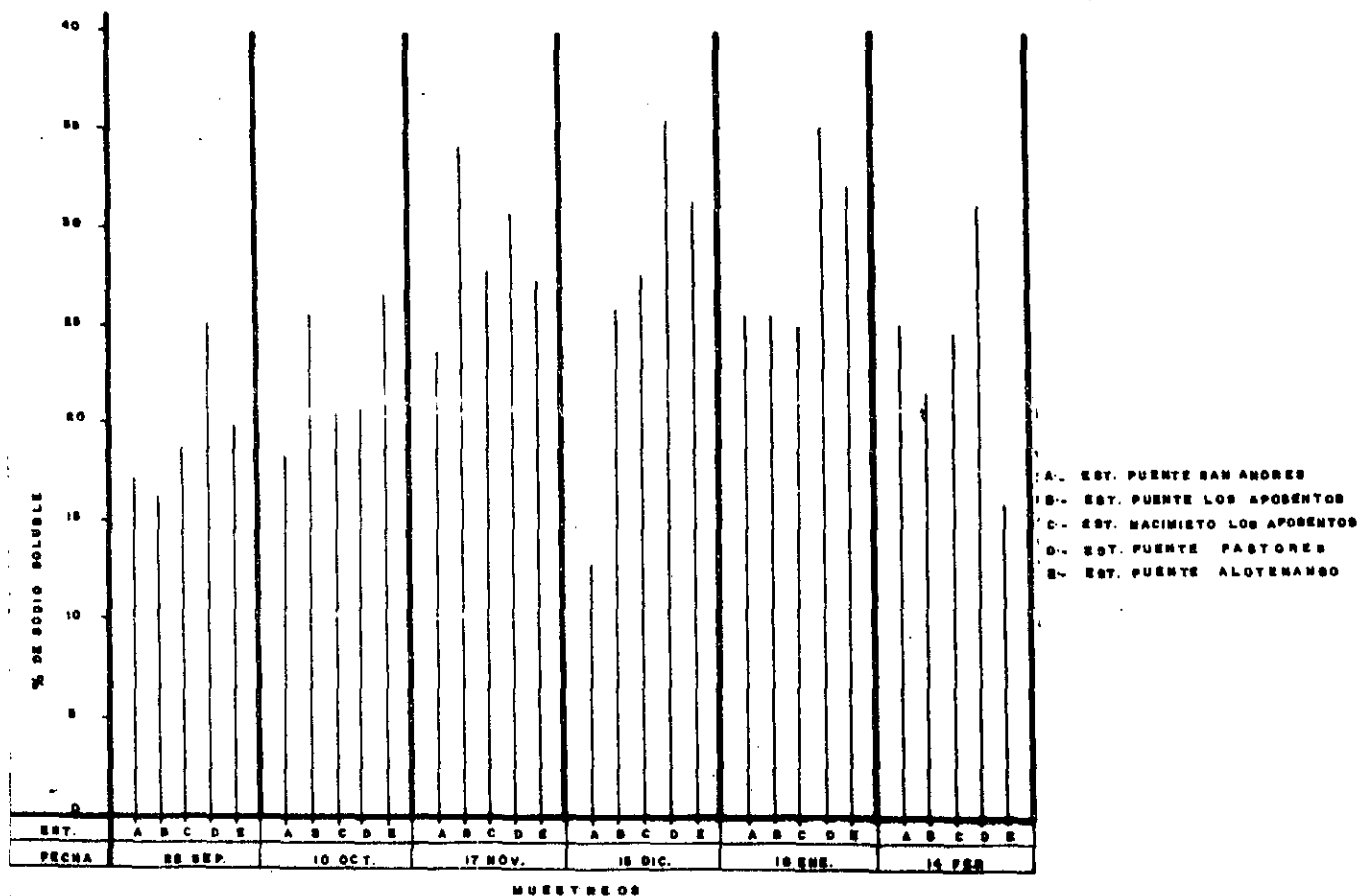


Fig. 28 Valor del porcentaje de Sodio Soluble durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo de la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.



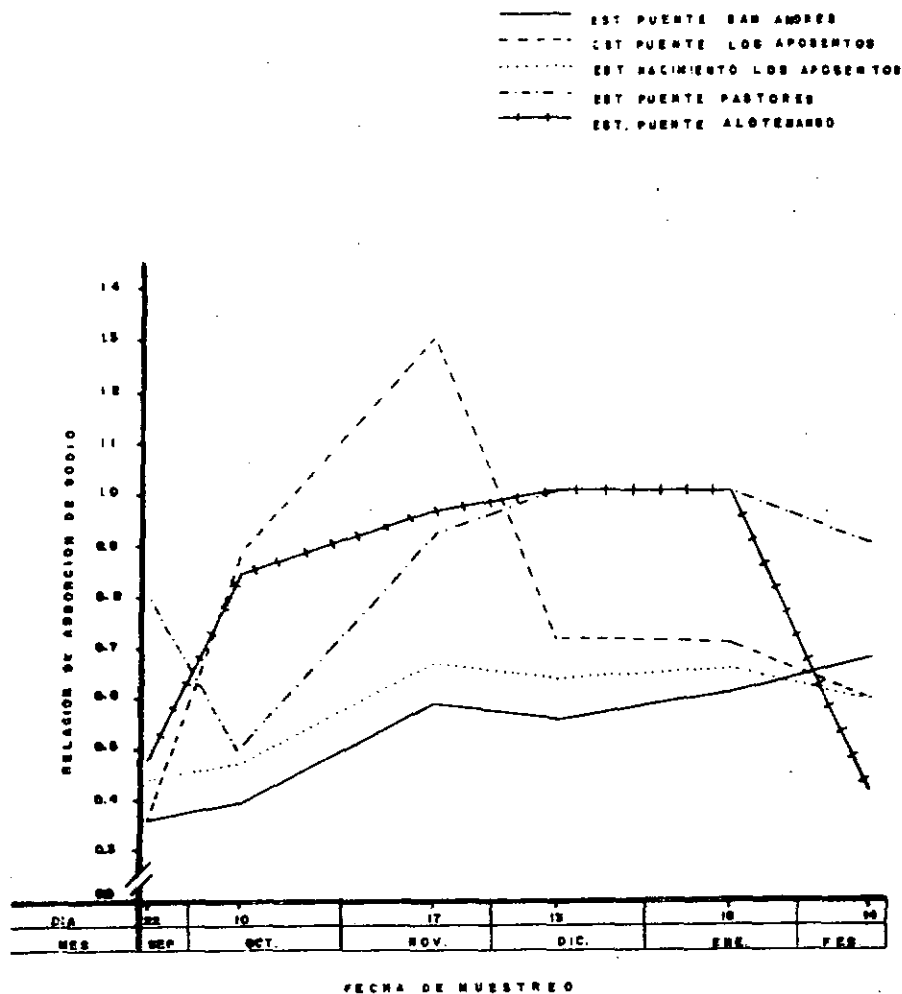


Fig. 29 Variación de la relación de adsorción de Sodio en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

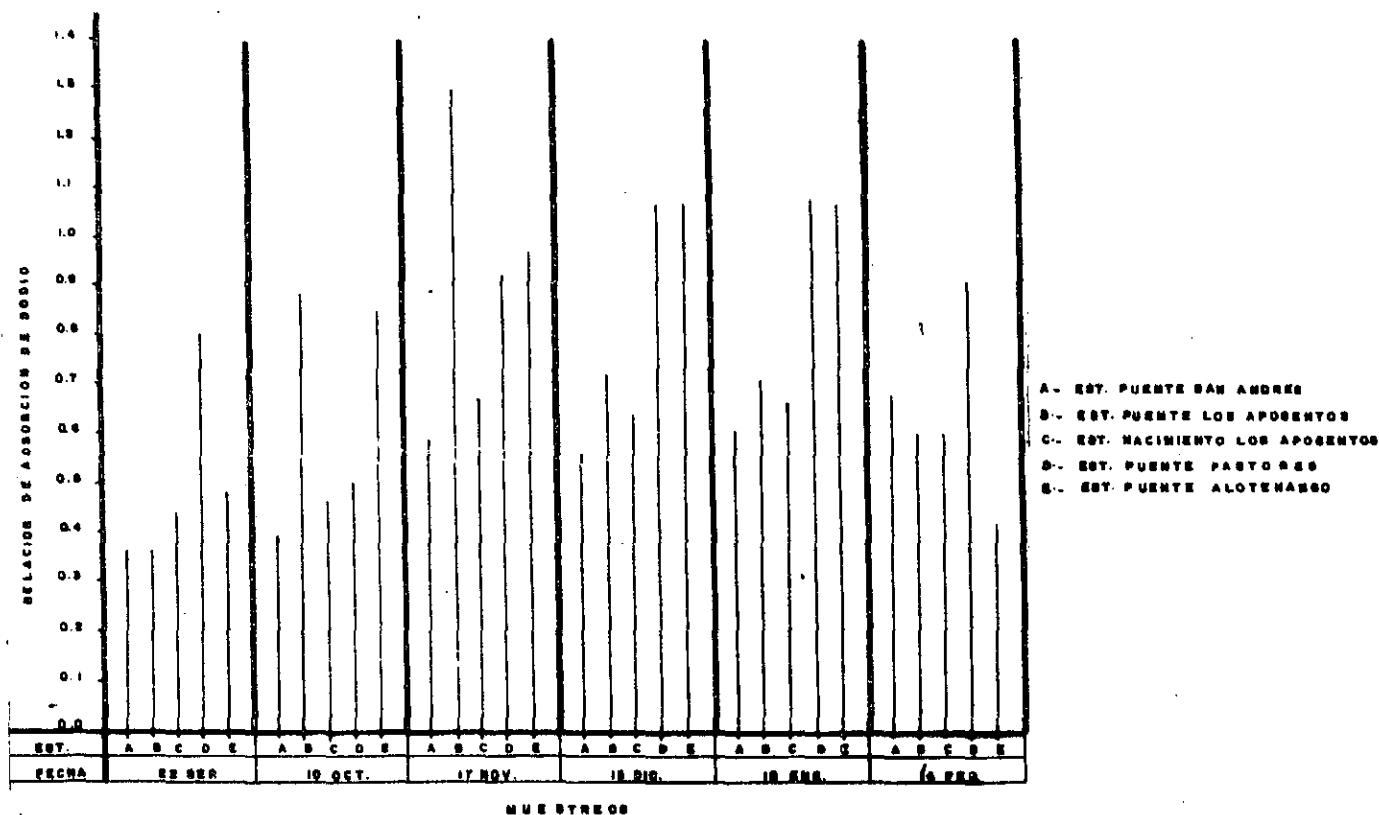


Fig. 30 Valor de la relación de adsorción de Sodio durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo de la subcuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

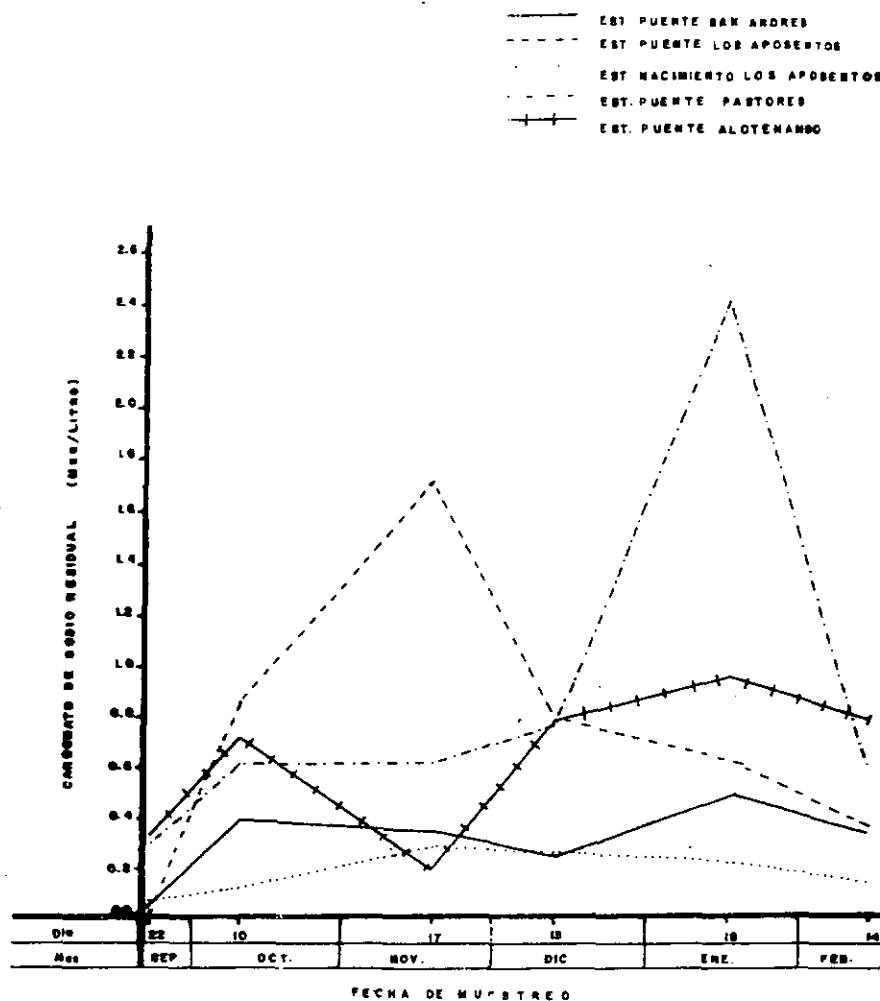


Fig. 31 Variación del Carbonato de Sodio Residual en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

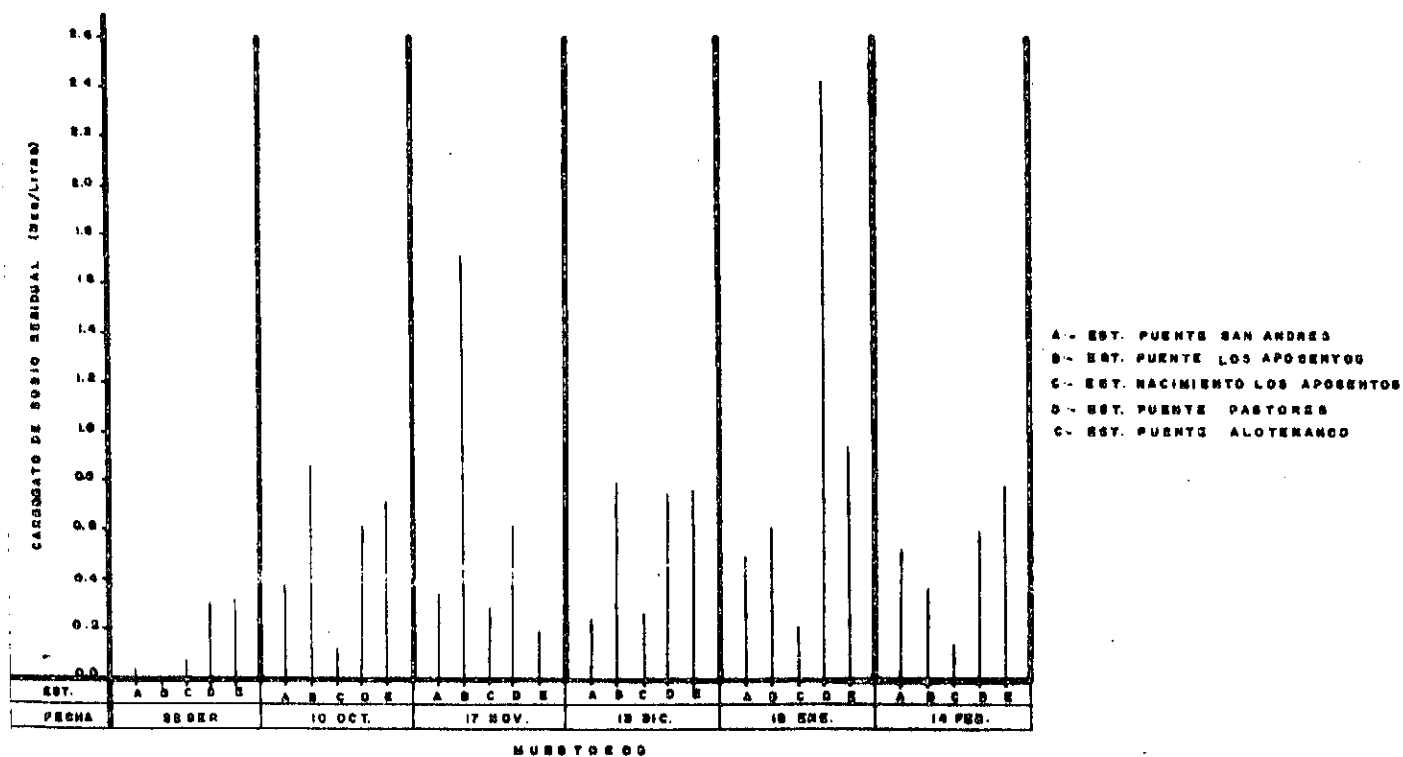


Fig. 32 Valor del Carbonato de Sodio Residual durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la sub-cuenca del río Guacalate hasta la estación hidrométrica Alotenango durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984.

disminuir los efectos de contaminación como puede observarse al comparar los resultados de la estación del Puente Los Aposentos con los de la estación del Puente Pastores.

En cuanto a calidad bacteriológica del agua superficial, únicamente la del nacimiento Los Aposentos evidenció la no contaminación con bacterias coliformes con un N.M.P/100 ml. menor que 2 y sin ningún resultado positivo en la prueba confirmada. Las demás estaciones, todas, luego de efectuarse la prueba confirmada, dieron clave 5-5-5 (15 positivos), lo cual llega a los límites de la prueba y da un N.M.P/100 ml. innumerable (superior a 5420). De acuerdo a los parámetros de calidad de las Aguas Naturales de la República de Guatemala (Vargas, 1969) aguas superiores a 5000 bacterias coliformes por 100 ml. tienen una contaminación muy intensa que hace necesario tratamientos más activos desinfección arriba de 50,000 bacterias coliformes por 100 ml. es una contaminación intensa que hace el agua inaceptable a menos que se recurra a tratamientos especiales; estas fuentes solo se utilizarán en casos extremos de necesidad.

### 3. Aspectos cuantitativos y cualitativos:

De acuerdo al hidrógrafo de caudales medios mensuales (Fig. No. 33) la temporada de mayor escorrentía generalmente ocurre en los meses de junio y septiembre. El caudal tiende a disminuir en noviembre teniendo períodos más bajos en febrero y marzo, lo cual también concuerda con las curvas de variación estacional de la lluvia (Figs. Nos. 4 a 13).

Al comparar este comportamiento con los parámetros cualitativos físico químicos registrados, se puede observar que en 1983 los resultados de septiembre fueron bajos y los parámetros más altos se observaron en octubre y noviembre. Los valores de estos parámetros tendieron a dis-

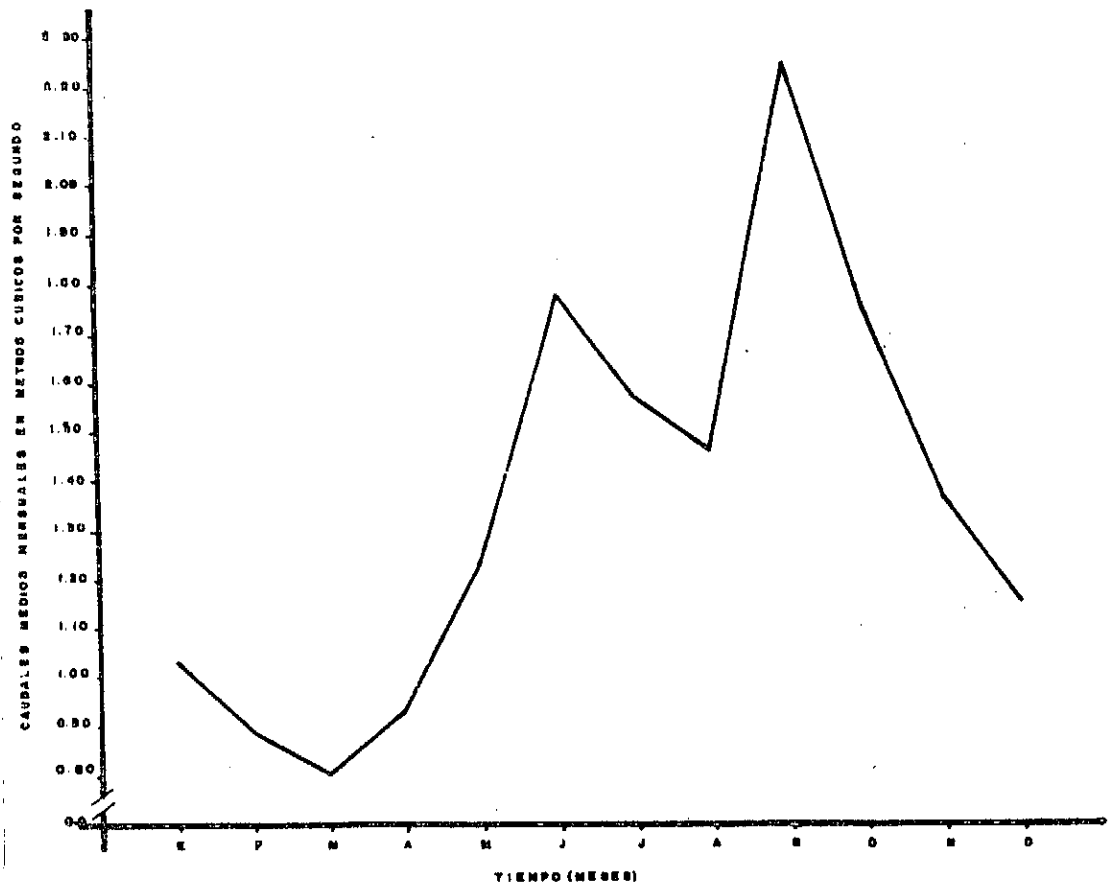


Fig.33 Hidrógrafo de caudales medios mensuales para la estación hidrométrica Alotenango.

minuir conforme progresaba la estación seca. Aún cuando se desconocen los datos de caudal registrados durante el período de estudio, se presenta la siguiente hipótesis: La contaminación en la corriente principal de la subcuenca del río Guacalate es más detectable durante la época lluviosa debido a que el caudal es más turbulento y al revolver los sedimentos del lecho del río tiende a causar mayor arrastre de las partículas y los caudales de época seca son más tranquilos permitiendo la sedimentación. Por esta razón también se deja de notar el efecto de dilución que debiera indicar mayor concentración de contaminantes en época seca; en todo caso esto sería posible aclararlo de mejor forma si se realizara un estudio de sedimentos durante todo el año.

## VI

CONCLUSIONES:

- El agua pluvial tuvo una tendencia hacia la acidéz, mayor que la que tuvieron el agua subterránea y el agua superficial, y no tiene restricciones de acuerdo a las normas para aguas de riego.
- Desde el punto de vista físico-químico el agua subterránea es apta para riego y desde el punto de vista bacteriológico, también lo es para consumo humano en las fuentes muestreadas.
- El incremento de los caudales y la contaminación por aguas servidas incrementan los valores de los parámetros cualitativos medidos pero la mayor parte del tiempo y estaciones el agua es apta para riego. El uso para consumo humano del agua del río Guacalate si está restringido debido a su alta contaminación bacteriológica.

- La subcuenca del río Guacalate tiene menos variabilidad de caudales que el total de la cuenca del río Achiguate. El balance de entradas y salidas del recurso agua es positivo para la subcuenca del río Guacalate y para toda la cuenca.
- La escasez de estaciones de registro de caudales dificulta el estudio hidrológico de la cuenca principalmente en la parte baja de la misma.

## VII

RECOMENDACIONES:

- Realizar un control en la evacuación de aguas servidas y basuras en las corrientes principales y secundarias de la cuenca para evitar o reducir el impacto de la contaminación.
- No utilizar las aguas del río Guacalate para consumo humano a menos que se cuente para las mismas con métodos estrictos de purificación.
- En las áreas donde se encontraron aguas clase C<sub>2</sub> debe tenerse control sobre la posible salinización de los suelos, principalmente si existieran problemas de drenaje y escaso régimen pluviométrico.
- Realizar estudios de transporte de microorganismos patológicos para las plantas en las aguas superficiales contaminadas por aguas servidas.
- Incrementar los estudios de cuantificación y uso del recurso agua pero a niveles más detallados trabajando subcuencas más pequeñas y áreas potenciales de riego, para que de esta forma se lleguen a determinar las épocas y volúmenes de almacenamiento necesarios para diversos usos.



- Es necesario incrementar la red de registro de escorrentía, principalmente el de la parte baja de la cuenca.
- Evaluar otros métodos de cuantificación del recurso agua para las cuencas del país con el fin de establecer cuales puedan tener aplicación práctica de acuerdo a las condiciones de la región.
- Correlacionar los resultados del presente estudio con los de suelo y vegetación que se realizaron paralelos a este, así como con la caracterización preliminar para de esta forma, establecer la política a seguir en el estudio de la cuenca del río Achiguate.

## VIII

BIBLIOGRAFIA:

1. ACAJABON MENDOZA, A.D. Estudio hidrológico de la cuenca del río Samalá. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1973. 68 p.
2. AGUILERA VIZCARRA, H.E. Uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la cuenca del río María Linda, para riego. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 104 p.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, NEW YORK. Métodos standar para el examen de aguas y aguas de desecho. Traducción de Pedro J. Caballero. 11a. ed. México, Editorial Interamericana, 1962. 450 p.
4. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, NEW YORK. Agua, su calidad y tratamiento. Traducción de Jack M. Verrey. México, UTEHA, 1968. 564 p.
5. \_\_\_\_\_. Procedimientos simplificados para el examen de aguas. Traducción de Agencia para el Desarrollo Interamericana. México, CRAT/AID, 1964. 116 p.
6. AMISIAL, R. Disponibilidad de aguas superficial. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1979. 83 p.
7. BUCARO, G.A. Determinación de evapotranspiración potencial y balance hídrico en base a datos climáticos de los distritos de riego de San Jerónimo,

Asunción Mita, Laguna del Hoyo, Catarina y La Fragua. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1973.  
36 p.

8. ESTRADA GIRON, R.A. Estudio hidrológico básico de la cuenca del río Paz. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1970. 70 p.
9. LEE, R. Forest hidrology. New York, Columbia University Press, 1980. 349 p.
10. LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULUS, J. Hidrología para ingenieros. Traducción de Alejandro Deeb et al. 2a. ed. México, McGraw Hill, 1981. 386 p.
11. LOPEZ CHOC, F. Estudio hidrológico básico de la cuenca del río María Linda. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1972. 64 p.
12. McCARTY, P. Lecciones sobre calidad del agua y control de su contaminación. Traducción de Hilda de Grassi. Venezuela, CIDIAT, 1979. 90 p.
13. MIDENCEY ROSALES, R. Necesidades del control de la contaminación de las aguas en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1968. 102 p.

14. NUFIO REYES, W. Caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1982. 165 p.
15. PELLECCER MEZA, A.C. Obtención de curvas de duración de caudales mediante el índice de variabilidad; aplicación a cuencas de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1968. 80 p.
16. PEÑA, I DE LA. Calidad de las aguas de riego. Guatemala, DIGESA/DIRENARE. Memorandum Técnico No. 2. 1976. 32 p.
17. REMENIERAS, G. Tratado de hidrología aplicada. 2a. ed. Barcelona, España, Editores Técnicos Asociados, 1974. 515 p.
18. RODRIGUEZ TORIZ, F. Elementos del escurrimiento superficial. México, Universidad Autónoma Chapinango, Escuela Nacional de Agricultura, 1981. 225 p.
19. ROJAS, R. Hidrología de tierras agrícolas. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1979. 113 p.
20. VARGAS RODRIGUEZ, S.A. Parámetros de calidad de las aguas naturales de la república de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1969. 50 p.
21. VASQUEZ SANTIZO, J.A. Propósito del manejo de una cuenca hidrográfica y el trabajo que INAFOR realiza a nivel nacional. Guatemala, INAFOR, 1982. 10 p.



Vo Bo  
Patuall

IX APENDICE

DATOS REFERENTES A LA IDENTIFICACION DE LA ESTACION

NOMBRE	ESTACION ALOTENANGO	
RIO	GUACALATE	
No. DE IDENTIFICACION	16 - 10 - 1H	
CUENCA	ACHIGUATE	
VERTIENTE	PACIFICO	
AREA (Km <sup>2</sup> )	390.58	
ELEVACION CERO	1350 m.s.m.m. Aprox.	
DEPARTAMENTO	SACATEPEQUEZ	
MUNICIPIO	ALOTENANGO	
LOCALIZACION	BAJO EL PUENTE EN LA CARRETERA QUE DE ALOTENANGO CONDUCE A ESCUINTLA	
LATITUD	14° 28' 56"	
LONGITUD	90° 53' 26"	
INICIO	1o. DE SEPTIEMBRE DE 1973	
REGISTROS PUBLICADOS	6 AÑOS HIDROLOGICOS	1974 - 1975
		1975 - 1976
		1976 - 1977
		1977 - 1978
		1978 - 1979
		1979 - 1980

DATOS TABULADOS PARA LA CURVA DE DURACION DE CAUDALES

CUENCA: ACHIGUATE

RIO: GUACALATE

ESTACION: ALOTENANGO

TIEMPO DE REGISTRO: 6 AÑOS HIDROLOGICOS

INTERVALO (i)	FRECUENCIA (f)	FREC. ACUM. (F)	% FREC. (%F)
0.20 - 0.29	2	2189	100.00
0.30 - 0.39	20	2187	99.91
0.40 - 0.49	92	2167	98.99
0.50 - 0.59	129	2075	94.79
0.60 - 0.69	63	1946	88.90
0.70 - 0.79	103	1883	86.02
0.80 - 0.89	112	1780	81.32
0.90 - 0.99	167	1668	76.20
1.00 - 1.09	206	1501	68.57
1.10 - 1.19	132	1295	59.16
1.20 - 1.29	113	1163	53.13
1.30 - 1.39	202	1050	47.97
1.40 - 1.49	88	848	38.74
1.50 - 1.59	125	760	34.72
1.60 - 1.69	98	635	29.01
1.70 - 1.79	128	537	24.53
1.80 - 1.89	110	409	18.68
1.90 - 1.99	77	299	13.66
2.00 - 2.24	86	222	10.14
2.25 - 2.49	27	136	6.21
2.50 - 2.74	31	109	4.98
2.75 - 2.99	23	78	3.56
3.00 - 4.49	39	55	2.51
4.50 -	16	16	0.73

CALCULO DEL INDICE DE VARIABILIDAD: (Método Convencional)

% de Tiempo	Q.	Log.	d	d <sup>2</sup>
5	2.5	0.39794001	0.31648262	0.10016125
15	1.87	0.27184161	0.19038422	0.03624615
25	1.68	0.22530928	0.14385189	0.02069337
35	1.50	0.17609126	0.09463387	0.00895557
45	1.34	0.12710480	0.04564741	0.00208369
55	1.18	0.07188201	- 0.00957538	0.00009169
65	1.05	0.02118930	- 0.06026809	0.00363224
75	0.92	- 0.03621217	- 0.11766956	0.01384613
85	0.74	- 0.13076828	- 0.21222567	0.04503973
95	0.49	- 0.30980392	- 0.39126131	0.15308541

$$\Sigma 0.81457389$$

$$\bar{x} = \frac{0.81457389}{10} = 0.08145739$$

$$\Sigma d^2 = 0.38383522$$

$$I.V. = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{9}}$$

$$I.V. = 0.2065 \text{ (Variación pequeña)}$$



CAUDALES MEDIOS MENSUALES M<sup>3</sup>/Seg.

TIEMPO DE REGISTRO: 6 AÑOS

ESTACION: ALOTENANGO

RIO: GUACALATE

MES	AÑOS HIDROLOGICOS						PROMEDIO MENSUAL
	1974-1975	1975-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	TODO EL REGISTRO
MAY	0.91	0.94	2.00	2.01	0.73	0.78	1.23
JUN	1.78	1.41	2.95	2.12	1.13	1.30	1.78
JUL	1.30	1.32	2.32	1.47	1.53	1.48	1.57
AGO	0.98	1.69	1.86	1.37	1.21	1.62	1.46
SEP	2.22	2.28	1.93	1.73	1.84	3.52	2.25
OCT	1.97	2.05	1.95	1.42	1.30	1.78	1.75
NOV	1.40	1.78	1.67	1.06	1.07	1.16	1.36
DIC	1.14	1.47	1.42	1.00	0.89	0.98	1.15
ENE	1.01	1.24	1.59	0.88	0.64	0.83	1.03
FEB	0.99	1.54	1.03	0.59	0.56	0.64	0.89
MAR	0.99	1.39	0.83	0.63	0.47	0.49	0.80
ABR	0.83	1.55	1.42	0.54	0.80	0.46	0.93
ANUAL	1.29	1.56	1.75	1.24	1.01	1.25	1.35

VOLUMEN DE ESCORRENTIA EN MILIMETROS

TIEMPO DE REGISTRO: 6 AÑOS

ESTACION: ALOTENANGO

RIO: GUACALATE

MES	AÑOS HIDROLOGICOS						PROMEDIO MENSUAL
	1974-1975	1975-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	TODO EL REGISTRO
MAY	7.43	7.65	16.30	16.38	5.94	6.38	10.01
JUN	14.06	11.16	23.31	16.71	8.89	10.26	14.06
JUL	10.61	10.80	18.95	11.99	12.48	12.10	12.82
AGO	8.00	13.80	15.20	11.18	9.53	13.27	11.83
SEP	17.54	18.04	15.21	13.65	14.51	27.81	17.79
OCT	16.08	16.71	15.90	11.58	10.65	14.50	14.24
NOV	11.06	14.00	13.16	8.40	8.47	9.16	10.71
DIC	9.31	11.99	11.63	8.13	7.24	8.02	9.39
ENE	8.25	10.15	13.01	7.22	5.23	6.77	8.44
FEB	7.30	11.75	7.61	4.36	4.10	4.88	6.67
MAR	8.08	11.35	6.75	5.16	3.86	3.98	6.53
ABR	6.55	12.28	11.24	4.30	6.33	3.64	7.39
ANUAL	124.29	149.68	168.27	119.06	97.23	120.77	129.88

VOLUMEN DE ESCORRENTIA MILLONES DE M<sup>3</sup>

TIEMPO DE REGISTRO: 6 AÑOS

ESTACION: ALOTENANGO

RIO: GUACALATE

MES	AÑOS HIDROLOGICOS						PROMEDIO MENSUAL
	1974-1975	1975-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1979	1979-1980	TODO EL REGISTRO
MAY	2.44	2.51	5.35	5.37	1.95	2.09	3.29
JUN	4.61	3.66	7.65	5.48	2.92	3.37	4.62
JUL	3.48	3.54	6.22	3.93	4.10	3.97	4.21
AGO	2.62	4.53	4.99	3.67	3.13	4.35	3.88
SEP	5.75	5.92	4.99	4.48	4.76	9.12	5.84
OCT	5.28	5.48	5.22	3.80	3.49	4.76	4.67
NOV	3.63	4.62	4.32	2.76	2.78	3.00	3.52
DIC	3.05	3.93	3.81	2.67	2.37	2.63	3.08
ENE	2.71	3.33	4.27	2.37	1.72	2.22	2.77
FEB	2.39	3.86	2.50	1.43	1.34	1.60	2.19
MAR	2.65	3.72	2.21	1.69	1.27	1.31	2.14
ABR	2.15	4.03	3.69	1.41	2.08	1.19	2.43
ANUAL	40.76	49.13	55.22	39.06	31.91	39.61	42.63

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1645

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

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

"IMPRIMASE"

ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.  
D E C A N O

