

D. 2
01
T(506)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

CARACTERIZACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DEL RECURSO
AGUA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Agosto de 1984.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

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 Ruano
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 Palma.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Dr. Antonio A. Sandoval S.
EXAMINADOR: Ing. Agr. Fredy Hernández Ola.
EXAMINADOR: Ing. Agr. Marco Tulio Aragón.
EXAMINADOR: Ing. Agr. Luis A. Menéndez Ch.
SECRETARIO: Ing. Agr. Carlos R. Fernández P.



Referencia
Asunto
.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1848

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

9 de Agosto de 1984.

Ing. Agr.
 César Castañeda S.
 Decano
 Facultad de Agronomía
 Su Despacho.

Señor Decano:

Atentamente nos dirigimos a usted, para informarle que de acuerdo a la designación emanada de esa Decanatura, hemos procedido a asesorar y revisar el trabajo de Tesis titulado:

"CARACTERIZACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DEL RECURSO AGUA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA",

realizada por el Perito Agrónomo SERGIO VELASQUEZ MAZARIEGOS, como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sobre el particular nos permitimos informarle, que encontramos el trabajo satisfactorio y llena los requisitos académicos para ser aprobado como Tesis de Grado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


 Ing. Agr. Msc. Heber Rodríguez
 ASESOR


 Ing. Agr. Msc. Victor Cabrera
 ASESOR

/amdef.

Guatemala,
Agosto de 1984.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Presente.

Señores:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley -
Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala,
tengo el honor de someter a vuestra consideración el -
trabajo de tesis titulado:

"CARACTERIZACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DEL RECURSO
AGUA DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA"

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

Atentamente.


P.Agr. Sergio Velásquez Mazariegos

ACTO QUE DEDICO

A DIOS.

A MIS PADRES: Jerónimo Emilio Velásquez Ortega
Gloria Celeste M. de Velásquez

A MIS HERMANOS: Oscar Armando y Virginia
María Eugenia
Carlos Emilio y Marta Alicia
Ricardo y Celeste Aída.

A: Aída Georgina Vásquez Antillón

A MIS ABUELITAS: Elena O. v. de Velásquez
María Teresa v. de Mazariegos

A MIS TIOS Y TIAS: En especial a:
Juan Mario Velásquez O.
Edna Gamas de Velásquez

A MIS PRIMOS
Y SOBRINOS: En especial a:
Otto, Vinicio y Estuardo Velásquez G.

A LA FAMILIA: Vásquez Antillón.

A MIS AMIGOS
Y COMPANEROS: En especial a:
Alejandro y Carolina de Díaz
Ing. Agr. Roger A. Valenzuela B.
Ing. Agr. Carlos Spiegeler C.
Lic. Oscar M. Cobar Pinto
Sra. Ana María de Fisher.

TESIS QUE DEDICO

- A: Guatemala.
- A: Los Agricultores y Campesinos de Guatemala.
- A: Los Investigadores del Proyecto Caracterización de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Grande de Zacapa, Samalá y Achiguate.
- AL: Instituto Técnico de Agricultura.
- A: La Promoción de Peritos Agrónomos 1973-1975.
- AL: Programa de Becas del Ministerio de Agricultura.
- A: Las Sub-Area de Ingeniería Agrícola y Ciencias Químicas de la Facultad de Agronomía.
- AL: Instituto de Investigaciones Agronómicas.
- A: La Facultad de Agronomía.
- A: La Universidad de San Carlos de Guatemala.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores Ing. Agr. M. Sc. Heber Rodríguez e Ing Agr. M. Sc. Victor Cabrera C., por su valiosa orientación, interés y dedicación en la revisión del presente trabajo.

Al Ing. Agr. Hugo Tobías e Ing. Agr. M. Sc. Luis Alberto Castañeda por la colaboración prestada.

A mi novia Aída Georgina Vásquez Antillón por su valiosa ayuda, comprensión e incondicional apoyo durante la realización de este trabajo.

Al personal del Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento -DIRYA- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, por su colaboración en el análisis de agua.

Al Ing. Agr. Efraín López y Personal de la División de Estudios Geográficos del Instituto Geográfico Militar -IGM- por permitirme el uso de equipo y material de esa Institución.

A los señores Mario Vinicio Velásquez y Mario Velasco, por su ayuda desinteresada al propocionarme el equipo y material de dibujo.

Al señor Oscar Esquivel Rodas, por su valiosa ayuda en la transcripción mecanográfica.

A todas aquellas persona que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo y sin cuyo concurso hubieraresultado imposible la realización del mismo.

CONTENIDO

	<u>PAGINA</u>
I. INTRODUCCION.	1.
II. OBJETIVOS.	3
III. REVISION DE LITERATURA.	4
1. Generalidades	4
2. Estudio morfométrico de cuencas.	5
2.1. Parámetros físicos de la forma de la cuenca.	6
2.2. Parámetros de relieve de la cuenca.	7
3. Estudio de calidad del agua de la cuenca.	8
3.1. Las fuentes de agua.	11
3.2. Descripción de los principales polucionadores potenciales.	13
3.3. Normas de calidad para agua de riego.	19
3.4. Normas de calidad microbiológica del agua para uso doméstico.	24
3.5. Parámetros generales de acuerdo al uso.	27
3.6. Recolección de muestras.	29
4. Estudio hidrológico de la cuenca.	34
4.1. Análisis de precipitación.	35
4.2. Análisis de evapotranspiración.	38
4.3. Análisis de escurrimiento superficial.	43
IV. MATERIALES Y METODOS.	53
1. Localización de la cuenca.	53
2. Materiales.	53
3. Métodos.	55

	<u>PAGINA</u>
V. RESULTADOS Y DISCUSION.	67
1. Aspectos cualitativos.	67
2. Cuantificación del recurso agua.	101
VI. CONCLUSIONES.	124
VII. RECOMENDACIONES.	125
VIII. BIBLIOGRAFIA.	126
IX. ANEXO.	130

INDICE DE CUADROS

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Normas internacionales para el agua potable.	26
2.	Resultados de análisis cualitativos de agua pluvial.	68
3.	Resultados de análisis cualitativos de agua subterránea.	71
4.	Resultados de análisis bacteriológicos de agua superficial y subterránea.	73
5.	Parámetros cualitativos de agua superficial en la estación de muestreo Puente Songotongo.	78
6.	Parámetros cualitativos de agua superficial en la estación de muestreo Puente San José.	82
7.	Parámetros cualitativos de agua superficial en la estación de muestreo Puente Piedras Azules.	84
8.	Parámetros cualitativos de agua superficial en la estación de muestreo Camotán.	85
9.	Parámetros cualitativos de agua superficial en la estación de muestreo La Presa.	86
10.	Resumen de los datos de precipitación de las estaciones en la cuenca.	112

INDICE DE FIGURAS

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Localización de la cuenca del Río Grande de Zacapa.	54
2.	Mapa de localización de estaciones y puntos de muestreo.	56
3.	Colector rústico para agua pluvial.	61
4.	Variación del pH en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	75
5.	Valor del pH durante seis muestreos de agua superficial.	77
6.	Variación de la conductividad eléctrica en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	80
7.	Valor de la conductividad eléctrica durante seis muestreos de agua superficial.	81
8.	Variación de los sólidos en solución en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	88
9.	Valor de los sólidos en solución durante seis muestreos de agua superficial.	89
10.	Variación de la suma de cationes en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	92
11.	Valor de la suma de cationes durante seis muestreos de agua superficial.	93
12.	Variación de la suma de aniones en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	94
13.	Valor de la suma de aniones durante seis muestreos de agua superficial.	95

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
14.	Variación de la relación de adsorción de sodio en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	96
15.	Valor de la relación de adsorción de sodio durante seis muestreos de agua superficial.	97
16.	Variación del carbonato de sodio residual en cinco estaciones de muestreo de agua superficial.	99
17.	Valor del carbonato de sodio residual durante seis muestreos de agua superficial.	100
18.	Mapa hidrológico.	102
19.	Variación de la precipitación media mensual en la estación Agua Blanca.	104
20.	Variación de la precipitación media mensual en la estación Chiquimula-Fecgua.	105
21.	Variación de la precipitación media mensual en la estación La Fragua.	106
22.	Variación de la precipitación media mensual en la estación Ipala-Fegua.	107
23.	Variación de la temperatura media mensual en la estación Camotán.	108
24.	Variación de la temperatura media mensual en la estación Zacapa-Fegua.	109
25.	Mapa de isoyetas medias anuales.	111
26.	Mapa de isopletas medias anuales.	114
27.	Mapa de isotermas medias anuales.	116
28.	Variación anual de la temperatura en la estación Camotán.	117

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
29.	Variación anual de la temperatura en la estación La Fragua.	118
30.	Variación anual de la temperatura en la estación Ipala PHC.	119
31.	Hidrógrafo de caudales medios mensuales en la estación Camotán.	120
32.	Curva de duración de caudales medios diarios de la estación Camotán.	122

RESUMEN.

El presente trabajo constituye parte de la segunda etapa de la investigación que el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Agronomía realiza sobre caracterización de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Achiguate, Samalá y Grande de Zacapa. Consiste de un estudio preliminar del recurso agua en el área de la Cuenca del Río Grande de Zacapa y tuvo como objetivo principal su caracterización cualitativa y cuantitativa.

Para la caracterización cualitativa se hizo un reconocimiento preliminar del área y se seleccionaron 5 puntos de muestreo para agua superficial, 5 para muestreo de precipitación pluvial y 3 para agua subterránea. Las muestras se tomaron en volúmenes de un galón, en intervalos de - aproximadamente un mes, durante el período de septiembre de 1983 a febrero de 1984. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riegos y Avenamiento -DIRYA- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Las muestras para análisis microbiológico se procesaron en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía, habiéndose realizado únicamente un muestreo en el mes de octubre de 1983.

Para la caracterización cualitativa se procedió a recolectar los datos meteorológicos e hidrológicos de las estaciones ubicadas dentro y en las cercanías de la cuenca.

Se procesó la información y se determinó el período común más largo, se elaboraron los mapas de isoyetas, isopletas

e isotermas así como la curva de duración de caudales para la estación hidrométrica Camotán. Se planimetraron los mapas y la gráfica obteniéndose las cantidades respectivas de volumen precipitado, volumen evapotranspirado y volumen escurrido hasta la estación Camotán y los valores medio de precipitación, evapotranspiración, caudal y temperatura.

El agua pluvial de la Cuenca del Río Grande de Zacapa, mantuvo una calidad tal que la hace apta, sin restricciones para su uso en agricultura. En los aspectos cuantitativos los valores mayores se observaron en el área sureste de la cuenca y los menores en el área de Zacapa y Chiquimula, con un volumen total precipitado de 2,611,799,960 m³ y un promedio de precipitación sobre el área de la cuenca de 1,036.84 mm. La evapotranspiración potencial es en general alta y es mayor en las zonas bajas que en las montañosas de la cuenca. El volumen total evapotranspirado fue de 2,147,825,350 m³ y el promedio sobre el área de la cuenca de 852.65 mm. El volumen escurrido hasta la Estación Camotán fue de 810,159,840 m³ con un caudal promedio de 25.69 m³/seg y un índice de variabilidad de 0.37.

La calidad química del agua subterránea para riego es tal que su uso agrícola es limitado. La calidad bacteriológica es excelente por lo que no existen restricciones para el consumo.

El agua superficial de la cuenca es en general apta para riego, únicamente es necesario tomar medidas de control en época seca para evitar salinización de los suelos irrigados. Su calidad bacteriológica hace restrictivo su uso para consumo humano, a menos que el agua reciba los tratamientos necesarios.

I. INTRODUCCION.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía, ha financiado e impulsado desde el año de 1982 un programa de caracterización de cuencas hidrográficas. Esta caracterización pretende llevar a cabo de una forma integral, adoptando el enfoque de sistemas para el estudio de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos de cada cuenca, así como sus interrelaciones.

Con estos trabajos se trata de conocer el potencial productivo de la cuenca y proveer los fundamentos para planificar la forma más adecuada de manejo de la misma con el objetivo de preservar el equilibrio ecológico, aprovechando racionalmente sus recursos naturales, conservándolos y maximizando sus rendimientos.

Para lograr este objetivo, es necesario caracterizar cualitativa y cuantitativamente los recursos de la cuenca. Entre estos recursos se considera el agua como el componente alrededor del cual gravitan todos los demás componentes bióticos de la cuenca. Por ello es tan importante su caracterización y su comportamiento medio anual.

La caracterización cualitativa del recurso se llevó a cabo por medio de análisis de muestras tomadas en puntos distribuidos en toda el área de estudio, abarcando el período de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984.

La caracterización cuantitativa se llevó a cabo por medio de datos meteorológicos de los años 1972 a --

1979, para lluvia y evapotranspiración y de 1969 a 1978 para los datos de caudal.

Los resultados obtenidos en el trabajo, podrán ser utilizados más adelante para ser correlacionados con otros componentes bióticos y abióticos de la cuenca y así poder generar modelos de manejo de acuerdo al estado en que se encuentre cada uno de ellos.

II. OBJETIVOS.

2.1. OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar cualitativa y cuantitativamente el recurso agua en la Cuenca del Río Grande de Zacapa.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a) Determinar la calidad durante los meses Septiembre y Octubre de 1983 y la cantidad del agua pluvial de la cuenca y su comportamiento medio anual.
- b) Determinar la calidad del agua superficial de la cuenca durante los meses de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984; la cantidad (hasta la Estación Hidrométrica Camotán) y su comportamiento medio anual.
- c) Determinar la calidad del agua subterránea de la cuenca.
- d) Determinar la cantidad de evapotranspiración potencial en la cuenca y su comportamiento medio anual.

III. REVISION DE LITERATURA.

1. Generalidades.

Definición de cuenca:

Solórzano (1971), define la cuenca vertiente en un punto, o más precisamente, en una sección transversal de un curso de agua como la totalidad de la superficie topográfica drenada por ese curso de agua y sus afluentes aguas arriba de dicha sección, todos los escurrimientos que tienen nacimiento en el interior de esta superficie deben atravesar la sección transversal considerada para continuar su trayecto hacia abajo.

Rodríguez (1981), define la cuenca como toda el área drenada por una corriente o por un sistema de corriente, cuyas aguas concurren a un punto de salida, en otras palabras, se puede decir que cuenca de drenaje es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona todo o parte del flujo de la corriente principal y sus corrientes tributarias.

Manejo integral de una cuenca:

Uno de los objetivos principales en el manejo de cuencas es 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.

De cualquier forma en el manejo integral de una cuenca los objetivos principales se resumen de la manera siguiente:

- 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 (Vásquez Santizo, 1982).

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 debiera suministrar la base para mecanismos cuantitativos con el fin de predecir 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.

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 disponibilidad de mapas que, en general, son de diferentes escalas y están hechas 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 definiciones apropiadas. Finalmente, es claro que las relaciones entre las características físicas, prácticamente estáticas, de la cuenca y sus características hidrológicas, altamente estocásticas deben ser de gran complejidad (Linsley, 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 y forma de la cuenca.

Entre los datos que consigna el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala -IGN- (1971) en el Estudio morfométrico de la cuenca del Río Grande de Zacapa, están:

- a) Longitud desde la divisoria (sobre el río San José) al punto considerado del cauce principal: 97.35 Kms.
- b) Area: 3341 Km^2 (2462 Km^2 en territorio Nacional de Guatemala y 879 Km^2 en territorio de Honduras).
- c) Radio de elongación: 0.673.
- d) Densidad del drenaje (sin incluir la parte hondureña): 0.86 Km de cauce por Km^2 .

2.2. Parámetros de relieve de la cuenca:

Según Linsley (1977), 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 y aspecto.

El -IGN- (1971) determinó para la cuenca del Río Grande de Zacapa, los perfiles

Para cada una de las subcuencas de la misma, consignando los siguientes datos:

- a) Pendiente equivalente del curso principal, dado por la pendiente de una corriente uniforme equivalente de igual longitud que el cauce principal y de equivalente tiempo de corrimiento: 8.85%.
- b) Pendiente entre los puntos situados entre el 10% y el 85% de la longitud del curso principal: 8.76%.
- c) Coeficiente de relieve, dado por la elevación entre la diferencia de elevaciones entre el punto más alto del perímetro de la cuenca con el punto considerado y la longitud del cauce principal: 0.018.
- d) Coeficiente de robustez, dado por el producto de la diferencia de elevación entre el punto más alto del perímetro de la cuenca y el punto correspondiente a la desembocadura y la densidad de drenaje: 1.535.

3. Estudio de calidad del agua de la cuenca:

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

De acuerdo a la American Water Works Association (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 esta puede variar de acuerdo a lo lugares que recorra antes de ser tomada por un usuario, en estos puntos intermedios puede sufrir contaminación o autopurificación. La calidad del agua es influenciada por los factores naturales y por la actividad del hombre. Estos factores como quiera que sean producen variaciones en la calidad del agua obtenida del 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.

Swenson y Baldwin 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 de rocas del suelo que el agua 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 del agua que lo recibe, en consecuencia, debido a la actividad humana aparecen los polucionadores del agua.

La calidad del agua va a tener diversos puntos de vista de acuerdo al uso que se pretenda darle, no rigen las mismas normas a un agua para

consumo humano, como una para riego u otra para uso industrial como ejemplo. 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 su propiedad para usos benéficos", - nosotros podemos agregar que calidad es un término que se emplea para indicar la conveniencia de usar un producto para determinado fin. De los usos que pueden darse al agua, algunos de los más importantes son:

- Consumo doméstico.
- Uso agrícola (riego, abrevar ganado, etc.).
- Uso industrial.
- Reservas y abrevaderos silvestres.
- Acuicultura.
- Deportes acuáticos.
- Medio de transporte.

Vamos a partir del punto que agua en su forma químicamente pura (H_2O) no se encuentra en la naturaleza, siempre va a contener sustancias que no necesariamente tendrán que ser contaminantes o polucionadores, 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 en el caso de sales alcalinas, sedimentos e inclusive materia orgánica, pero lo que si es cierto es que las fuentes de contaminación ajenas a la naturaleza de la corriente son las que

más serios trastornos van a producir en el equilibrio del sistema. En este aspecto se pueden mencionar entre otras: aguas servidas de las - poblaciones que transportan materias fecales, jabones, detergentes, subproductos de industrias, grasas, etc.

También existe la adición de residuos agroquími-
cos y lodos provenientes de la erosión como re-
sultado de la intervención del hombre en el ma-
nejo de las tierras.

3.1. Las fuentes de agua:

De acuerdo a la fuente de agua puede existir una variación en su calidad natural o en su susceptibilidad a ser contaminada. Según la American Water Works Association (1968), estas fuentes en su forma aprove-
chable dentro del ciclo hidrológico pue-
den ser:

- Lluvia o nieve.
- Agua superficial.
 - a) Corrientes de agua.
 - b) Lagunas o lagos naturales.
 - c) Embalses.
- Agua subterránea.
 - a) Manantiales.
 - b) Pozos poco profundos y galerías de infiltración.
 - c) Pozos profundos.

Lluvia o nieve:

El agua condensada en las nubes es prácticamente pura, pero a medida que cae va absorbiendo partículas 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 lluvias. La American Water Works Association (1968) reporta que en las ciudades industrializadas y durante las primeras lluvias el agua tiende a estar más contaminada.

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 regiones graníticas. Las fuentes de superficie en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas de alcantarilla y desperdicios industriales.

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, tipo de vegetación y uso de la tierra.

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 recogidos 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 de 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.

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

3.2. Descripción de los principales polucionadores potenciales:

Esta descripción es tomada del trabajo de

Vargas (1969), titulado "Parámetros de calidad de las aguas naturales de la República de Guatemala", quien a su vez lo toma de "Water Quality Criteria" (sf) de la oficina de Control de Calidad del Agua del Estado de California. Únicamente se hará mención de los que tienen importancia en el agua de riego.

a) Color:

El color en el agua puede ser de origen mineral o vegetal, causado por sustancias metálicas tales como componentes de hierro, manganeso, humus, turba, taninos, algas y protozoos. El agua puede ser también coloreada por desechos solubles de las industrias. El agua de irrigación que retorna al cuerpo también contribuye con el 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 que ésta tiene de neutralizar el jabón. La dureza se atribuye principalmente al ión calcio y magnesio, ya que otros elementos - que la producen, raramente se presentan en concentraciones apreciables en aguas naturales.

La dureza es expresada en términos de una concentración equivalente de carbonato de calcio, porque la misma es causada solamente por cationes tales como calcio y magnesio y consecuentemente es independiente de los aniones de la solución.

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.

c) Turbidez:

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

La turbidez 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 turbidez excesiva afecta 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 estos disminuye. Las partículas que producen turbidez pueden ser letales - pues modifican la estructura de la temperatura de los lagos.

d) Alcalinidad:

Acidez y 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 a 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.

e) Calcio:

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

El calcio es esencial para el normal crecimiento de las plantas y para el mantenimiento de un buen cultivo en el suelo y es deseable en el agua de irrigación.

f) Cloruros:

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

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 limonares, alfalfa, árboles frutales y a los tubérculos, pero los sulfatos son más tóxicos que los cloruros en las remolachas.

g) Hierro:

El hierro y sus componentes comunes en presencia de oxígeno producen coloración al agua.

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

El hierro es uno de los constituyentes menores del agua de irrigación, usualmente ocurre en bajas concentraciones y es generalmente de poca importancia en ésta.

h) 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.

Es esencial para el cultivo normal de plantas; los cationes de calcio y magnesio en agua de irrigación, tienden a guardar el suelo permeable y se obtienen buenos cultivos.

i) pH:

El pH es usado para designar el logaritmo (base 10) del recíproco de la concentración del ión hidrógeno. Una concentración de ión hidrógeno puede afectar adversamente más de uno de los usos benéficos. No solamente el ión hidrógeno es 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.

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 bajo pH, suelos ácidos es aconsejable usar agua de un pH moderadamente alto.

3.3. Normas de calidad para aguas de riego:

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

Al momento de determinar la calidad del 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 los cuales se clasifican así:

- Características químicas.
- Condiciones agronómicas.
- Condiciones edafológicas.

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 cuatro 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. La concentración de iones u otros - elementos que puedan ser tóxicos.
- IV. La concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio.

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 ocasionar los contenidos salinos en el cultivo por efectuarse.

Como órgano de consulta en este aspecto hay que recurrir a tabulaciones realizadas por diversas instituciones 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.

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 las plantas.

Esta condición se puede controlar aplicando además de la lámina de agua requerida por el riego, otra porción de agua adicional o lámina de sobreriego, 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 sobre-riego.

Clasificación del agua para riego:

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1977), al clasificar las aguas para riego, se supone que van a usarse bajo condiciones medias con respecto a la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualesquiera de estas variables puede hacer inseguro el uso de agua que bajo condiciones medias sería de muy buena calidad o, al contrario, pueden inducir a considerar un agua como muy buena cuando bajo condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse en cuenta cuando se trata de clasificar las aguas para riego.

El agua para riego se clasifica desde dos grandes aspectos:

a) Peligro de salinidad:

Las aguas se dividen en cuatro clases con respecto a su conductividad, siendo los puntos de división entre dichas clases y su respectiva clasificación los siguientes:

- Agua de baja salinidad (C_1): 100-250 micromhos/cm.
- Agua de salinidad media (C_2): 250-750 micromhos/cm.
- Agua altamente salina (C_3): 750-2250 micromhos/cm.
- Agua muy altamente salina (C_4): mayor de 2250 micromhos/cm.

b) Sodio:

La clasificación de las aguas de riego con respecto a la relación de adsorción de sodio (RAS), se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. No obstante, las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación de sodio en sus tejidos cuando los valores del sodio intercambiable son más bajos que los necesarios para deteriorar la condición física del suelo.

Las aguas de riego se dividen en cuatro clases con respecto al RAS:

- Agua baja en sodio (S_1): de 0 a 10 de RAS.
- Agua media en sodio (S_2): de 10 a 18 de RAS.
- Agua alta en sodio (S_3): de 18 a 26 de RAS.
- Agua muy alta en sodio (S_4): Más de 26 de RAS.

3.4. Normas de calidad microbiológica del agua para uso doméstico.

Las normas de calidad del agua son límites en los valores cuantitativos de las 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, pueden 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. Las normas para

agua potable no señalan una eliminación completa de organismos coliformes en el agua (McCarty, 1979).

El gusto del público a la estética establecen criterios para consideraciones subjetivas tales como 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 aceptables.

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- (1964) con sede en Ginebra, Suiza, estableció las Normas Internacionales para el agua potable. Esta organización toma como criterios las concentraciones máximas tolerables. Sus normas involucran los tres aspectos fundamentales: Calidad física, calidad química y normas bacteriológicas.

En el Cuadro No. 1. se presentan las normas que se mencionan en el párrafo anterior. Se han omitido los aspectos de calidad química, pues el trabajo de tesis no involucra estos aspectos.

Cuadro No. 1. Normas internacionales para el agua potable.

1. Calidad física:	CONCENTRACION	CONCENTRACION
SUSTANCIA	MAXIMA ACEPTABLE	MAXIMA TOLERABLE
Color	5 Unidades	50 Unidades
Turbidez	5 Unidades	25 Unidades
Sabor	No rechazable	-----
Olor	No rechazable	-----
2. Normas bacteriológicas:		NMP/100 ml de bacterias coliformes.
CLASIFICACION		
I. Calidad bacteriológica que no exige más que un tratamiento de desinfección.		0-50
II. Calidad bacteriológica que no precisa la aplicación de los métodos habituales de tratamiento (coagulación, filtración y 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, estas fuentes sólo se utilizan en extremo.		Más de 50000

Fuente: Organización Mundial de la Salud, Ginebra, (1964).

3.5. Parámetros generales de acuerdo al uso:

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología --
-INSIVUMEH- (1976), realiza la siguiente clasificación de acuerdo al uso del agua:

a) Consumo doméstico:

- Cloruros.
- pH.
- Oxígeno disuelto.
- Turbidez.
- Dureza.
- Fosfatos.
- Nitratos.
- Nitritos.

b) Irrigación:

- Calcio.
- Cloruros.
- Conductividad específica.
- Magnesio.
- Potasio.
- Sólidos disueltos.
- Sodio.
- Alcalinidad.

c) Mantenimiento y propagación de peces y otras especies acuáticas:

- Conductividad específica.
- oxígeno disuelto.
- pH.
- Salinidad.
- Temperatura.

d) Recreación:

- Fosfatos.
- Nitratos.
- Nitritos.

e) Consumo de ganado:

- Conductividad específica.
- Nitratos.
- Sólidos disueltos.

f) Generación de energía eléctrica y navegación: Aunque no hay normas de calidad para tales usos se considera que entre otros, los siguientes parámetros son importantes:

- Oxígeno disuelto.
- pH.
- Temperatura.
- Fosfatos.
- Nitratos.
- Nitritos.

g) Consumo industrial:

- Alcalinidad.
- Dureza.
- pH.
- Temperatura.

h) Disposición de desechos:

- Oxígeno disuelto.
- pH.
- Temperatura.

3 6. Recolección de muestras:

Cantidad:

Para la mayor parte de los análisis físicos y químicos es suficiente una muestra de dos 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.

Para el análisis microbiológico la cantidad de muestra es de 150 cc, tomados en frascos especiales con tapón esmerilado y esterilizados (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1962).

Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis:

Según la American Public Health Association (1962), en general, mientras menos tiempo transcurra entre la recolección de una muestra y su análisis, mayor será 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 horas.
Aguas contaminadas:	12 horas.

El informe de laboratorio debe registrar el tiempo que haya transcurrido entre la recolección y el análisis. Si las muestras se preservan por la adición de ácido o germicidas se pueden permitir mayores períodos que los mencionados, pero no se ofrecen recomendaciones específicas. El informe del laboratorio debe asentar cuál fue el preservativo agregado si se le aplicó alguno.

Por el almacenamiento de las muestras antes del análisis, ciertas determinaciones se pueden efectuar en mayor grado que otras. Algunos cationes están sujetos a pérdidas por adsorción o permutación iónica con las paredes del recipiente de cristal, incluyéndose en tales cationes el hierro, cobre, aluminio, manganeso, cromo trivalente y zinc. La temperatura cambia muy rápidamente, el pH se puede modificar en forma significativa en cuestión de minutos, los gases disueltos se pueden perder (oxígeno, bióxido de carbono) y por esto las determinaciones de temperatura, pH y gases disueltos es conveniente que se verifiquen en el campo. Con cambios en el balance de pH-alcalinidad-bióxido de carbono se puede precipitar el carbonato de calcio, produciéndose una disminución en los valores del calcio y de la dureza total de agua.

El hierro y el manganeso forman compuestos fácilmente solubles en sus estados inferiores de valencia (reducidos) y compuestos relativamente insolubles en sus estados superiores de valencia (oxidados), por lo tanto, estos cationes se pueden precipitar o sedimentar, o disolverse en los sedimentos, dependiendo del potencial redox de la muestra. La actividad microbiológica puede ser responsable de cambios en el balance nitrato-nitrito-amoniaco, de los abatimientos de los fenoles y en la DBO y de la reducción de sulfatos a sulfuros. Cualquier cloro residual se convierte en cloruro, el sulfuro, el sulfito, el hierro ferroso, el yoduro y el cianuro pueden desaparecer por oxidación, el color, el olor y la turbidez puede aumentar, disminuir o cambiar de calidad. Se pueden deslavar el sodio, el sílice y el boro del recipiente de cristal, el cromo hexavalente se puede reducir al estado trivalente.

La anterior enumeración no incluye todos los casos, pues es claramente imposible prescribir reglas para la preservación de todos los cambios posibles.

Muestras representativas:

Se debe poner especial cuidado 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 propiamente, 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, lo mismo que el nombre del muestreador, la fecha, la 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 corrección, como pueden ser las condiciones meteorológicas, el nivel del agua, el caudal de la corriente, etc. Las estaciones de muestreo se deben identificar por una descripción datallada por mapas y planos, o con la ayuda de estacas, boyas, balizas, en forma que sea posible identificarlas por otra persona.

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

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

Tipos de muestras:

Según Lee (1980), hay tres tipos básicos de muestra:

- Muestra simple:

Es la toma de una muestra en un lugar y tiempo específicos, que representa la composición del agua en un tiempo y lugar, puesto que la composición natural varía con el tiempo y el espacio, la muestra simple debe ser repetida en orden para obtener información con la que se pueda estimar la variabilidad de la calidad del agua o la calidad media del agua.

- Muestra compuesta:

Una serie de muestras simples tomadas en tiempos diferentes, pero en la misma localización, combinadas, forman una muestra compuesta. La calidad de la

muestra compuesta representa el promedio de la calidad del agua en una misma localización, para el intervalo de tiempo sobre el cual una serie de muestras fue tomada. La muestra compuesta puede ser útil, por ejemplo, en la determinación del promedio de calidad de la descarga de un río para un mes, semana, día o temporada.

- Muestra integrada:

Una serie de muestras simples tomadas en diferentes lugares de la misma corriente, pero en el mismo tiempo, pueden ser combinadas para una muestra integrada. La calidad de la muestra integrada representa el promedio de calidad de la corriente en un tiempo dado. La muestra integrada es útil en lagos, embalses, en donde la muestra es representativa de toda la extensión de agua deseada. Ambas, compuesta e integrada, reducen la cantidad requerida de trabajo analítico.

4, 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 hidro-

lógicos. La información que se analiza primordialmente es aquella que tiene influencia en las relaciones precipitación-escorrentía: escorrentía, precipitación y temperatura (Rojas, - 1979).

4.1. Análisis de precipitación:

La precipitación, según Negrete (1980), es la caída a la superficie de la tierra o al mar, de agua proveniente de las nubes que se encuentran en la atmósfera.

El agua de la atmósfera al condensarse - puede caer a la superficie de la tierra o al mar en diversas formas, a las cuales se les da el nombre de hidrometeoros, - siendo los más importantes: la llovizna, lluvia, escarcha, granizo, bolas de hielo, cellisca o granos de hielo y granizo pequeño.

Métodos de análisis:

a) Datos faltantes:

Al interpretar los registros se encuentra que muchas estaciones pluviométricas tienen pequeños "quiebres" en sus registros, debido ya sea a la ausencia de observaciones o a datos erróneos por fallas instrumentales, por lo que a menudo se hace necesario estimar estos - datos con un limitado margen de confianza

za. El método más recomendado es el del U.S. Water Bureau, el cual ha sido probado con éxito en Latinoamérica (Rodríguez, 1981 & Solórzano, 1971).

b) Ajuste de registros:

Para determinar la regularidad del registro de una estación, en lo que se refiere a cambios de situación del pluviómetro o procedimiento de observación se usa el análisis denominado "Curva de Doble Masa" que también se ha usado para determinar la consistencia de los datos entre dos estaciones, para verificar qué relación guardan los datos de una con respecto a otra y que es indicada por la pendiente de las rectas formadas por los valores acumulados de cada estación contra los valores promedios acumulados (Estrada, 1970 & Linsley, 1977).

Cruz López (1975), en el análisis de consistencia de sus datos de precipitación hizo una primera selección de estaciones basado en la cantidad de información, desechando las estaciones con registros incompletos con menos de 5 años de registro y luego realizó una segunda selección en base a calidad de información por el método de curvas de doble masa el cual se aplicó por grupos.

Es necesario tener una distinción exacta de los tipos de datos y de la calidad de los mismos para hablar un lenguaje común, poder extraer la máxima información contenida en los datos y hacer análisis basados en datos que reflejen la realidad física. Los datos hidrológicos contiene errores entre los cuales se distinguen los errores aleatorios y los errores sistemáticos. Aquellos valores derivados con errores sistemáticos (de medición o cálculo) introducen la inconsistencia en la serie de datos (Facultad de Ingeniería, USAC, 1978).

c) Cálculo de la precipitación promedio en un área:

Los principales métodos son:

- La media aritmética.
- La media ponderada.
- Polígonos de Thiessen.
- Isoyetas.

Alvarado (1979), no encontró gran varianza en los resultados obtenidos en el cálculo de la precipitación media en la cuenca del Río Madre Vieja, por los distintos métodos, pero sí detectó que cuando la red de estaciones está demasiado cercana, no permite la con-

veniente aplicación del método de Thiessen para el cálculo de la precipitación, ya que se presenta dificultad en determinar el área de influencia de cada polígono.

El método de la media aritmética da buenas estimaciones en terreno llano, si los pluviómetros están uniformemente distribuidos en toda la cuenca y las cantidades recogidas individualmente no difieren de la media. Estas limitaciones pueden superarse parcialmente si las influencias topográficas y la representatividad del área se ha tenido en cuenta en la selección de los emplazamientos de los pluviómetros (Estrada Girón, 1970).

El método de los polígonos de Thiessen es más preciso que el método aritmético pero es poco flexible.

El método de las isoyetas es el más preciso para promediar la precipitación sobre un área (Linsley, 1977 y Solórzano, 1971).

4.2. Análisis de evapotranspiración:

La evapotranspiración abarca la fase del ciclo hidrológico en la cual el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor,

por 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 en la preparación de predicciones sobre condiciones en ríos. También se usa para estimar necesidades de abastecimiento de agua para proyectos de irrigación (Alvarado Arriaga, - 1979).

La evapotranspiración se encuentra influenciada por diversos factores físicos y climatológicos tales como: tipo de suelo, temperatura, vegetación y brillo solar (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 evapotranspiración 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.

Evapotranspiración potencial es 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 (Linsley, 1977).

Métodos de análisis:

Conjuntamente con la infiltración, la evapotranspiración es el factor que más incide en la producción de escorrentía de una cuenca. Debido a que la evaporación de un tanque tipo "A" sólo se refiere a la pérdida de agua hacia la atmósfera desde una superficie de agua libre es necesario estimar el consumo de las diferentes formas de cobertura que existen sobre una cuenca. Como la medición de la evapotranspiración requiere del uso de lisímetros, la mejor manera de obtener su valor para una cuenca y un evento determinados es la estimación basada en el análisis del balance energético, a partir de datos climáticos. Cuando se poseen datos de evaporación, la mejor manera de obtener la evapotranspiración es en base a esas mediciones (Rojas, 1979).

Según Linsley (1977), para regiones tropicales los modelos de evapotranspiración deben llenar dos características principales, si es que se han de producir resultados satisfactorios:

- Un componente que involucra cierta medida del viento y humedad.
- Un componente que involucra la energía necesaria (calor).

Dentro del gran número de fórmulas existentes se ha hecho el estudio comparativo que indica el cuadro siguiente:

COMPONENTES INCLUIDOS	FORMULA
Viento.	Penman.
Humedad.	Christiansen
Humedad.	Blaney-Monin
Energía.	Turc
Temperatura (y en algunos casos brillo solar).	Thorntwaite. Lowry-Jhonson

Según Búcaro (1973), existe mucha disparidad entre los diferentes métodos para calcular evapotranspiración potencial, manifestando el método de Thorntwaite valores más altos que el método de Turc.

El mismo autor encontró también que para climas húmedos y semisecos la fórmula de cálculo recomendada para estimar evapotranspiración potencial es la de Thornthwaite.

Minera Barillas (1974), determinó que el método de Christiansen es el que guarda la más alta correlación entre la evapotranspiración medida directamente y la evapotranspiración potencial.

Los diferentes métodos de cálculos de evapotranspiración potencial, al comparar el valor de evapotranspiración que dan con la evaporación medida directamente en cada una de las estaciones seleccionadas, guardan mejor relación en la época seca que en la época húmeda. Los métodos que comparó Minera Barillas, fueron los de Thornthwaite y Christiansen.

El -IGN- (1971), trabajando en la cuenca del Río Grande de Zacapa, realizó una comparación entre ciertas variantes de las fórmulas de Christiansen, Turc y Thornthwaite, como a continuación se indica:

Christiansen:	1258 mm/año.
Turc:	864 mm/año.
Thornthwaite:	1336 mm/año.

Debe tenerse en cuenta que los coeficientes empíricos de estas fórmulas han sido obtenidos en otros países donde las condiciones pueden ser distintas a las prevalientes en nuestro medio. Sin embargo, dado que en Guatemala aún no se --

han logrado efectuar estudios para calibrar dichos coeficientes, tiene que recurrirse a las experiencias de otros lugares y luego interpretar los resultados con el criterio del investigador.

4.3. Análisis de escurrimiento superficial:

Según Remeneiras (1974), 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 facilitan su análisis y permiten extraer los elementos que interesan al hidrólogo y al ingeniero.

Según Estrada Girón (1970), la mayoría de los datos empleados por los hidrólogos tienen también utilidad en meteorología 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 variable dependiente, ya que interesa básicamente el cálculo de volúmenes o velocidades de las corrientes y los cambios de dichos valores por diversas causas.

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.

Métodos de análisis:

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

- Caudales medios diarios:

Estos caudales son calculados en litros/seg. o en m^3 /seg. a partir de la cota media H 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 los caudales medios diarios.

- Caudal medio anual:

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

tiempo cronológico (Solórzano, 1971).

- 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 (Remeneiras, 1974).

También son definidas por Linsley (1977), como curvas de frecuencias acumuladas descendentes que se obtienen mediante el ploteo de caudales contra la frecuencia acumulada de estos caudales.

Según Herrera Chacón (1963), 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

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.

Entre los parámetros que dan las curvas de duración de caudales están - (Estrada, 1970):

i) Volumen:

Esta representado por el área bajo la curva. El volumen obtenido será el total escurrido en un año promedio en metros cúbicos.

ii) Caudales promedio:

Como el área bajo la curva mide el volumen disponible en un cien por ciento, al dividirlo entre cien se obtiene el caudal promedio entre los 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 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.

Si una curva tiene una gran pendiente en el extremo superior, denotará que ésta es una corriente muy variable, sujeta a crecidas tan grandes y variables como torrencial sea el aguacero 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 almacenamientos 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 (Pellecer Meza, 1968).

- Índice de variabilidad:

Es el logaritmo de la desviación estandar de los logaritmos de los caudales. Como la desviación estandar indica la variación de una cantidad que fluctúa con respecto a una media central, tal como el promedio aritmético, el índice de variabilidad es en sí una desviación standar. Cuando el índice de variabilidad es alto, la variación del caudal es grande y cuando es bajo, esta es pequeña (Estrada Girón, 1970).

Lane y Lai (1977), 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 registros las curvas de duración y calculando los índices de variabilidad correspondientes. Para extender los resultados a cuencas en la región sin registro, correlacionaron los valores calculados del índice con las

características fisiográficas de la cuenca (Amisial, 1979).

Acajabón 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 Candalaria) 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 sí 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 predomina un material madre - bastante permeable. Índices mayores que el promedio pertenecen a cuencas de roca impermeable.

En general podemos concluir 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.
- Compara las características del régimen de dos o más cuencas en una región con el objeto de transponer 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 el volumen que se puede derivar de una corriente en 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.

IV. MATERIALES Y METODOS.

1. Localización.

La cuenca del Río Grande de Zacapa se encuentra ubicada geográficamente entre los paralelos $15^{\circ} 01' 00''$ y $14^{\circ} 27' 19''$ de latitud norte y los meridianos $89^{\circ} 07' 57''$ y $89^{\circ} 48' 01''$ de longitud oeste (Figura No. 1.).

La cuenca comprende principalmente los Departamentos de Zacapa y Chiquimula, y una pequeña porción de los Departamentos de Jalapa y Jutiapa. Abarca un área de 2519 Km^2 en territorio de Guatemala y aproximadamente 879 Km^2 en territorio hondureño.

Para su estudio se ha dividido en tres subcuencas: la del Río San José en la parte sur-occidental que cubre un área de 568 Km^2 , la del Río Shutaque en la parte sur-central de la cuenca con un área de 311 Km^2 y la del Río Camotán en la parte nor-este de la cuenca con un área de aproximadamente 1640 Km^2 . (Pineda Juárez, 1983).

2. Materiales.

- Muestreadores rústicos de madera y plástico para precipitación pluvial.
- Frascos de 500 ml con tapón esmerilado.
- Cámara estéril.
- Incubadora.
- Caldo de Lauril triptosa.

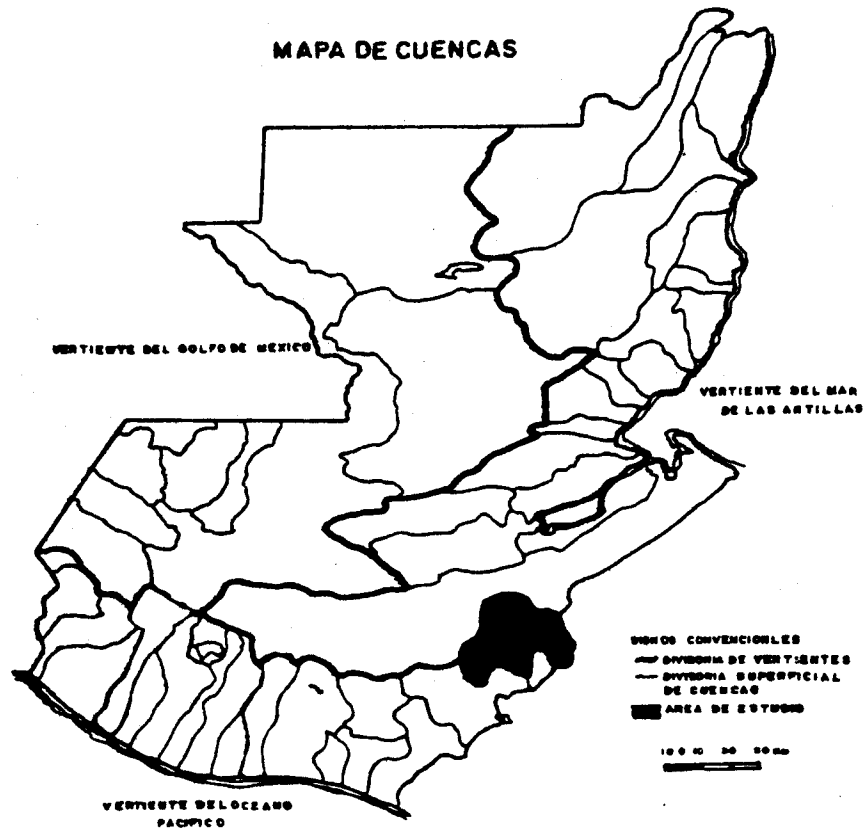


Figura No. 1. Localización de la cuenca del Río Grande de Zacapa.

- Caldo de bilis verde brillante.
- Hojas catográficas 1:50,000 y 1:250,000.
- Datos de caudales.
- Datos climáticos.
- Fotografía aérea de la cuenca.

3. Métodos.

A. Selección de puntos de muestreo:

Se hizo un recorrido preliminar de la cuenca, auxiliados con mapas cartográficos 1:50,000, con el objeto de observar qué lugares eran los más adecuados para tomar las muestras y para establecer los lugares donde existían pozos mecánicos.

En la selección de los puntos de muestreo se procuró que estos reunieran las siguientes características: fácil acceso, que fueran representativos de la región, que estuvieran cercanos a estaciones de registro (hidrométricas o climáticas) y que al final de la selección los puntos quedaran con una distribución espacial más o menos uniforme en toda la cuenca.

Debido a la limitación en cuanto al número de muestras a ser procesadas, únicamente fueron seleccionados 5 puntos de muestreo o estaciones de muestreo para agua superficial (río), 5 puntos de muestreo para precipitación y 3 puntos de muestreo para pozos mecánicos (Figura No. 2.).

i) Agua pluvial:

Para seleccionar el punto o estación donde se tomó este tipo de muestra se consideró que el lugar fuera descubierto, es decir, que estuviera libre de interferencia de vegetación u otros objetos altos similares cercanos y de fuertes vientos.

Los puntos seleccionados fueron los siguientes:

ESTACION O PUNTO DE MUESTREO.	LOCALIZACION	
	Latitud	Longitud
1. El Oasis, Zacapa.	14° 57' 51"	89° 35' 04"
2. Jocotán, Chiquimula.	14° 49' 20"	89° 23' 20"
3. Centro Universitario de Oriente.	14° 47' 50"	89° 32' 00"
4. Ipala.	14° 37' 08"	89° 37' 25"
5. Quezaltepeque.	14° 37' 46"	89° 25' 43"

ii) Agua subterránea:

Debido a que la región es abundante en fuentes superficiales, el número de pozos perforados en la cuenca es muy bajo. Por ello únicamente se seleccionaron 3 pozos, que se consideraron representativos de la cuenca por su ubicación. Los pozos seleccionados fueron los siguientes:

ESTACION O PUNTO DE MUESTREO	LOCALIZACION	
	Latitud	Longitud
1. Centro de Producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA- La Fragua, Zacapa.	14° 57' 50"	89° 35' 30"
2. Aldea SOS, Jocotán, Chiquimula.	14° 48' 25"	89° 23' 30"
3. Centro Universitario de Oriente -CUNORI- Chiquimula.	14° 47' 50"	89° 32' 00"

iii) Agua superficial:

Para seleccionar los puntos de muestreo se consideró en primer lugar que el punto estuviera ubicado en un sitio donde, a pesar de las crecidas del río en la estación lluviosa, fuese fácil recolectar la muestra del centro del río (puentes, por lo regular). Otro criterio fue que para detectar contaminación o cómo varían los distintos parámetros de calidad a lo largo de la corriente era necesario que existieran puntos casi al inicio de las mismas, así como en el lugar donde ya los tres afluentes principales: Río San José, Río Shutaqué y Río Jocotán, han formado el Río Grande de Zacapa.

Los puntos seleccionados fueron los siguientes:

ESTACION O PUNTO DE MUESTREO	LOCALIZACION	
	Latitud	Longitud
1. La Presa, Zacapa.	14° 54' 10"	89° 31' 25"
2. Puente San José Chiquimula.	14° 46' 55"	39° 32' 10"
3. Puente Songotongo Ipala.	14° 37' 25"	89° 39' 10"
4. Puente Piedras Azules Quezaltepeque.	14° 38' 08"	39° 29' 05"
5. Camotán, Chiquimula.	14° 49' 18"	89° 22' 20"

B. Muestreo de calidad de agua:

Los muestreos para calidad de agua se realizaron durante 6 meses, de septiembre de 1983 a febrero de 1984, incluyendo dos meses de la época lluviosa y 4 meses de la época seca. Los muestreos no se efectuaron cada mes exactamente sino que con intervalos variables, es decir, en fechas distintas cada mes.

Las muestras de agua superficial se tomaron en volúmenes de 1 galón, teniendo cuidado de enjuagar el recipiente dos veces con el agua del río antes de tomarlas. El muestreo se hizo en el centro de la corriente y cuando fue posible a media profundidad en lugares donde existía movimiento del agua (no estancamiento) y procurando no remover el fondo del río.

Las muestras de agua subterráneas se tomaron en volúmenes de 1 galón, en el punto más cer-

cano a la bomba para evitar que la circulación del agua en la tubería contaminara la muestra. Las muestras de agua pluvial se obtuvieron en volúmenes de 1 galón, recolectada cada muestra de varias lluvias ocurridas en el lugar durante un lapso de 4 o 5 días antes de ser recogidas para su transporte al laboratorio. Si el recipiente se llenaba muy rápido era refrigerado para conservarlo durante su transporte al laboratorio. Se utilizaron colectores rústicos de plástico y madera colocados a 1.3 metros del nivel del suelo, aproximadamente. (Figura No. 3.).

Las muestras de agua para análisis microbiológico fueron recolectadas en frascos esterilizados con capacidad de 500 ml. El frasco fue abierto cuando ya se encontraba dentro del agua para evitar contaminación del exterior. El análisis microbiológico únicamente se aplicó a aguas superficiales y subterráneas. Solo se hizo un muestreo y durante el mes de octubre de 1983.

C. Análisis de las muestras:

El análisis químico del agua fue realizado en el laboratorio de Suelos de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA- del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Este análisis únicamente se hizo desde el punto de vista de calidad de agua para riego, siguien

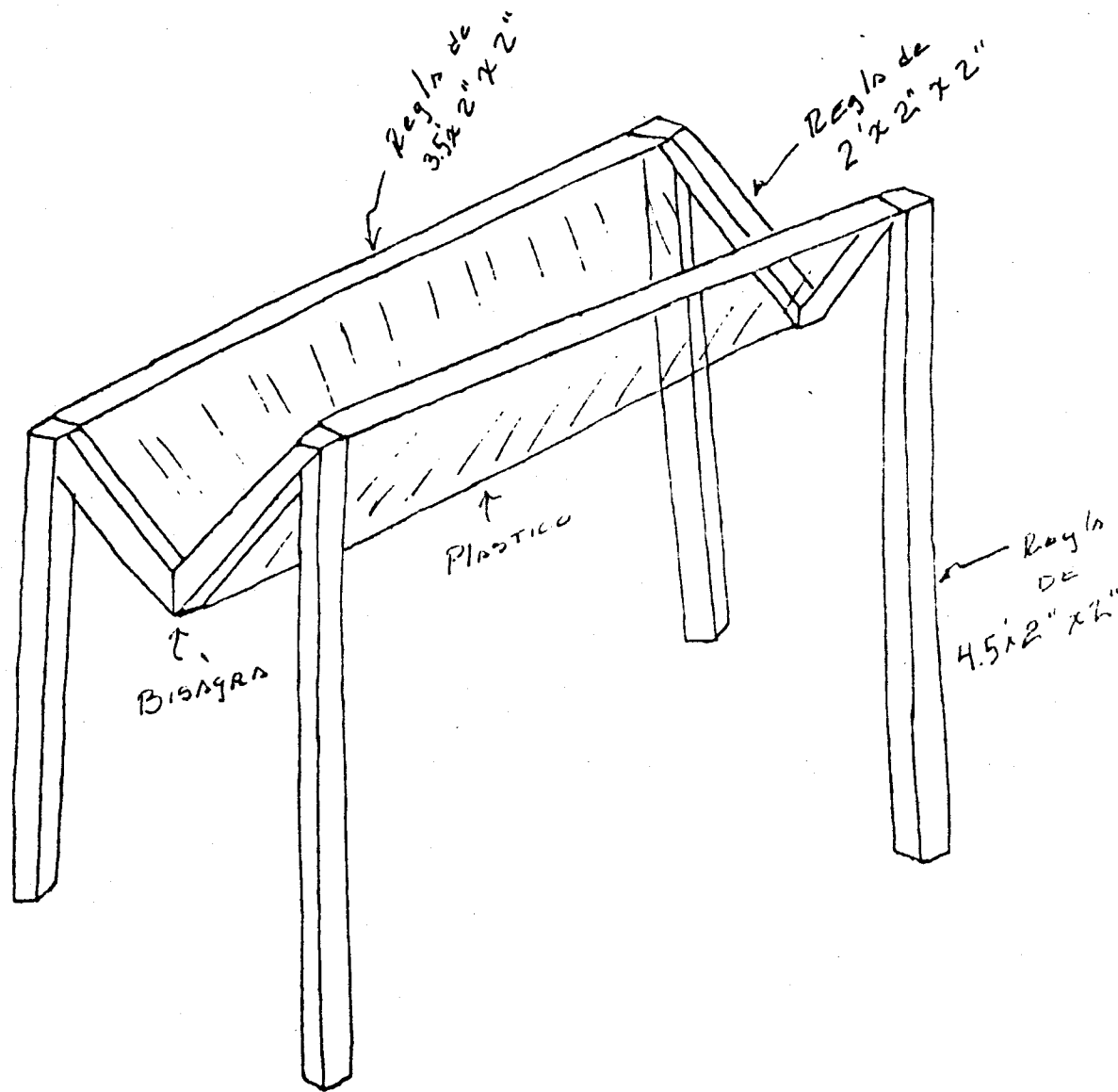


Figura No. 3. Colector rústico de madera y plástico para agua pluvial (el dibujo no está hecho a escala).

do las normas del Manual No. 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1977), así como la metodología sugerida en él.

El análisis microbiológico se hizo por el "Método de dilución en tubos múltiples", el cual consiste en sembrar alícuotas de muestra diluida en agua estéril, en medio de cultivo específicos para el desarrollo de bacterias coliformes. En el caso de estos análisis se realizó una prueba presuntiva con caldo de Lauril trip tosa y una prueba confirmativa con caldo de - bilis verde de brillante. Esta metodología ha sido descrita por la American Public Health Association, 1962.

Para los análisis químicos las muestras de - agua fueron transportadas al laboratorio sin refrigeración y entregadas al laboratorio en un tiempo no mayor de 18-24 horas. El agua - para análisis microbiológico fue transportada con refrigeración y analizada en menos de 24 horas después de su recolección.

D. Análisis de precipitación:

Se recopiló la información meteorológica disponible en el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- de las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca del Río Grande de Zacapa y sus alrededores (Figura No. 2.).

En total se seleccionaron 10 estaciones con registros de lluvia: Pasabien, La Fragua, La Ceibita, Camotán, Esquipulas, La Unión, Asunción Mita, Chiquimula-FEGUA, Ipala PHC y Zacapa-FEGUA. El período común más largo para todas estas estaciones fue el de 1972-1979, por lo que en base a él se trabajó el análisis de precipitación.

Se agruparon las estaciones tomando en cuenta su proximidad, elevación en metros sobre el nivel del mar y un posible régimen común de distribución de lluvias. Para una mayor consistencia y precisión de la información pluviométrica existente se aplicó un Análisis de Doble Masa (Estrada, 1970 & Linsley, 1977), a los grupos de estaciones tomando como estación patrón la de más largo registro dentro de cada grupo.

Ya ajustados los datos, se procedió a la localización de las estaciones en mapas 1:50,000 y 1:250,000 para luego aplicar el Método de las Isoyetas (Linsley, 1977 & Remeneiras, 1974). Para la determinación de cantidad de agua pluviométrica y su distribución espacial, este método es considerado por todos los hidrólogos como el más exacto para cuantificar la lluvia.

Con el mapa de isoyetas obtenido a escala 1:250,000 se procedió a planimetrarlo para obtener el volumen precipitado en un año en la cuenca y la precipitación media en el área (Linsley, 1977).

Así mismo, se elaboraron para cada una de las estaciones dentro de la cuenca, gráficas que ilustran la distribución promedio mensual de la lluvia para el período 1972-1979.

E. Análisis de evapotranspiración:

Se seleccionaron las mismas estaciones meteorológicas que para el análisis de precipitación debido a que todas ellas tienen registro de temperatura y precipitación que es fundamental para la aplicación de fórmulas empíricas para el cálculo de la evapotranspiración potencial. La fórmula y metodología usadas para la elaboración de las isopletas medias anuales fue la de Turc (Búcaro, 1973 & Minera Barillas, 1974) por ser la que mejor estima este parámetro en la zona en cuestión (Instituto Geográfico Nacional, 1971). La expresión de Turc es la siguiente:

$$E_{t_p} = \frac{P}{\sqrt{\frac{0.9 + P^2}{L^2}}}$$

Donde:

E_{t_p} = Evapotranspiración potencial anual en mm.

P = Precipitación media anual.

T = Temperatura media anual.

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

Obtenida ya la evapotranspiración potencial media anual para cada estación, se procedió a localizarlas en mapas cartográficos 1:50,000 y 1:250,000 y a elaborar el mapa por el Método de Isopletas (Rodríguez Toriz, 1931). Se planimetró el mapa y se obtuvo el volumen evapotranspirado anualmente y la evapotranspiración anual. El período de registro seleccionado fue también de 1972-1979.

F. Análisis de escurrimiento superficial:

En la cuenca del Río Grande de Zacapa únicamente existe una estación hidrométrica: Camotán. Se obtuvieron los registros de caudal de los años hidrológicos 1969 a 1978 inclusive (10 años de registro).

Con estos datos se procedió a elaborar la curva de duración de caudales según la metodología dada por Pellecer Meza, 1968.

También se elaboró un hidrógrafo de caudales mensuales para visualizar las variaciones de caudal promedio durante todo el año.

G. Análisis de temperatura:

Se procedió a seleccionar las estaciones que registran temperatura en el período 1972-1979 en el área de la cuenca del Río Grande de Zacapa. Se calculó la temperatura promedio anual, se localizaron las estaciones en mapas

1:50,000 y 1:250,000 y se aplicó el Método de las Isotermas (Solórzano, 1971 y Linsley, 1977).

Se planimetró el mapa de isotermas y se obtuvo la temperatura promedio para toda la cuenca.

También se elaboraron gráficas de temperatura media mensual, máxima y mínima con el objeto de visualizar las variaciones durante todo el año.

V. RESULTADOS Y DISCUSION.

1. Aspectos cualitativos:

A. Agua pluvial:

En el Cuadro No. 2, se presentan los resultados de los análisis de muestras de agua pluvial. Es de hacer notar que el agua que proviene de la atmósfera rara vez presenta problemas de uso, siempre que no sea para consumo humano. Las alteraciones en su calidad en su mayoría se debe a contaminación ambiental de ciudades muy industrializadas o bien a la proximidad de áreas con zonas volcánicas activas.

Lo ideal en el caso de análisis de precipitación hubiera sido realizar los físico-químicos completos, pero únicamente se logró establecer los análisis del agua desde el punto de vista de calidad para riego.

En general, los parámetros del agua pluvial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, se encuentran dentro de lo normal, puesto que podría decirse que carece casi por completo de aniones y cationes (sus valores tienden a cero), al igual que la Relación de Absorción de Sodio (RAS) y el Carbonato de Sodio Residual ($\text{Na}_2 \text{CO}_3 \text{ RES}$).

El valor medio de pH fue de 6.8 con valores extremos, máximo de 7.70 (Jocotán, Chiquimula) y mínimo de 6.21 (El Oasis, Zacapa) dando un rango de variación de 1.49.

Cuadro No. 2. Resultados del análisis de agua pluvial recolectada en la cuenca del Río Grande de Zacapa durante el período Septiembre - Octubre de 1983.

ESTACION Y FECHA DE MUESTREO	Est.: CUNORI Chiquimula		Est.: El Oasis Zacapa		Est.: Jocotán Chiquimula		Est.: Ipala Chiquimula		Est.: Quezal-tepeque, Chiç.			
	26-9-83	17-10-83	26-9-83	17-10-83	26-9-83	17-10-83	26-9-83	17-10-83	26-9-83	17-10-83		
PARAMETRO												
No. en Lab.	83-217	83-289	83-215	83-335	83-210	83-295	83-206	83-291	83-208	83-294		
pH	6.64	6.62	6.98	6.21	7.70	6.36	6.87	6.45	7.39	6.49		
CE * 10 ⁶ a 25°C	< 0.1	18	50.1	5.8	11	< 0.1	5	6	54	9		
Sólidos en Solución PPM	8.6	12.5	5.7	0.00	2.9	2.5	22.9	7.5	22.9	12.5		
Suma de cationes Meq/litro	0.23	0.21	0.24	0.12	0.12	0.39	0.12	0.26	0.40	0.16		
Suma de aniones Meq/litro	0.10	0.06	0.37	0.11	0.18	0.38	0.20	0.04	0.39	0.04		
MILIEQUIVALENTE P/LITRO	CATIONES	Ca ⁺⁺	0.17	0.08	0.17	0.08	0.08	0.33	0.08	0.17	0.33	0.08
		Mg ⁺⁺	0.06	0.06	0.06	0.00	0.03	0.06	0.03	0.08	0.06	0.06
		Na ⁺	0.00	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
		K ⁺	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		CO ₃ ⁼⁼	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ANIONES	HCO ₃ ⁻	0.06	0.04	0.03	0.07	0.12	0.01	0.18	0.03	0.24	0.03
		Cl ⁻	0.04	0.02	0.05	0.04	0.06	0.00	0.02	0.01	0.05	0.01
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		SO ₄ ⁻	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.10	0.00
		% Sodio Soluble	0.00	23.81	4.17	25.00	8.33	0.00	8.33	3.85	2.50	12.5
RAS	0.00	0.19	0.03	0.15	0.04	0.00	0.04	0.03	0.02	0.08		
Na ₂ CO ₃ RES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00		
CLASE	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁		

En general los valores medios de pH tienden a la acidez de acuerdo a la clasificación siguiente:

Acidez	débil	6.0 - 6.6
Acidez	muy débil	6.6 - 6.9
Alcalinidad	muy débil	7.0 - 7.5
Alcalinidad	débil	7.6 - 8.0

En el rango de acidez débil, se encontraron 4 valores que corresponden al último muestreo - pluvial del mes de octubre. En el rango de acidez muy débil se encontraron 4 valores, uno correspondiente al muestreo del mes de octubre (Estación El Oasis) y 3 correspondiente al mes de septiembre (Estación CUNORI, Estación El Oasis y Estación Ipala). En los rangos de alcalinidad muy débil y débil se obtuvo un resultado en cada uno, correspondiendo ambos al muestreo del mes de septiembre (Estación Jocotán y Estación Quézaltepeque).

En base a lo anterior, pudo detectarse una variación temporal del pH, dando valores mayores para el primer muestreo (septiembre de 1983) que para el segundo. La variación temporal dentro de una misma estación no fue considerable, a excepción de la estación Jocotán y Quézaltepeque donde los rangos de variación fueron de 1.34 y 0.9 unidades de pH, respectivamente. No se encontró ninguna explicación lógica para esta variación relativamente grande en relación con

las demás estaciones de muestreo, por lo que pudiera deberse a contaminaciones del agua sufridas durante la operación de recolección.

Para todas las muestras, independientemente de las variaciones antes mencionadas, puede considerarse que tienen una calidad excelente para el riego ($C_1 S_1$) con ninguna restricción en cuanto a su uso para estos fines.

B. Agua subterránea:

Entre los pozos muestreados, el del CUNORI y el del Centro de Producción del ICTA de la Fragua, Zacapa, dieron resultados de agua clase $C_2 S_1$ (Cuadro No. 3.) que de acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1977, son aguas que pueden usarse para riego; siempre y cuando haya un grado moderado de lavado y el cultivo de especies vegetales moderadamente tolerables a sales.

El pozo de la Aldea SOS, Jocotán, Chiquimula, dió resultados de agua $C_3 S_1$, lo que significa que es agua altamente salina, no pudiendo ser usada en suelos cuyo drenaje sea deficiente, una limitante es que el manejo del suelo puede necesitar prácticas adecuadas para el control de la salinidad, debiéndose cultivar únicamente especies vegetales muy tolerantes a sales.

En cuanto a la variación de los parámetros de estas aguas podemos observar que para el primer

Cuadro No. 3. Resultados de análisis cualitativos de agua subterránea recolectada en la cuenca del Río Grande de Zacapa durante el período Septiembre-Octubre de 1983.

ESTACION Y FECHA DE MUESTREO	ESTACION: CUNORI CHIQUIMULA		ESTACION: ICTA ZACAPA		ESTACION: ALDEA SOS JOCOTAN, CHIQUIMULA		
	26-9-83	17-10-83	26-9-83	17-10-83	26-9-83		
PARAMETRO							
No. en Lab.	8-3213	83-288	83-216	83-285	83-211		
pH	8.33	7.54	8.32	7.75	7.48		
CE * 10 ⁶ a 25°C	361	370	273	278	1578		
Sólidos en Solución PPM	322.9	320	277.1	265	1595		
Suma de cationes Meq/litro	5.59	5.61	4.32	4.00	29.98		
Suma de aniones Meq/litro	5.53	5.58	4.10	5.02	29.93		
MILIEQUIVALENTES P/LITRO	CATIONES	Ca ⁺⁺	2.66	2.66	1.66	1.50	16.13
		Mg ⁺⁺	1.34	1.34	0.71	0.66	5.42
		Na ⁺	1.47	1.51	1.83	1.74	7.99
		K ⁺	0.12	0.10	0.12	0.10	0.44
		CO ₃ ⁼	3.52	1.41	2.93	0.82	11.73
	ANIONES	HCO ₃ ⁻	1.26	3.36	0.53	2.52	4.13
		Cl ⁻	0.34	0.36	0.34	0.34	1.09
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----
		SO ₄ ⁻	0.41	0.45	0.30	1.34	12.98
		‡ Sodio soluble	26.30	26.92	42.36	43.50	26.65
RAS	1.04	1.07	1.68	1.67	2.43		
Na ₂ CO ₃ RES	0.78	0.77	1.09	1.18	0.00		
CLASE	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₃ S ₁		

muestreo (septiembre de 1983), tanto el pozo del CUNORI como el del ICTA presentaron valores de pH más altos que para el segundo muestreo - (octubre de 1983) (Cuadro No. 3.) aunque esa - diferencia no es considerable. Así mismo, el valor de conductividad eléctrica disminuye conforme el pH aumenta, sin embargo, la variación es pequeña y en términos generales los valores permanecen constantes.

Lo que vale la pena resaltar es que el pozo de la Aldea SOS, Jocotán, Chiquimula, presenta valores sumamente altos de conductividad eléctrica y sólidos en solución; por el aspecto del - agua se supone que esto se debe a concentraciones altas de hierro y otras sales, provocadas por las características geológicas de la región, predominantemente volcánicas.

Es de hacer notar que todas las aguas de los - pozos de esta región presentan temperaturas altas de alrededor de 50-60°C al momento de salir al exterior debido, como se apuntó anteriormente, a que esta es una región de muchas fallas geológicas y con influjo de actividad volcánica relativamente reciente.

La calidad bacteriológica (Cuadro No. 4.) únicamente pudo establecerse para los pozos del - CUNORI y del ICTA, debido a daños en el sistema de bombeo en la estación de la Aldea SOS. El pozo del CUNORI dió un valor de NMP/100 ml (número más probable de bacterias coliformes por 100 ml de muestra) de 240. Es de hacer notar

Cuadro No. 4. Resultados de análisis bacteriológico de agua superficial y subterránea por el método de Dilución en Tubos Múltiples, de muestras recolectadas en la cuenca del Río Grande de Zacapa el 17 de Octubre de 1983.

ESTACION	TIPO DE MUESTRA	Diluciones Positivas				NMP/100ml. de Muestra
		10ml.	1ml.	0.1ml.	0.01 ml.	
ICTA, Zacapa	Agua Subterránea	0	0	0	-	< 2
CUNORI, Chiquimula	Agua Subterránea	5	5	0	-	240
La Presa, Zacapa	Agua Superficial	-	5	5	3	> 5420
Puente Songotongo	Agua Superficial	-	5	5	0	2400
Puente San José	Agua Superficial	0	5	5	3	> 5420
Puente Piedras Azules	Agua Superficial	-	5	5	4	> 5420
Camotán	Agua Superficial	-	5	5	3	> 5420

que, debido a la inexistencia de salidas de agua antes del tanque de distribución del sistema de bombeo del CUNORI, la muestra fue tomada en el tanque, lo que incrementa la posibilidad de contaminación bacteriológica y por lo tanto se traduce en el aumento hasta cierto punto anormal en el número más probable de bacterias coliformes.

El pozo del ICTA dió un NMP menor que 2 por lo que, según Vargas (1969) en su trabajo de Parámetros de Calidad de las Aguas Naturales de la República de Guatemala, el pozo del ICTA únicamente necesita desinfección y el del CUNORI aún no precisa de métodos habituales de tratamiento (coagulación y filtración).

C. Fuente superficial:

Para este tipo de agua, se llevaron a cabo 6 muestreos (de septiembre de 1983 a febrero de 1984) en 5 diferentes localidades de la cuenca, tratando de abarcar los 3 afluentes principales del Río Grande de Zacapa y la corriente principal. En esta fuente sí se observaron variaciones temporales y espaciales apreciables en lo relativo a los parámetros cualitativos.

pH: Los valores de pH no mostraron un patrón de variación temporal definido, observándose altibajos a lo largo de los 6 meses de muestreo (Figura No. 4.) únicamente mostraron un patrón

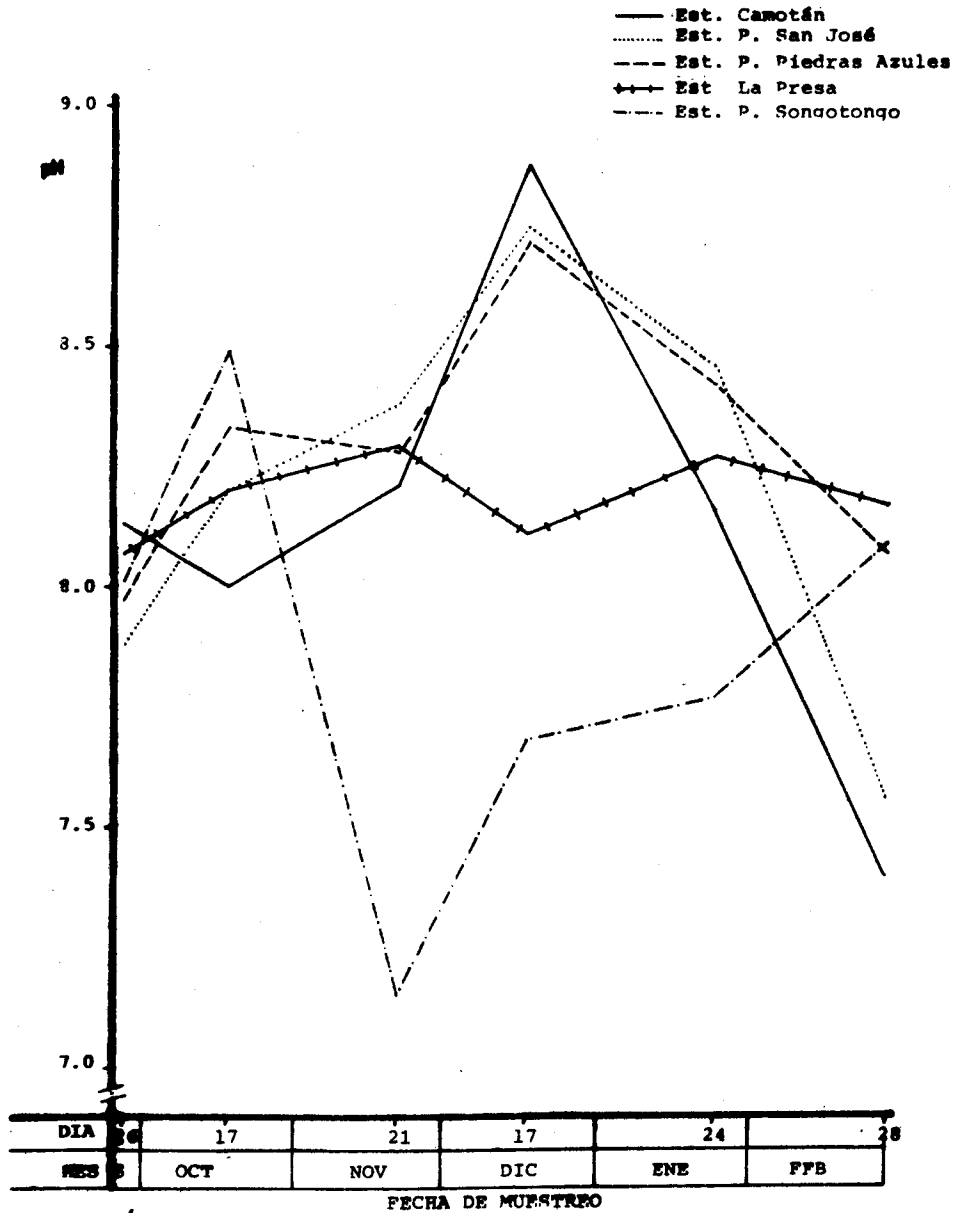


Fig. No. 4 Variación del pH en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84.

parecido a los valores correspondientes a las estaciones Puente Piedras Azules y Puente San José, que exhibieron un aumento de valores puntuales del mes de octubre al mes de diciembre y un descenso en los meses de enero y febrero.

El valor máximo de pH que se observó fue de 8.88 en la estación Camotán, en el muestreo correspondiente a diciembre de 1983, y el valor mínimo de 7.15 en la estación Puente Songotongo en el muestreo correspondiente a noviembre de 1983.

En cuanto a la variación espacial (Figura No. 5), aparecieron valores altos de pH aguas arriba y valores bajos aguas abajo; otras veces se observó lo contrario, lo que conduce a pensar que la variación espacial puede deberse a aportes intermitentes de polucionadores o de otras causas que no se determinan en el presente estudio.

En general, todos los valores tienden a estar en los rangos de muy débilmente alcalino hasta el altamente alcalino, siendo las que permanecieron todo el tiempo en valores altos las estaciones de Camotán y de La Presa.

Conductividad eléctrica:

En términos de conductividad eléctrica, el agua de la estación Puente Songotongo, en 5 muestreos de septiembre de 1983 a enero de 1984, dió una clase C₁ (Cuadro No. 5.) que com

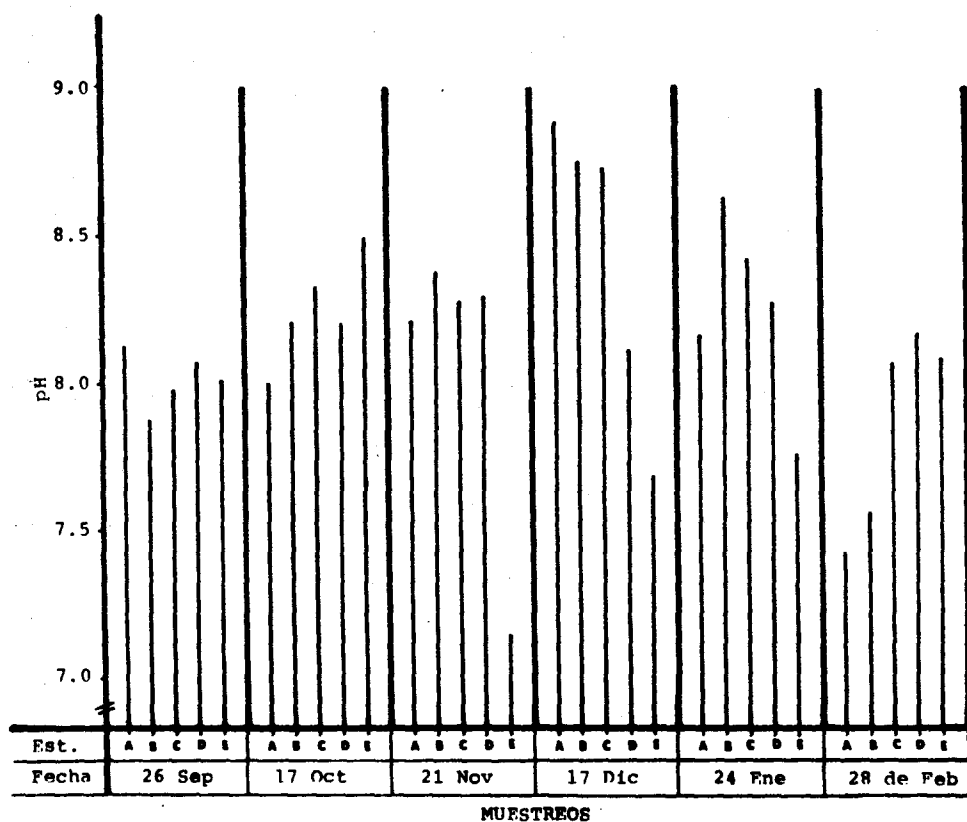


Figura No. 5. Valor de pH durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa durante el periodo de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984. (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, - C. Estación Puente Piedras Azules, D. Es tación La Presa, E. Estación Puente Songotongo).

Cuadro No. 5. Parámetros cualitativos del agua superficial en la estación de muestreo Puente Songotongo. Período de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984.

FECHA DE MUESTREO		26/9/83	17/10/83	21/11/83	17/12/83	24/1/84	28/2/84	
No. en Laboratorio		83-205	83-292	83-345	84-02	84-28	84-94	
pH		8.01	8.49	7.15	7.68	7.77	8.09	
CE x 10 ⁻⁶ a 25°C		112	185	187.7	165.8	160.9	282.4	
Sólidos en solución P P M		200	192.5	190	170	185	222	
Suma de Cationes Meq/litro		1.49	2.70	3.10	2.45	2.36	3.45	
Suma de Aniones Meq/litro		1.95	2.48	3.35	2.76	2.15	3.56	
Millequivalentes por Litro	Cationes	Ca ⁺⁺	0.83	1.33	1.33	1.00	1.00	1.50
		Mg ⁺⁺	0.46	0.66	0.77	0.66	0.63	0.82
		Na ⁺	0.10	0.70	0.87	0.66	0.60	0.91
		K ⁺	0.10	0.10	0.13	0.13	0.13	0.22
	Aniones	CO ₃ ⁼	1.44	0.88	0.88	0.00	0.29	0.00
		HCO ₃ ⁻	0.07	1.55	1.77	1.94	1.73	3.141
		Cl ⁻	0.06	0.05	0.24	0.14	0.13	0.20
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----	----
		SO ₄ ⁼	0.38	0.00	0.46	0.18	0.00	0.214
	% Sodio soluble		6.71	25.09	28.06	26.94	25.42	26.38
RAS		0.12	0.70	0.85	0.72	0.66	0.84	
Na ₂ CO ₃ RES		0.22	0.44	0.55	0.28	0.39	0.82	
CLASE		C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	

prende las aguas en un rango de 100 a 250 micromhos/cm a 25°C. En el mes de febrero correspondió a la Clase C₂, que comprende un rango de 250-750 micromhos/cm a 25°C. El valor máximo fue de 282 micromhos/cm a 25°C y correspondió al muestreo del mes de febrero de 1984.

Debido a que el Río Songotongo es poco caudaloso, la influencia de factores contaminantes (sales) puede ser la causa de que el parámetro conductividad eléctrica no tenga un comportamiento similar en el mes de diciembre con la disminución de caudal; generalmente la conductividad eléctrica tiende a aumentar o a encontrarse en valores altos conforme el caudal disminuye (Figura No. 6 y Figura No. 7). Nótese que en la Figura No. 31 se presenta la variación mensual de caudal para el Río Camotán hasta la estación del mismo nombre, obsérvese únicamente la tendencia general del caudal en diciembre.

En la estación del Puente San José la conductividad eléctrica correspondió en una muestra (septiembre de 1983) a clase C₁ y en las 5 muestras restantes a la clase C₂ (Cuadro No. 6 y Figura No. 7). El valor máximo registrado fue de 569.6 micromhos/cm a 25°C (febrero de 1984) y el mínimo de 137 micromhos/cm a 25°C (septiembre de 1983). Acá también se observó que con una disminución del caudal tiende a haber un aumento en la conductividad eléctrica.

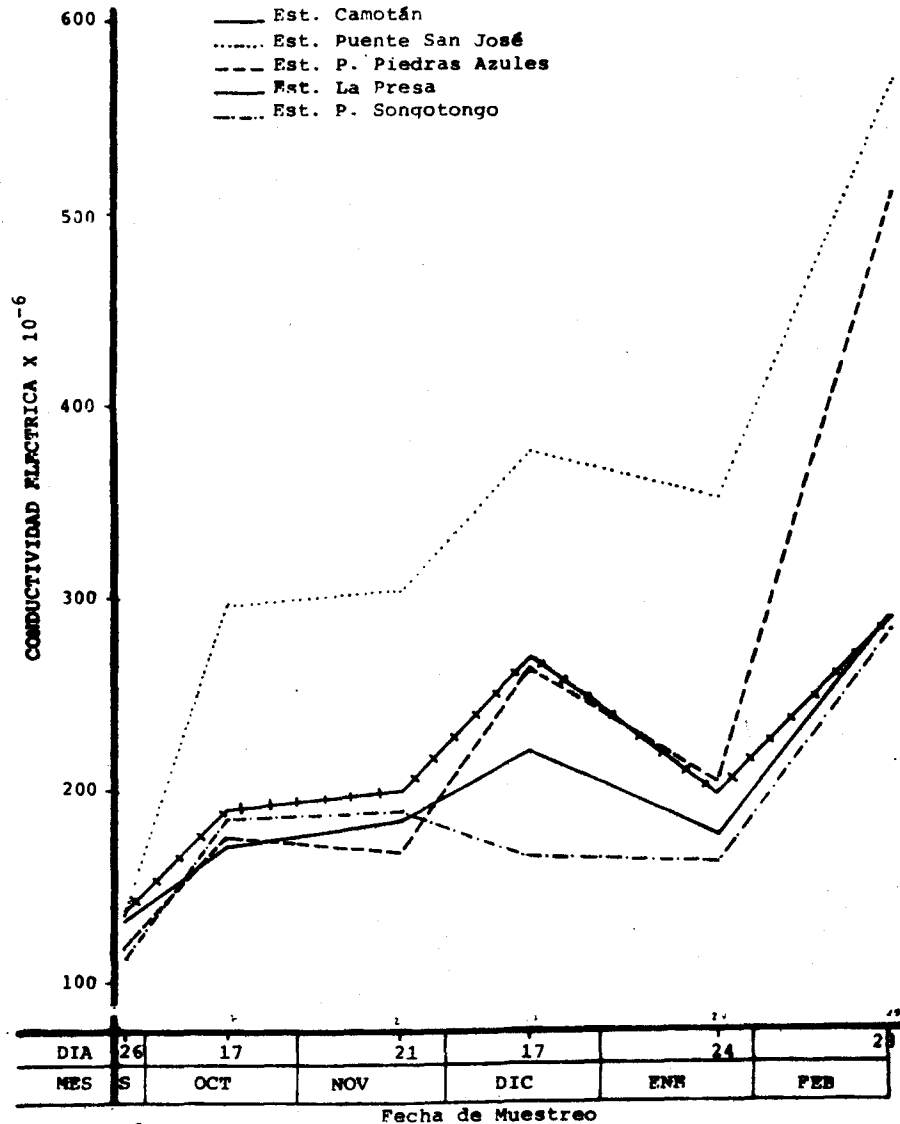


Fig. No. 6. Variación de la Conductividad Eléctrica en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84.

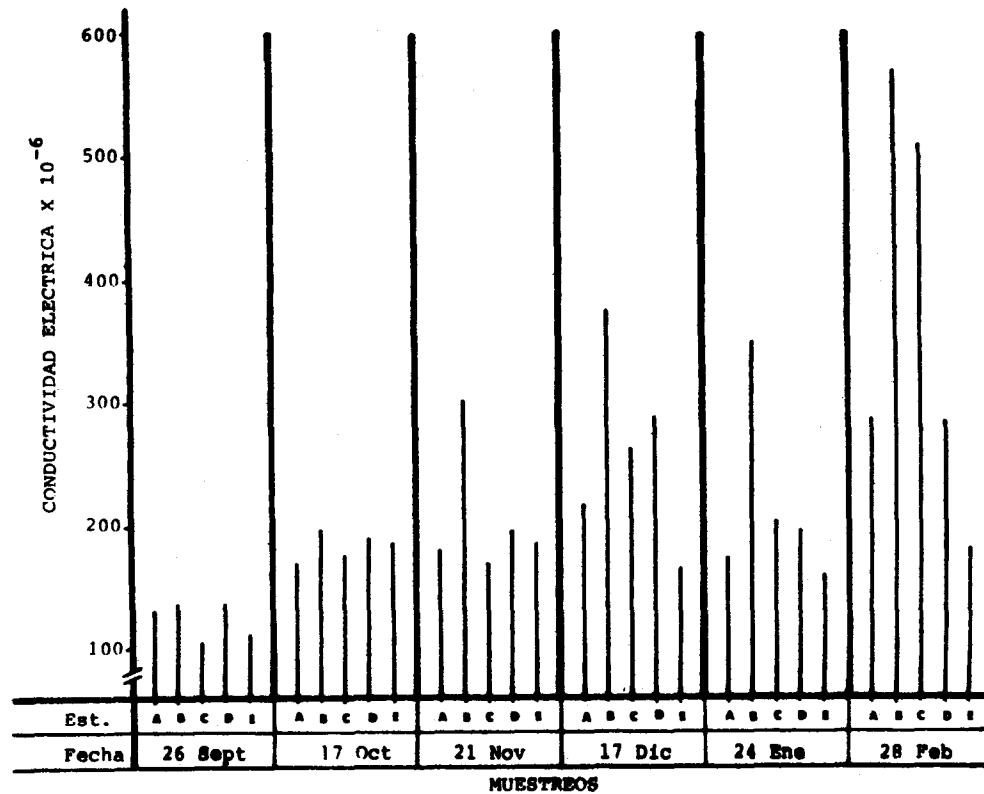


Figura No. 7. Valor de conductividad eléctrica $\times 10^{-6}$ durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa, - durante el período de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984. (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La Presa, E. Estación Puente Songotongo).

En la estación Piedras Azules la conductividad eléctrica correspondió en 4 muestras (septiembre, octubre, noviembre de 1983 y enero de 1984) a la clase C_1 y en 2 muestras (diciembre de 1983 y febrero de 1984) a clase C_2 (Cuadro No. 7, Figura No. 6 y Figura No. 7). El valor máximo fue de 510 micromhos/cm a 25°C (febrero de 1984) y el valor mínimo de 107 micromhos/cm a 25°C (septiembre de 1983). La tendencia con respecto al caudal fue la misma que la observada en las demás estaciones.

En la estación Camotán hubo cuatro muestras que correspondieron a la clase C_1 (septiembre de 1983 a enero de 1984) y uno que correspondió a la clase C_2 (febrero de 1984) (Cuadro No. 8, Figura No. 6 y Figura No. 7). El valor máximo fue de 288.3 micromhos/cm a 25°C (febrero de 1984) y el mínimo de 132 micromhos/cm a 25°C (septiembre de 1983). La tendencia fue de aumentar la conductividad eléctrica conforme disminuyó el caudal.

Para la estación La Presa, se obtuvieron 4 valores de conductividad eléctrica que corresponden a la clase C_1 (septiembre a noviembre de 1983 y enero de 1984) y 2 valores que corresponden a la clase C_2 (diciembre de 1983 y febrero de 1984) (Cuadro No. 9, Figura No. 6 y Figura No. 7).

El valor máximo detectado fue de 287.1 micromhos/cm a 25°C (febrero de 1984) y el mínimo de

Cuadro No. 7. Parámetros cualitativos del agua superficial en la estación de muestreo Puente Piedras Azules. Período Septiembre de 1983 a Febrero de 1984.

FECHA DE MUESTREO		26/9/83	17/10/83	21/11/83	17/12/83	24/1/84	28/2/84	
No. en Laboratorio		83-207	83-293	83-346	48-05	84-26	84-93	
pH		7.97	8.33	8.28	8.72	8.42	8.07	
CE x 10 ⁻⁶ a 25°C.		107	176	168.5	263.2	204.7	510.2	
Sólidos en solución P P M		142.9	167.5	167.5	240	202.5	370	
Suma de Cationes Meq/litro		1.53	2.87	2.55	4.09	3.21	5.61	
Suma de Aniones Meq/litro		1.79	2.94	2.83	4.38	3.15	6.43	
Millequivalentes por Litro	Cationes	Ca ⁺⁺	1.16	2.16	1.83	2.91	2.33	3.82
		Mg ⁺⁺	0.22	0.36	0.30	0.52	0.36	0.77
		Na ⁺	0.07	0.28	0.34	0.59	0.43	0.93
		K ⁺	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.09
	Aniones	CO ₃ ⁼	1.17	0.85	0.91	0.44	0.65	0.556
		HCO ₃ ⁻	0.31	1.26	1.22	2.71	1.94	4.198
		Cl ⁻	0.11	0.14	0.11	0.10	0.14	0.036
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----	-----
		SO ₄ ⁼	0.20	0.69	0.59	1.13	0.42	1.637
	% Sodio soluble		4.58	9.76	13.33	14.43	13.40	16.58
RAS		0.08	0.25	0.33	0.45	0.37	0.61	
Na ₂ CO ₃ RES		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
CLASE		C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	

Cuadro No. 8. Parámetros cualitativos del agua superficial en la estación de muestreo Camotán. Período Septiembre de 1983 a Febrero de 1984.

FECHA DE MUESTREO		26/9/83	17/10/83	21/11/83	17/12/83	24/1/84	28/2/84	
No. en Laboratorio.		83-209	83-290	83-347	84-03	84-25	84-91	
pH		8.13	8.00	8.21	8.88	8.16	7.42	
CE x 10 ⁻⁶ a 25°C.		132	171	180.4	219.4	175.5	288.3	
Sólidos en solución P P M		160	167.5	180	217.5	165	188	
Suma de Cationes Meq/litro		2.03	2.61	2.65	3.39	2.93	3.46	
Suma de Aniones Meq/litro		1.79	3.07	2.78	3.59	2.65	3.53	
Milequivalentes por Litro	Cationes	Ca ⁺⁺	1.50	1.83	1.83	2.33	1.99	2.49
		Mg ⁺⁺	0.36	0.47	0.47	0.63	0.63	0.57
		Na ⁺	0.08	0.25	0.29	0.37	0.75	0.34
		K ⁺	0.09	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	Aniones	CO ₃ ⁼	0.73	0.70	0.65	0.29	0.62	0.55
		HCO ₃ ⁻	0.63	1.29	1.39	2.01	1.45	1.97
		Cl ⁻	0.06	0.03	0.21	0.10	0.08	0.00
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----	----
		SO ₄ ⁼	0.37	1.05	0.53	1.19	0.50	1.00
	% Sodio soluble		3.94	9.58	10.94	10.91	8.53	9.83
RAS		0.08	0.23	0.27	0.30	0.22	0.27	
Na ₂ CO ₃ RES		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
CLASE		C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	

Cuadro No. 9. Parámetros cualitativos del agua superficial en la estación de muestreo La Presa. Período Septiembre de 1983 a Febrero de 1984.

FECHA DE MUESTREO		26/9/83	17/10/83	21/11/83	17/12/83	24/1/84	24/2/84	
No. en Laboratorio		83-214	83-286	83-349	84-01	84-27	84-90	
pH		8.07	8.20	8.29	8.11	8.27	8.17	
CE x 10 ⁻⁶ a 25°C.		137	190	198.9	268.1	197.4	287.1	
Sólidos en solución P P M		174.3	215	202.5	235	190	200	
Suma de Cationes. Meq/litro		1.92	2.84	3.22	3.16	2.98	3.68	
Suma de Aniones Meq/litro		2.08	3.89	3.49	3.90	2.98	2.46	
Millequivalentes por Litro	Cationes	Ca ⁺⁺	1.33	1.83	2.00	2.33	2.00	2.16
		Mg ⁺⁺	0.41	0.57	0.63	0.12	0.52	0.77
		Na ⁺	0.09	0.37	0.51	0.62	0.39	0.66
		K ⁺	0.09	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09
	Aniones	CO ₃ ⁼	1.41	0.59	0.82	0.15	0.56	0.445
		HCO ₃ ⁻	0.09	1.57	1.45	2.45	1.73	1.946
		Cl ⁻	0.09	0.09	0.24	0.14	0.12	0.46
		NO ₃ ⁻	----	----	----	----	----	----
		SO ₄ ⁼	0.49	1.64	0.98	1.16	0.57	0.0196
% Sodio soluble		26.30	13.03	15.84	19.62	13.09	17.94	
RAS		1.04	0.34	0.44	0.56	0.35	0.55	
Na ₂ CO ₃ RES		0.78	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	
CLASE		C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	

137 micromhos/cm. También hubo tendencia del parámetro a aumentar conforme el caudal disminuye.

En la estación La Presa, se pudo notar que los cambios que tuvo el Río Grande de Zacapa de calidad C_1 a calidad C_2 en los meses de diciembre de 1983 y febrero de 1984, fueron influenciados por los cambios de calidad de C_1 a C_2 , probablemente, en el mes de diciembre por el Río Shutaqué y en febrero por el Río Jocotán y el Río Shutaqué.

Variación espacial de conductividad eléctrica únicamente se pudo notar en forma relevante en el Río Songotongo, afluente del Río San José. El primero muestra valores menores que los del Río San José, localizado en aguas abajo, el cual muestra valores mayores, lo que indica que en su recorrido recibe aportes de sales solubles.

Otro aspecto que es importante resaltar, es que el Río San José mostró los valores más altos de conductividad eléctrica, suponiéndose que por el material geológico del lugar donde se tomó la muestra (calizas principalmente) se ve influenciado por el aporte de sales que aumentan este parámetro.

Sólidos en solución:

Los sólidos en solución siguen el mismo patrón de comportamiento que la conductividad eléctrica (Figuras No. 8 y 9). Esto indica que muy -

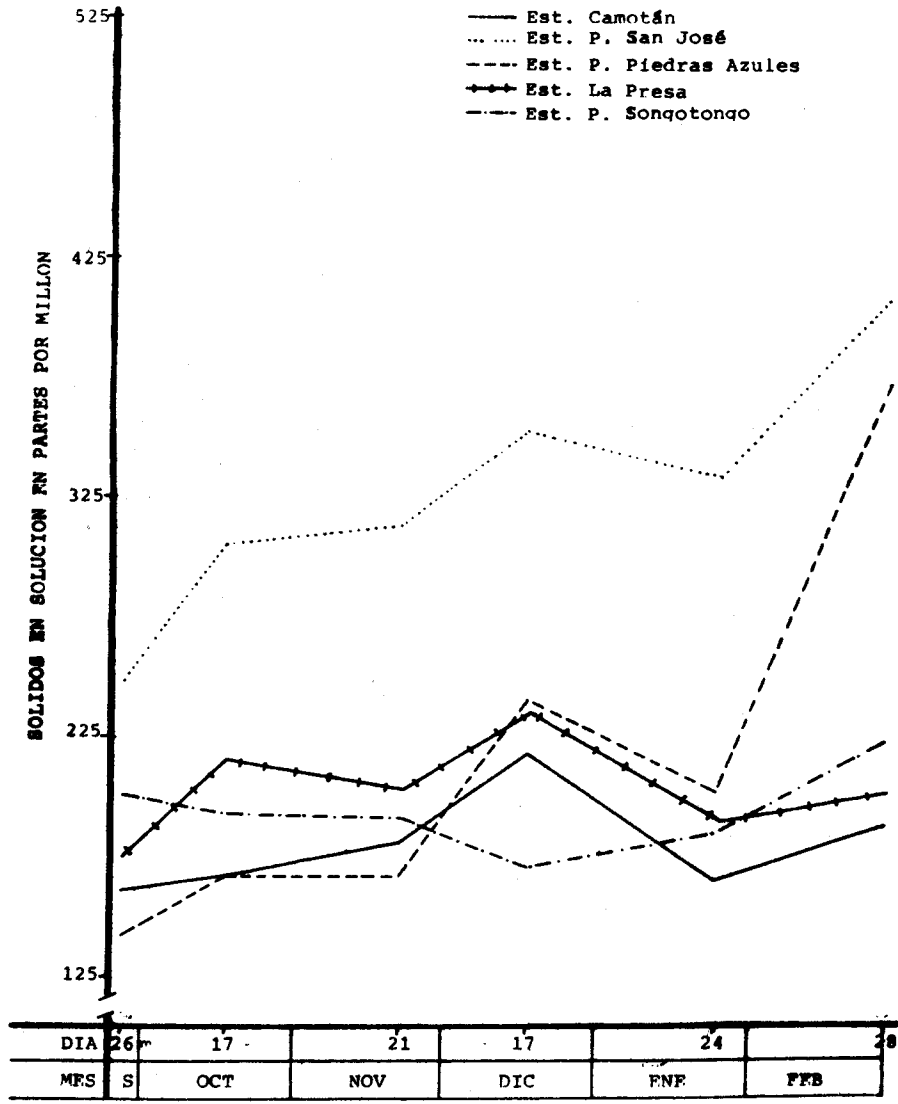


Fig. No. 8 Variación de los Solidos en Solución en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período sept/83 a Feb/84.

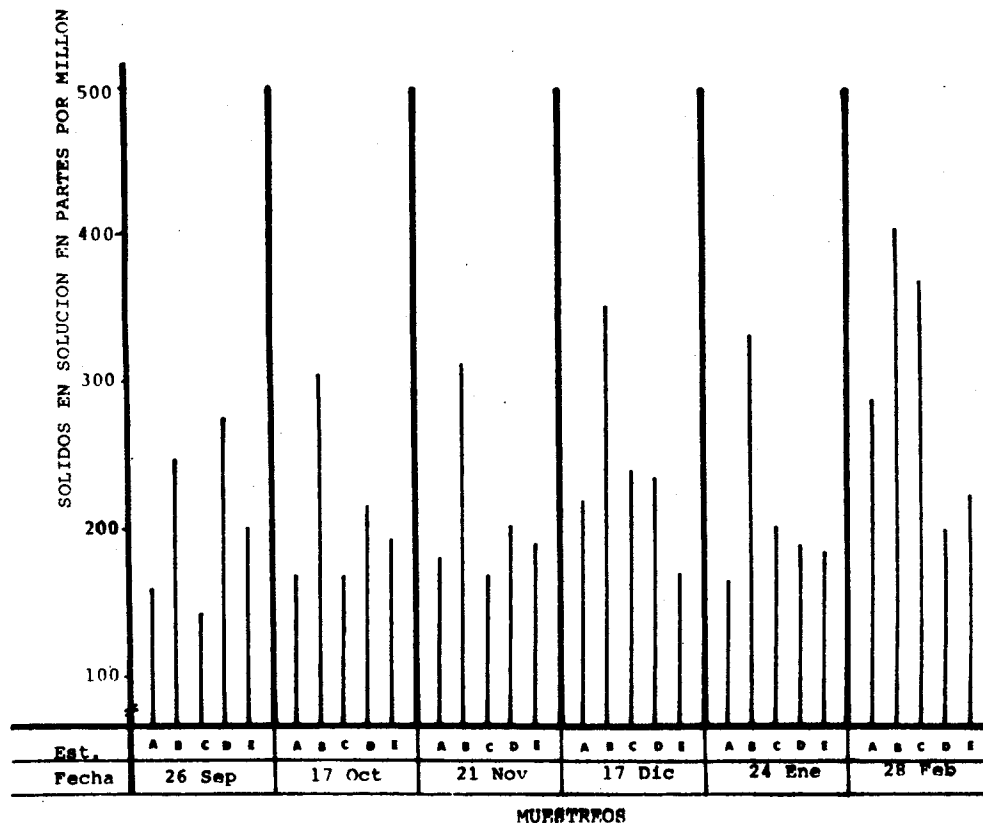


Figura No. 9. Valor de los sólidos en solución durante seis meses de muestreo de agua superficial en cinco estaciones en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984. - (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La Presa, E. Estación Puente Songotongo).

probablemente la mayoría de sólidos en solución son sales.

Los valores máximos son los correspondientes a la estación San José, con un valor de 405 ppm. Estos valores evidencian una contaminación gran de del Río que puede deberse a los aportes de parte de los desagües de Chiquimula y material geológico formado por sustancias solubles (calizas).

En la estación Piedras Azules también se evidencian valores altos de sólidos solubles para los meses en que disminuye el caudal pudiéndose deber a la concentración de los mismos, pues es un río menos caudaloso que el San José y el Camotán (que tiene los valores más bajos).

En general este valor tiene una tendencia a aumentar cuando el caudal de los ríos empieza a disminuir evidenciándose una concentración de las sales.

Suma de cationes y suma de aniones:

Tanto los cationes como los aniones tuvieron un comportamiento similar al de la conductividad eléctrica y los sólidos totales observándose que casi en todos los casos la suma de los anio nes fue mayor que la suma de los cationes. Los valores del Río San José fueron de nuevo los - mayores, lo que evidencia la alta aportación de estos elementos al agua durante su recorrido -

por esta subcuenca. El Río Songotongo acusó los valores más bajos y está situado aguas arriba del Río San José (Cuadro No. 5, Figura No. 10 a Figura No. 13).

A pesar de que la suma de aniones fue mayor que la de cationes, con la disminución del caudal ambos parámetros tendieron a aumentar. La razón puede ser la misma anotada en el parámetro anterior.

Parámetros cualitativos de sodio:

Los valores de relación de adsorción de sodio (RAS) (Cuadros Nos. 3, 5,9) en los 30 muestreos dieron clase S_1 según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1977). Estas son "Aguas Bajas en Sodio" y con valores de RAS de 0-10 (Figuras Nos. 14 y 15); pueden usarse para riego en la mayor parte de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, algunos cultivos extremadamente sensibles pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

El valor más alto de RAS fue de 2.23 en la estación Puente San José, durante el mes de enero, el cual está muy alejado de significar peligro de sodificación en suelos que sean irrigados con estas aguas.

En cuanto al Carbonato de Sodio Residual se obtuvieron casi en todos los casos valores rela-

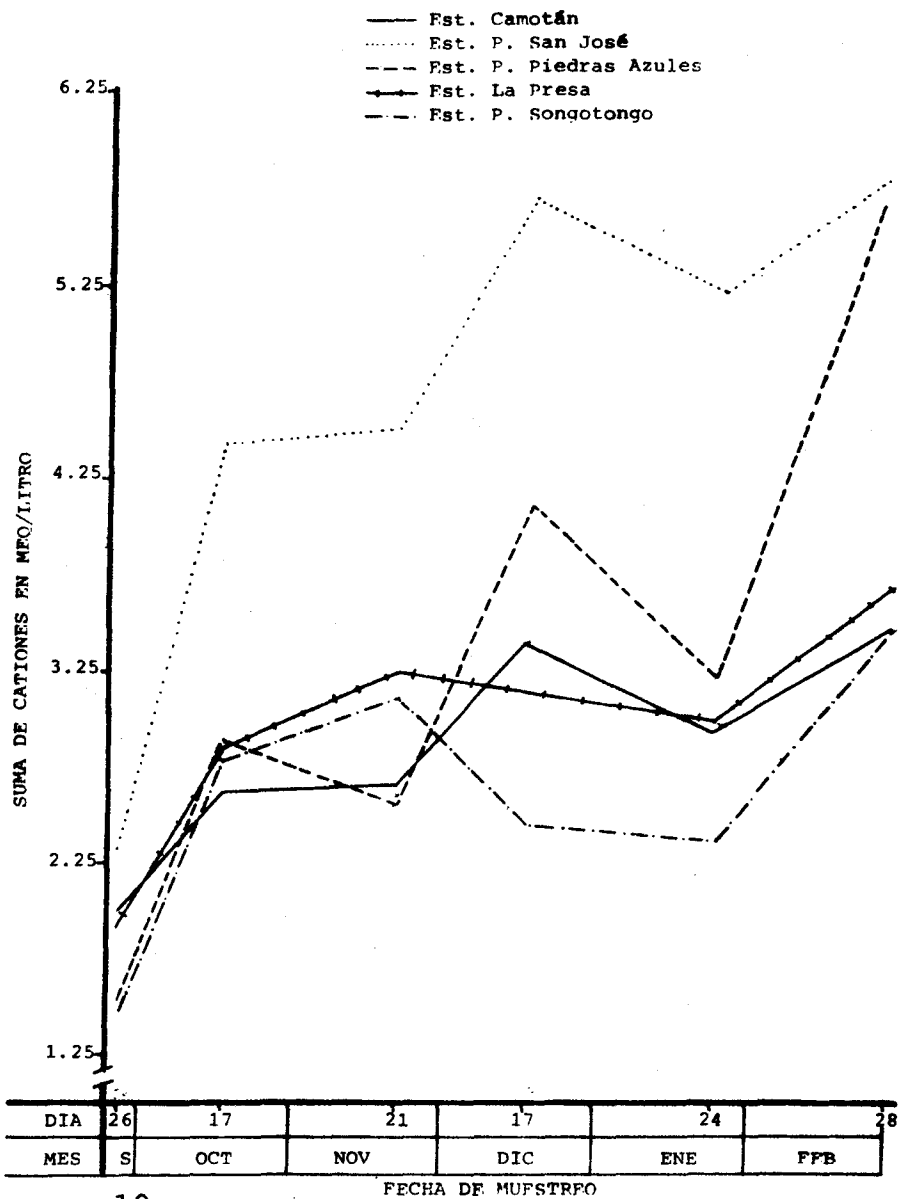


Fig. No. 10 Variación de la Suma de Cationes en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84.

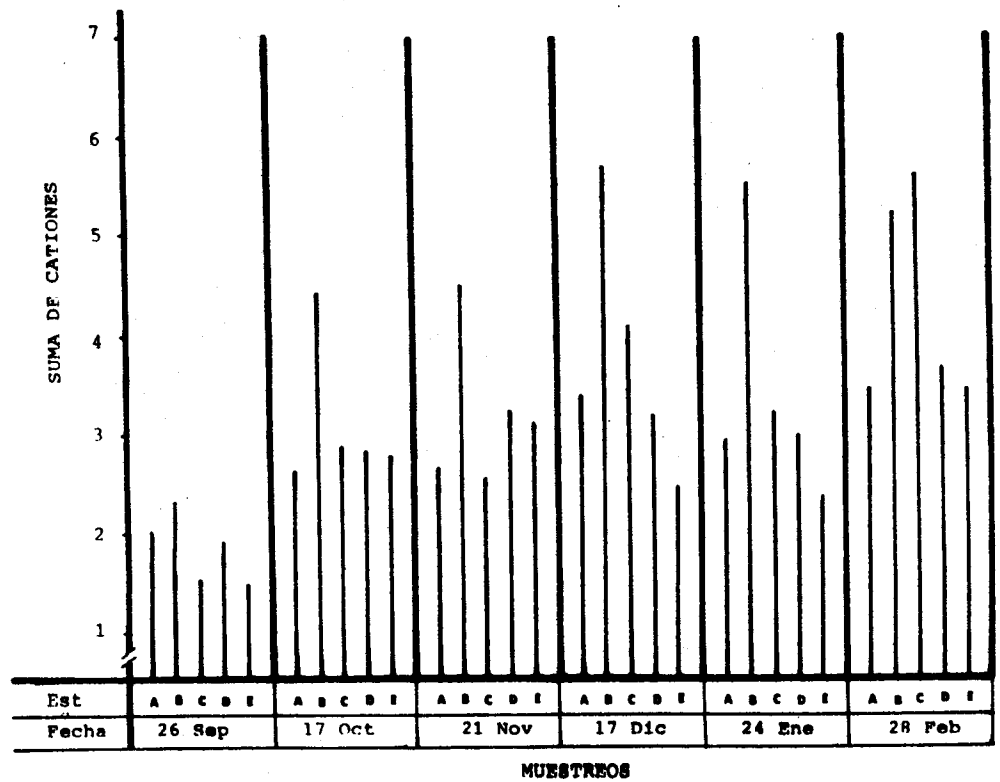


Figura No. 11. Valor de la suma de cationes durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período de Septiembre de 1933 a Febrero de 1934. (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La Presa, E. Estación Puente Songotongo).

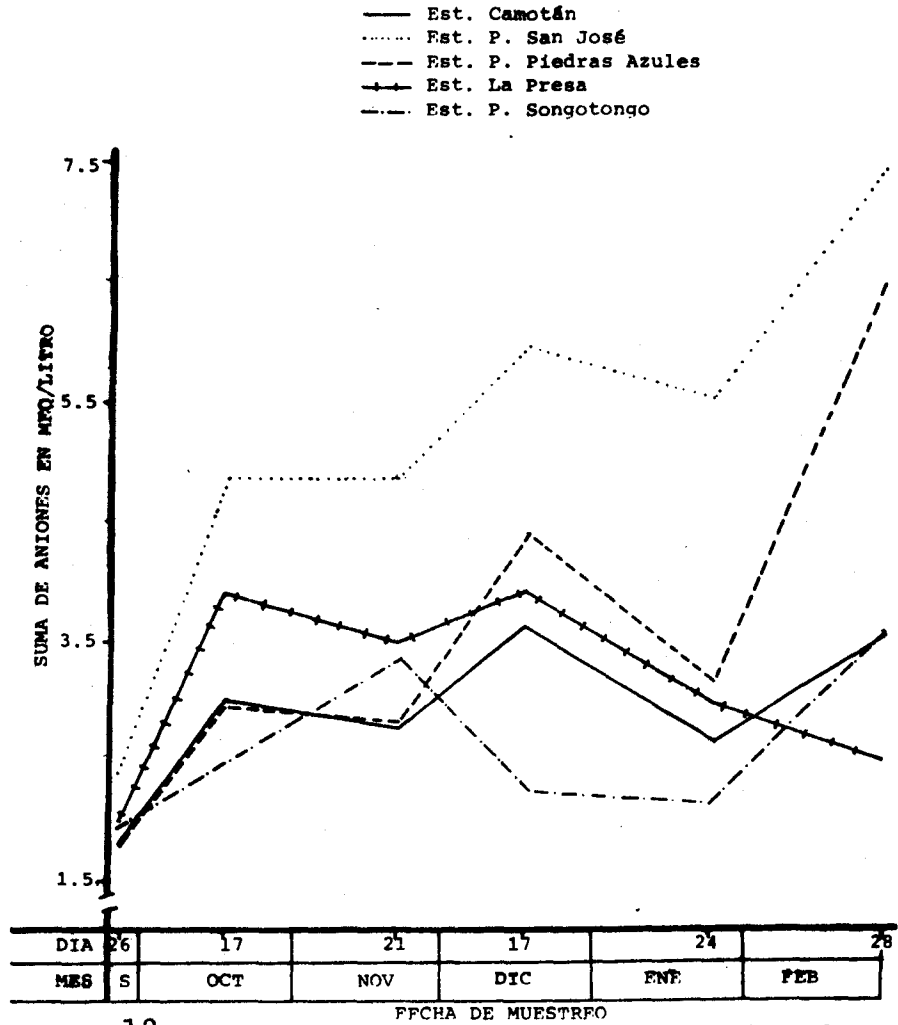


Fig. No. 12 Variación de la Suma de Aniones en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84.

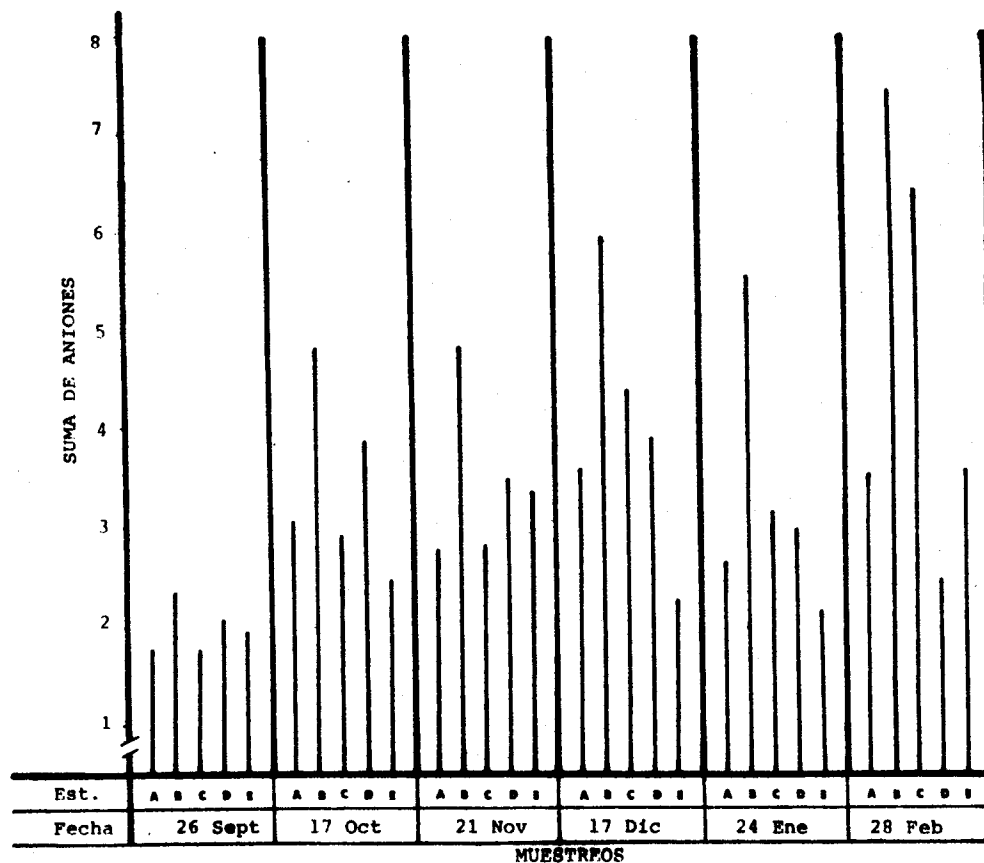


Figura No. 13. Valor de la suma de aniones durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período de Septiembre de 1933 a Febrero de 1984. -- (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La - Presa, E. Estación Puente Songotongo).

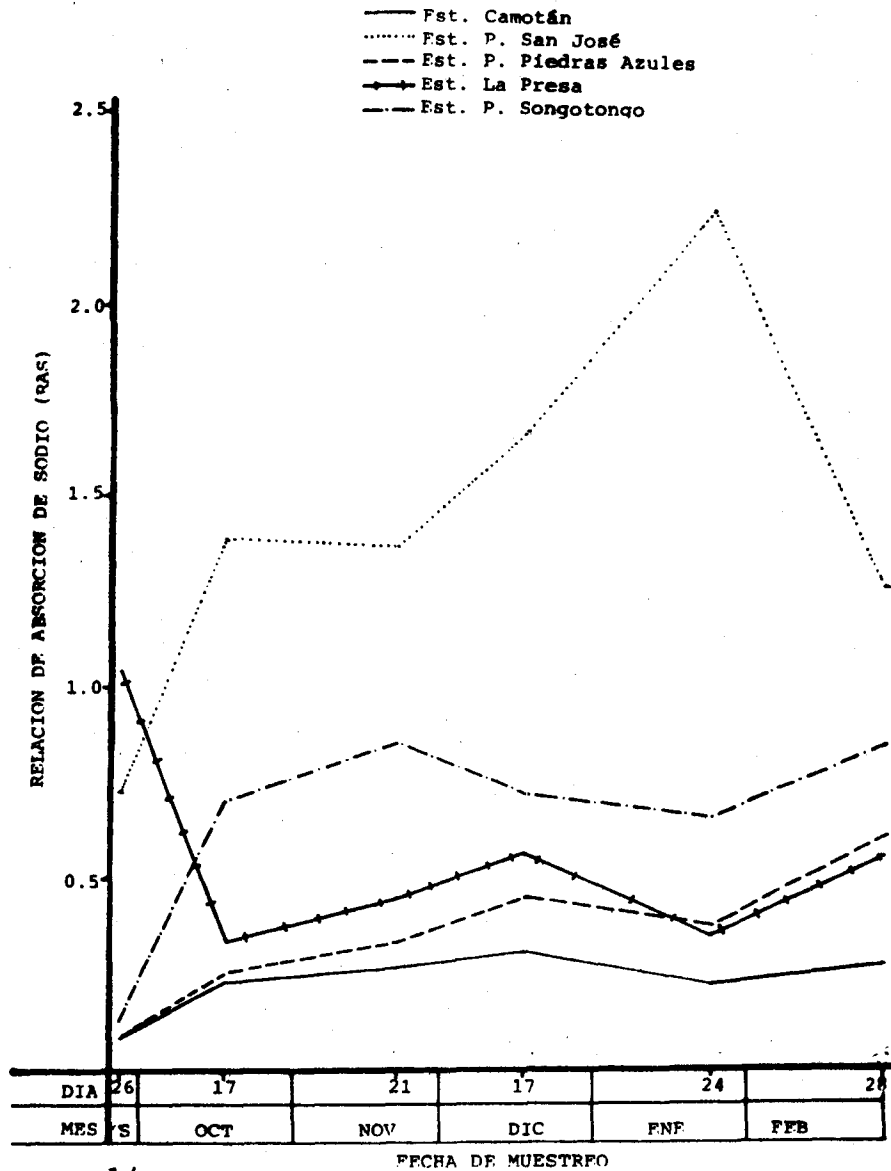


Fig. No. 14 Variación de la Relación de Adsorción de Sodio en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84

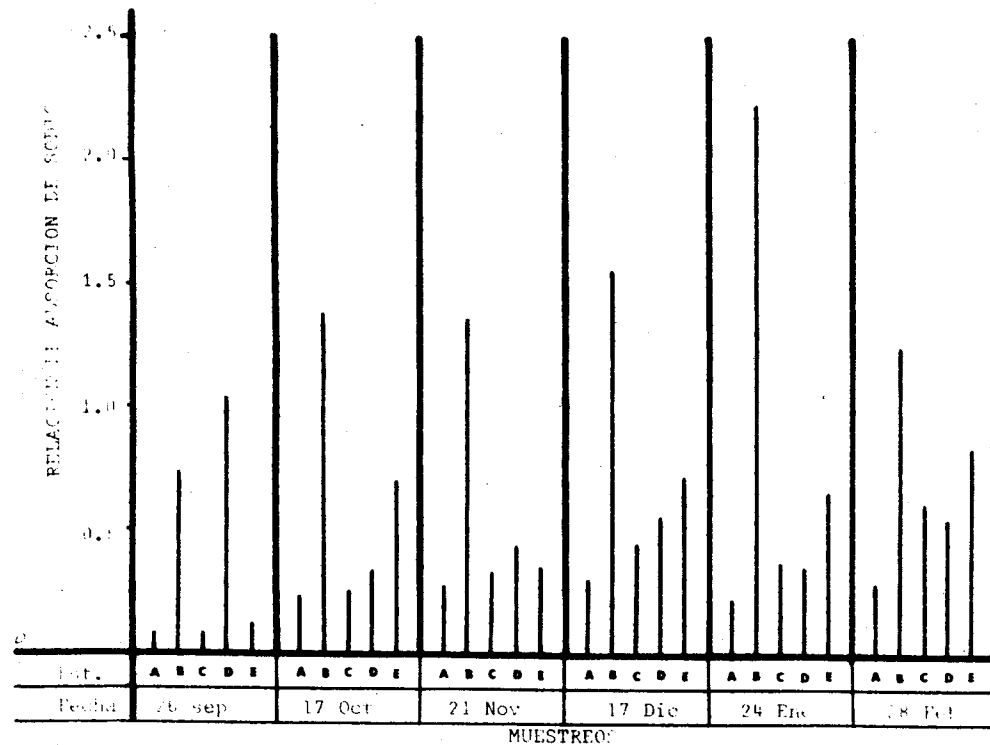


Figura No. 15. Valor de la relación de adsorción de sodio durante seis muestreos de agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984. (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La Presa, E. Estación Puente Songotongo).

tivamente bajos (Figuras Nos. 16 y 17). Eaton, citado por De la Peña (1973) ha concluido que aguas con menos de 1.25 Meq/litro son buenas para riego.

El único río que dió valores altos fue el Río San José (estación Puente San José) que en los meses de enero y febrero llegó a valores de 1.23 y 2.22 Meq/litro, respectivamente, que caen dentro de la clasificación de agua condicionada para riego; por lo tanto, habría que ejercer control para prevenir el riego con este tipo de agua.

Tanto en el Río Songotongo como en el Río San José se observó una tendencia del Carbonato de Sodio Residual a aumentar conforme el caudal del río disminuye.

Calidad bacteriológica del agua superficial:

En lo que respecta a calidad bacteriológica del agua superficial, la estación Puente Songotongo evidenció contaminación por bacterias coliformes con un NMP/100 ml de 2400 que según Vargas Rodríguez (1969), son aguas que aún no precisan la aplicación de los métodos habituales de tratamiento (coagulación, filtración y desinfección). Es de hacer notar que en este punto la contaminación es baja debido a que el río ha hecho un recorrido relativamente pequeño desde su nacimiento hasta la estación de muestreo.

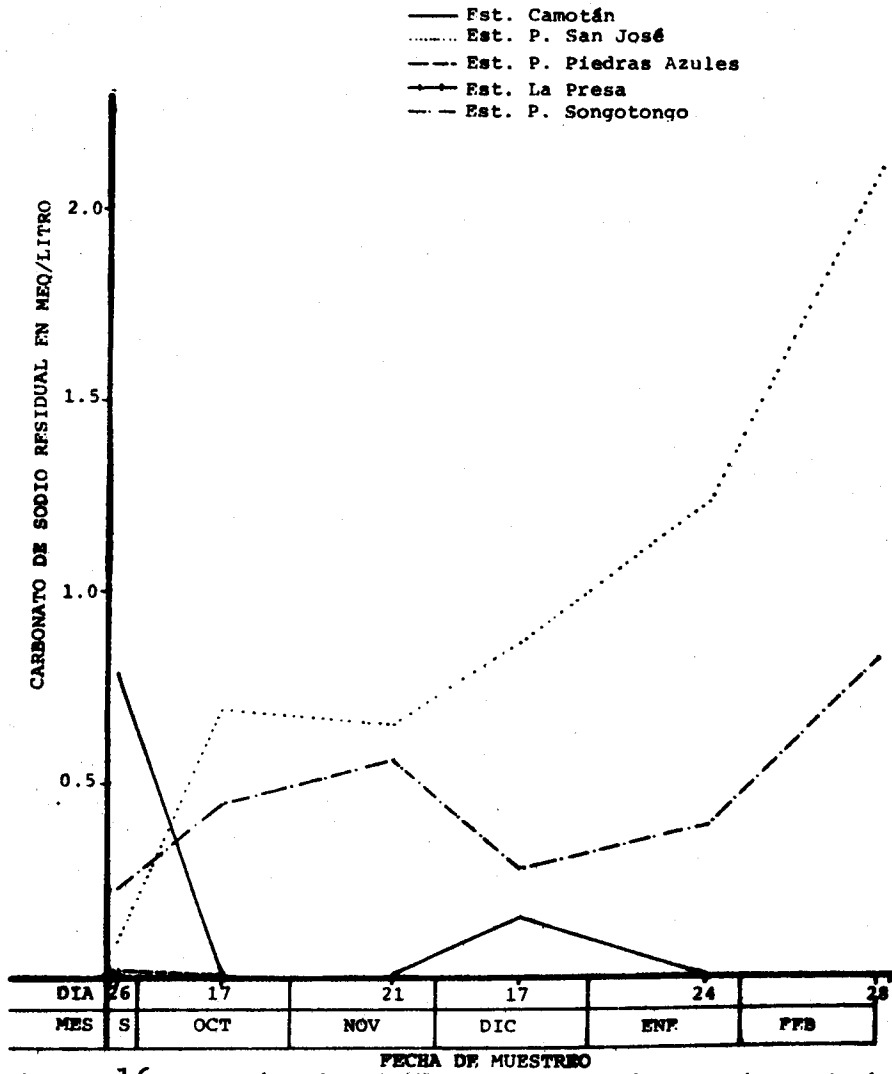


Fig. No. 16 Variación del Carbonato de Sodio Residual en cinco estaciones de muestreo de agua superficial en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el período Sep/83 a Feb/84.

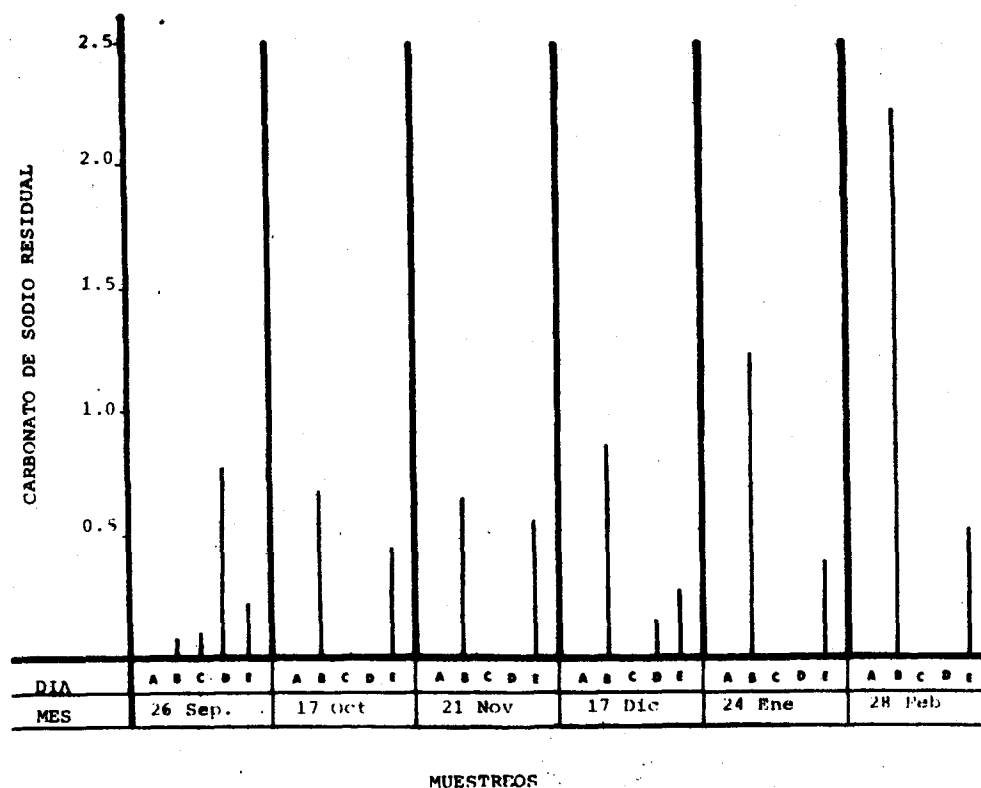


Figura No. 17. Valor de carbonato de sodio residual durante seis muestreos del agua superficial en cinco estaciones de muestreo en la cuenca del Río Grande de Zacapa, durante el periodo de Septiembre de 1983 a Febrero de 1984. (A. Estación Camotán, B. Estación Puente San José, C. Estación Puente Piedras Azules, D. Estación La Presa, E. Estación Puente Songopongo).

La calidad bacteriológica del agua de las estaciones La Presa, Puente San José, Puente Piedras Azules y Camotán, dió una cantidad innumerable de bacterias coliformes ($>$ de 5420 NMP/100 ml). De ello se infiere que se trata de fuentes sumamente contaminadas con materia fecal por lo que necesitan de tratamientos activos como coagulación, filtración y desinfección si se quieren destinar al consumo humano (Vargas Rodríguez 1969).

2. Cuantificación del recurso agua:

Para este análisis se tomaron como base los tres aspectos principales que son Evapotranspiración, Precipitación y Escorrentía. El agua subterránea no se cuantificó por carecerse de medios para ello.

En la Figura No. 18, se puede observar con claridad la distribución de las corrientes superficiales en la cuenca distinguiéndose tres ríos principales de segundo orden que tributan al Río Grande de Zacapa: Río Jocotán, Río San José y Río Shutaqué.

El Río Jocotán, que forma una subcuenca, está alimentado por los siguientes afluentes de tercer orden: Río Chanmagua, Río Mapa y Río del Playón, estos tres forman el Río Jupilingo, al que tributan el Río Tituque, Río Copán y Quebrada Tatutú. En el punto unión de la Quebrada Tatutú y el Río Jupilingo, el río cambia de nombre Jupilingo por Jo-

cotán y a la altura de Camotán lo tributan el Río Toriá y la Quebrada Carcaj. Existen también un sinnúmero de afluentes de cuarto y quinto orden y de otras corrientes intermitentes.

El río Shutaqué forma otra subcuenca y sus afluentes principales son: El Río San Nicolás y el Río Salfate, además, cuenta con numerosas afluentes de cuarto orden (orden de corrientes según el Instituto Geográfico Nacional).

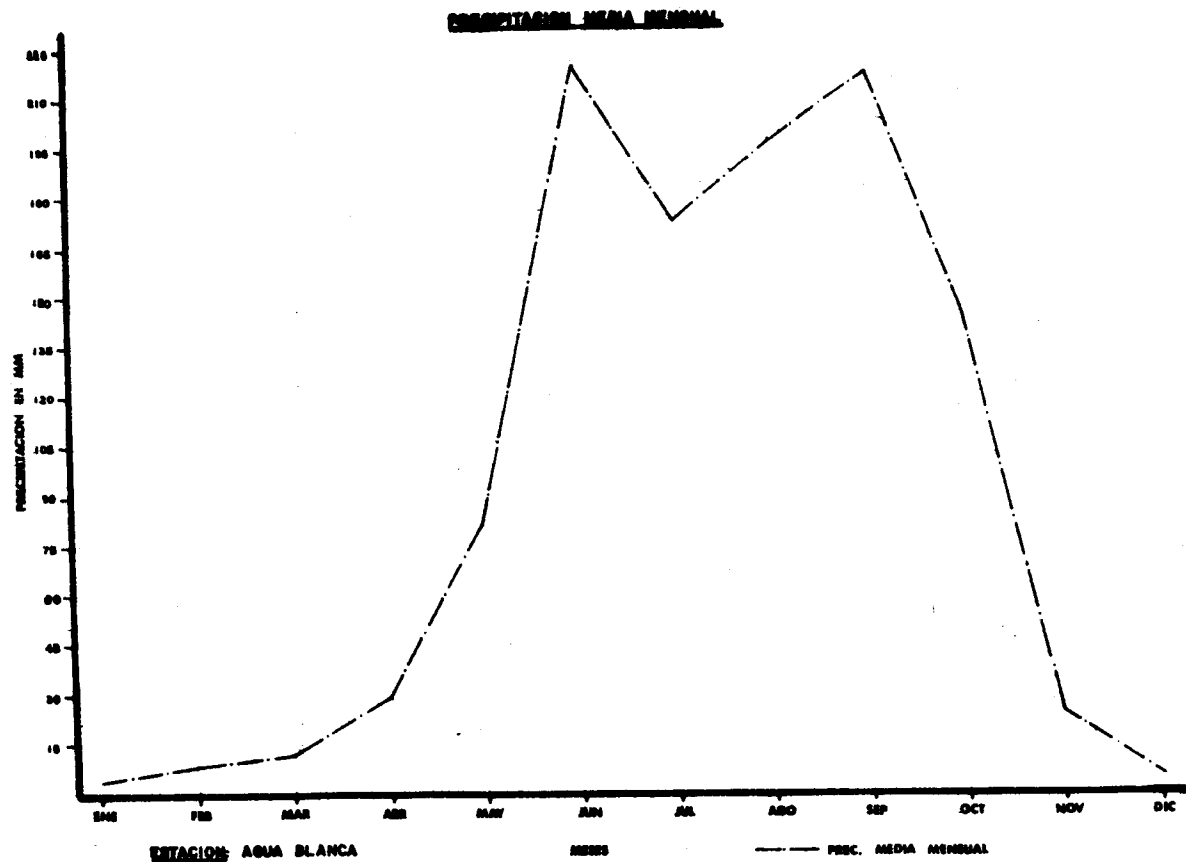
El Río San José forma otra de las subcuencas y lo tributan: el Río San Marcos, que más adelante cambia de nombre por el de Río Cushapa, Río Colima, Río Pansaguis, Riachuelo Zarco y Río Tacó. También los tributan una serie de afluentes de cuarto orden y quebradas.

Parte de la subcuenca del Río Jocotán se encuentra en territorio Hondureño, por lo que no es posible establecer el balance hídrico pues no se cuenta con datos de caudal a la salida de la cuenca ni con datos de precipitación y evapotranspiración en la parte Hondureña.

El área drenada en la cuenca en territorio guatemalteco es de 2,519 Km² (un 74% del total aproximadamente).

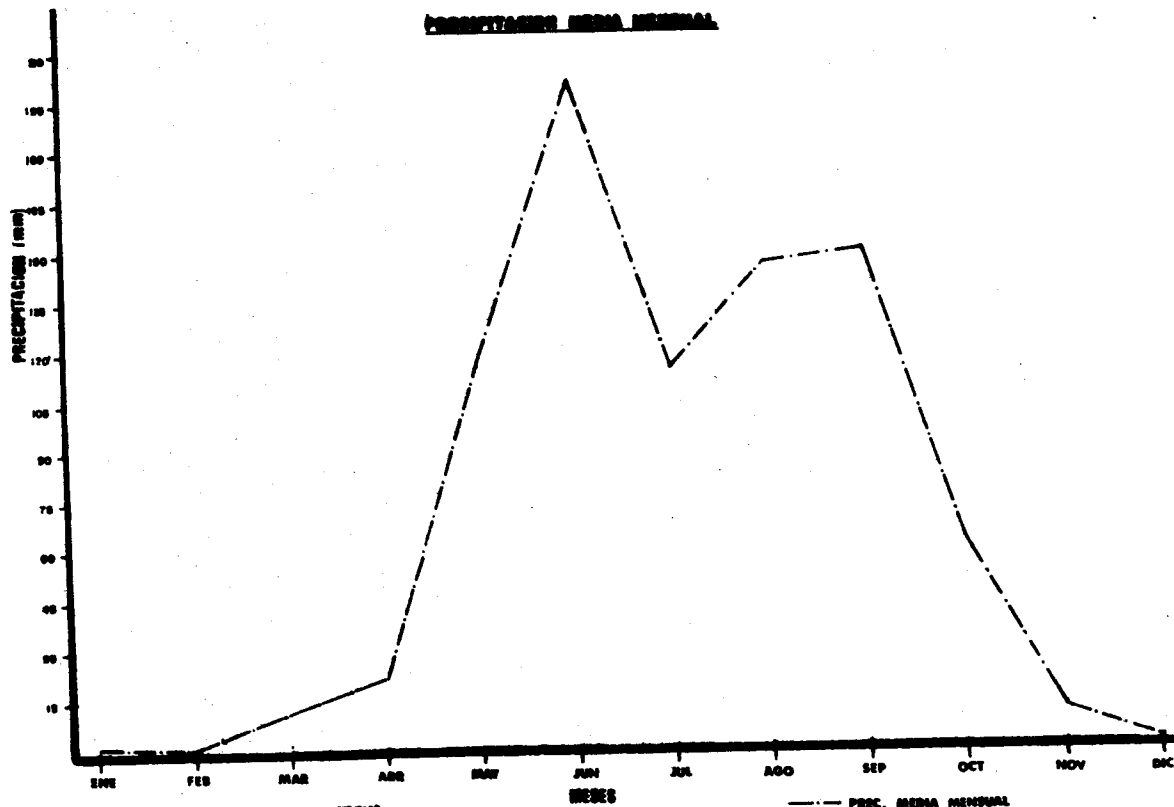
A. Agua pluvial:

La época lluviosa en la cuenca del Río Grande de Zacapa, como puede verse en las Figuras Nos. 19 a 24, se distribuye en el tiempo, aproxima-



PERIODO: 1970-79

Fig. No. 19 Variación de la precipitación media mensual en la estación Aqua Blanca.

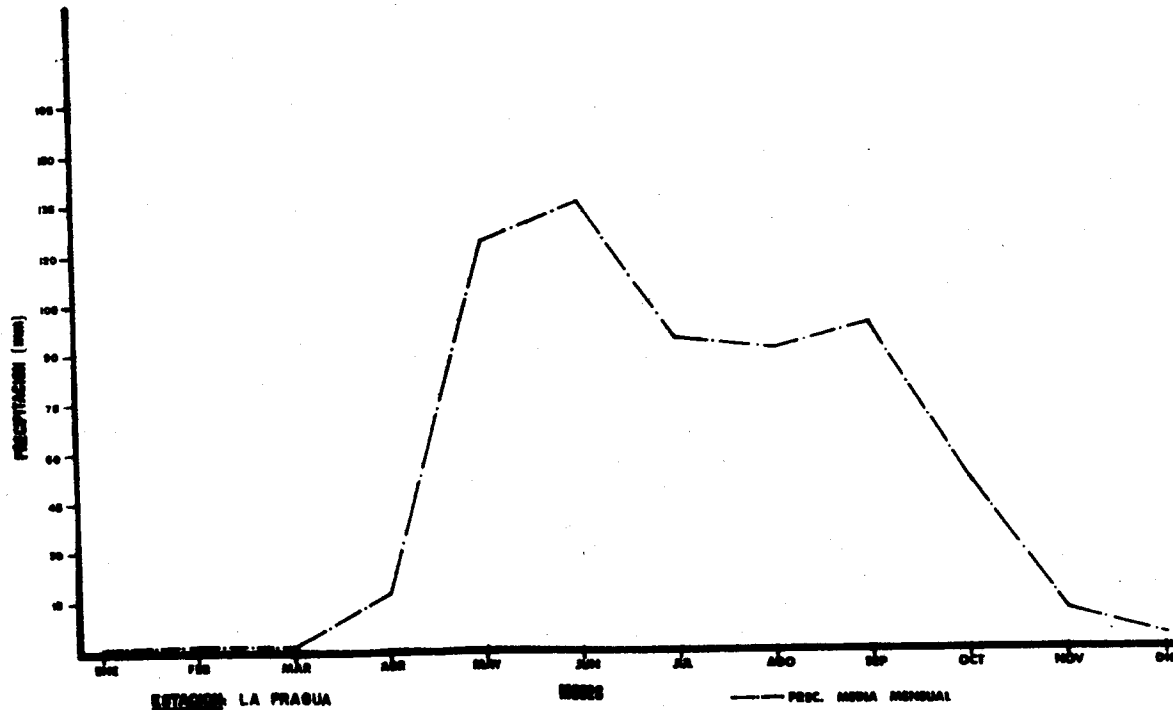


ESTACION: CHIQUIMULA FEQUA
 PERIODO: 1970-79

Fig. No. 20

Variación de la precipitación media mensual
 en la estación Chiquimula-Feque

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL



ESTACION: LA PRAGUA

PERIODO: 1972-79

Fig. No. 21

Variación de la precipitación media mensual en la estación La Pragua.

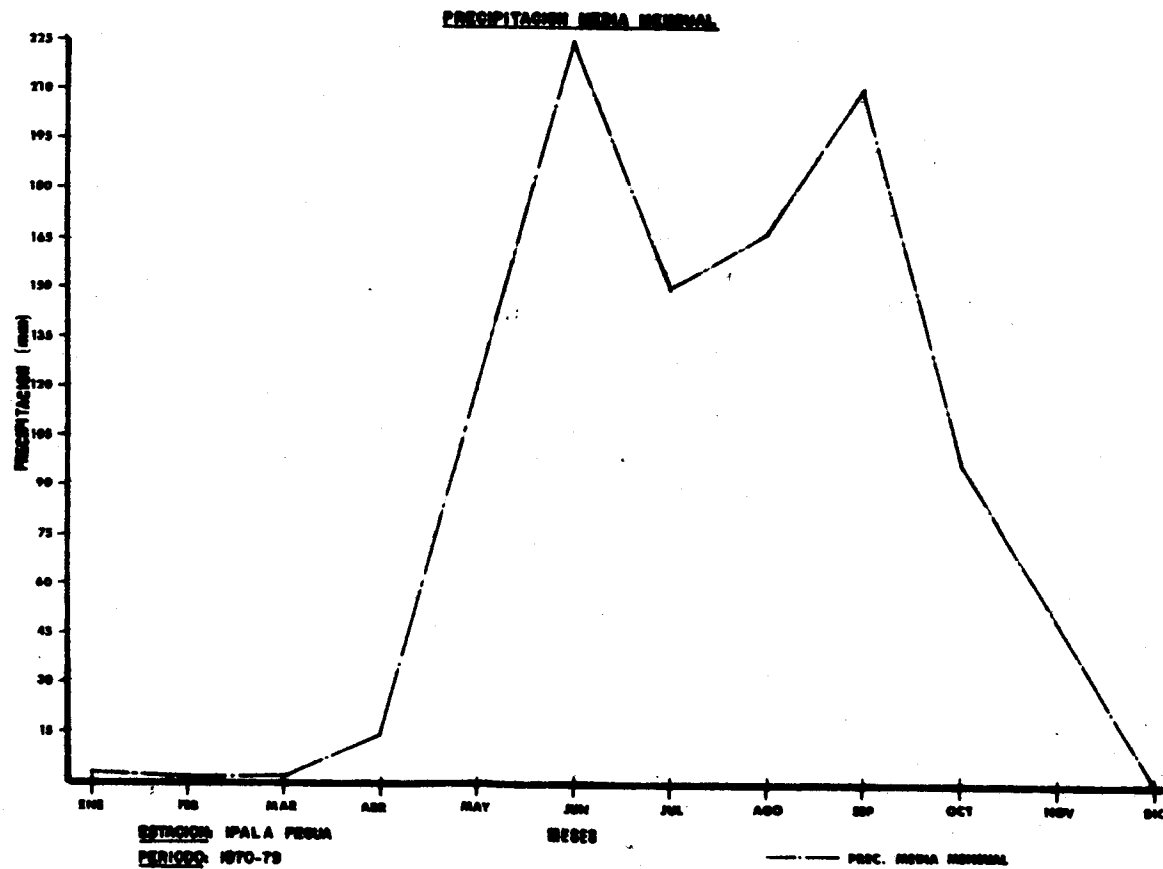
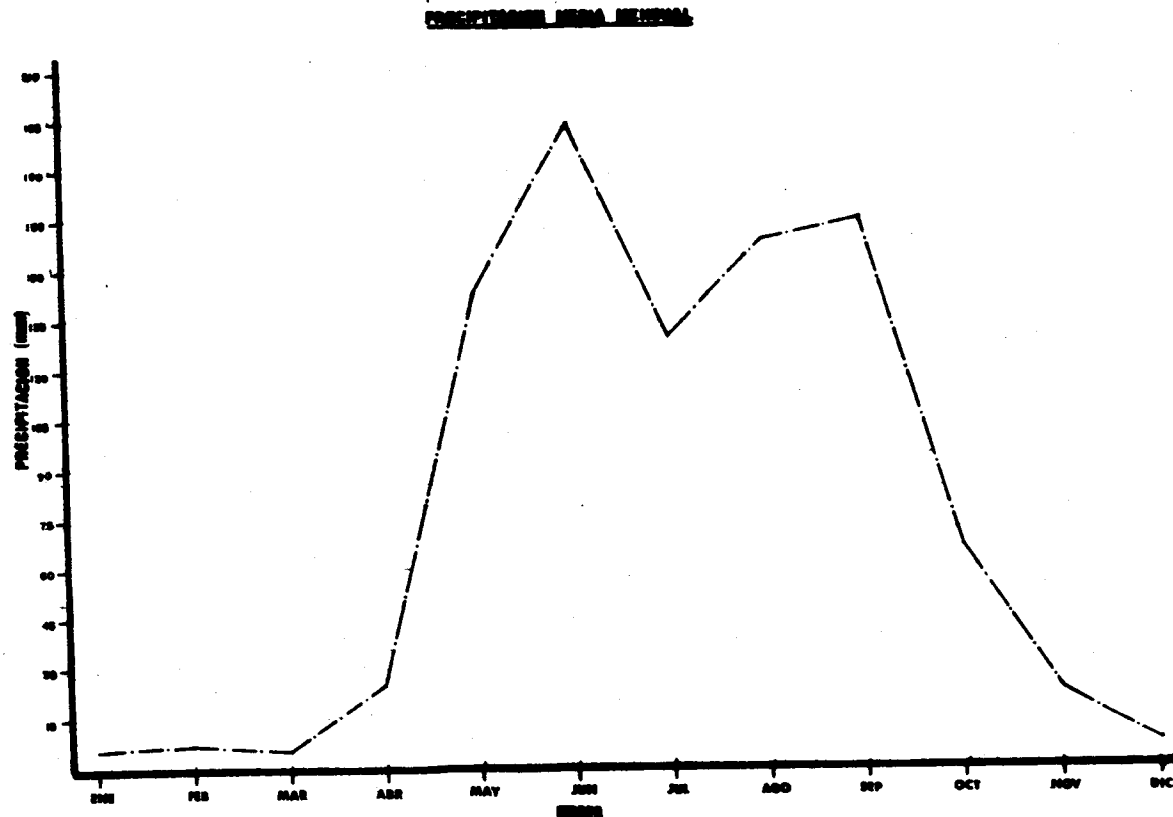


Figura No. 22. Variación de la precipitación media mensual en la estación Ipala-Fegua.



ESTACION CAMOTAN PNC
PERIODO: 1970-79

Fig. No. 23 Variación de la precipitación media mensual en la estación Camotán.

damente del mes de mayo a octubre de cada año, alcanzando sus valores máximos en los meses de mayo a junio y en septiembre, con una cantidad de 75 días promedio de lluvia y una desviación estándar de 25 días. Los valores reflejan una disminución de la lluvia en los meses de julio y agosto causados probablemente por la canícula que se marca en este período.

En cuanto a la distribución espacial de la lluvia, se notó que las zonas bajas de la cuenca (Zacapa y Chiquimula), presentan valores bajos de precipitación media anual (Figura No. 25) tendiendo a aumentar en dirección nor-este hasta llegar a valores cercanos a los 1500 mm en la zona montañosa próxima a la frontera con Honduras. Esta baja precipitación en la zona de Zacapa y Chiquimula, es causada por efecto de sombra hidrográfica debido al macizo montañoso de la Sierra de las Minas al Norte de la cuenca, lo que provoca que la precipitación sea relativamente escasa en la zona, efecto que se prolonga hasta la parte suroeste de la cuenca.

En el Cuadro No. 10, se presenta un resumen de los datos de precipitación para las estaciones que registran este parámetro tomando para ello los datos existentes de todo el registro. Dichas estaciones aparecen localizadas en la Figura No. 2.

En cuanto a los datos o resultados obtenidos del Mapa de Isoyetas, puede observarse que la

CUADRO No. 10.

Resumen de los datos de precipitación para las estaciones meteorológicas que se encuentran en la Cuenca del Río Grande de Zacapa.

ESTACION	Año de Registro	Lluvia Media Anual	Días de Lluvia Anual	Lluvia Max.		Lluvia Min.	
				mm	mes año	mm	mes año
4.1.1a Chiquimula - Fegua	46	685.54	58	347.9	Jun 73	00	Nov 79
4.2.1 Camotán	11	976.6	118	486.5	Jun 73	00	Feb 78
4.5.2 Ipala	46	862.44	87	426.7	Sep 69	00	Ene 79
10.2.1 Agua Blanca	39	858.7	60	554	Jun 73	00	Ene 79
22.1.1 Zacapa - Fegua	45	549.2	53	370	Jun 35	00	Nov 79
La Fragua	8	625.8	73	226.8	Jun 74	00	Mar 79

precipitación media sobre la cuenca es de --
1,036.84 mm y el volumen total precipitado de
2,611,799,960 m³ por año, siendo el mayor apor
te de este volumen el proveniente de la zona
montañosa situada al este de la cuenca.

B. Evapotranspiración:

El Mapa de Isopletas (Figura No. 26) fue elabo
rado en base a datos climáticos de temperatura
y precipitación promedio anual para el periodo
1972-1979, proveniente de varias estaciones me
teorológicas existentes dentro y en los alrede
dores de la cuenca del Río Grande de Zacapa.
La fórmula utilizada fue la de Turc y con ella
se estimó la evapotranspiración potencial.

Puede verse que la evapotranspiración es baja
en la parte norte de la cuenca y tiende a aumen
tar hacia el sureste de la misma, en la zona -
cercana a Honduras. Es de hacer notar que esta
baja evapotranspiración es relativa como se -
muestra en el siguiente cuadro comparativo:

ESTACION	PRECIPITACION PROMEDIO	EVAPOTRANSPIRA- CION POTENCIAL.	% DE PER- DIDA
La Fragua.	625.8 mm	624.3 mm	99
Camotán.	891.8 mm	834.84 mm	86
Chiquimula.	771.0 mm	743.0 mm	96
Ipala	966.2 mm	857.8 mm	89

Las pérdidas de agua son un tanto exageradas debido a que la fórmula de Turc, sobreestima la evapotranspiración potencial, sin embargo, indica que la misma es intensa en la zona debido a las altas temperaturas que predominan en la cuenca, principalmente en la parte baja.

Efectivamente, analizando la Figura No. 27 podemos ver que la temperatura es alta en la parte norte de la cuenca y tiende a disminuir conforme aumenta la elevación sobre el nivel del mar hacia la zona montañosa de la misma (sur y sureste). Así mismo, en las Figuras Nos. 28 a 30 puede observarse que para las únicas estaciones que existen registros completos de temperatura (máxima, mínima y media anual) alcanza valores en la época seca de 40°C tanto en la zona baja como en la alta, lo que confirma la existencia de una alta evapotranspiración.

C. Escorrentía superficial:

Este análisis únicamente pudo hacerse para la zona aguas arriba de la Estación Hidrométrica Camotán y para el efecto se usaron los registros de caudal del período 1969-1978.

Puede notarse en el hidrógrafo de caudales medios mensuales (Figura No. 31) que el caudal tiende a aumentar a partir del mes de mayo hasta alcanzar un máximo de 64 m³/seg. en el mes de septiembre y luego a disminuir hasta alcan-

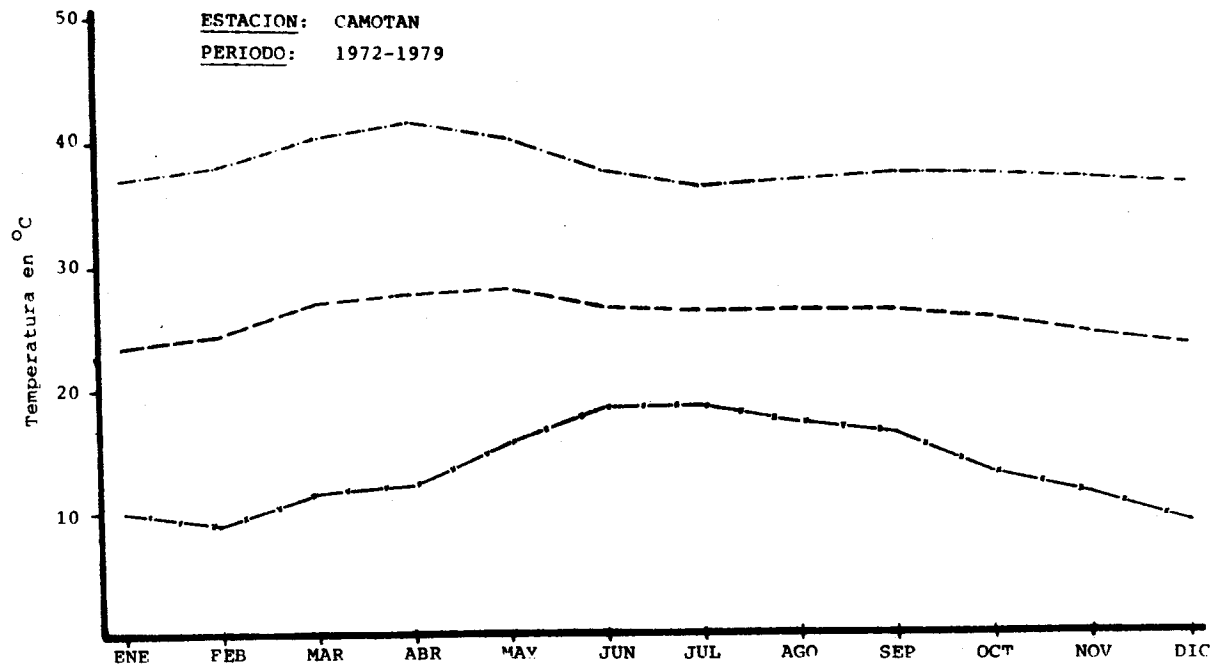


Fig. No. 28 Variación anual de la temperatura en la estación Camotán.

--- Temperatura máxima promedio
 --- Temperatura media
 --- Temperatura mínima promedio

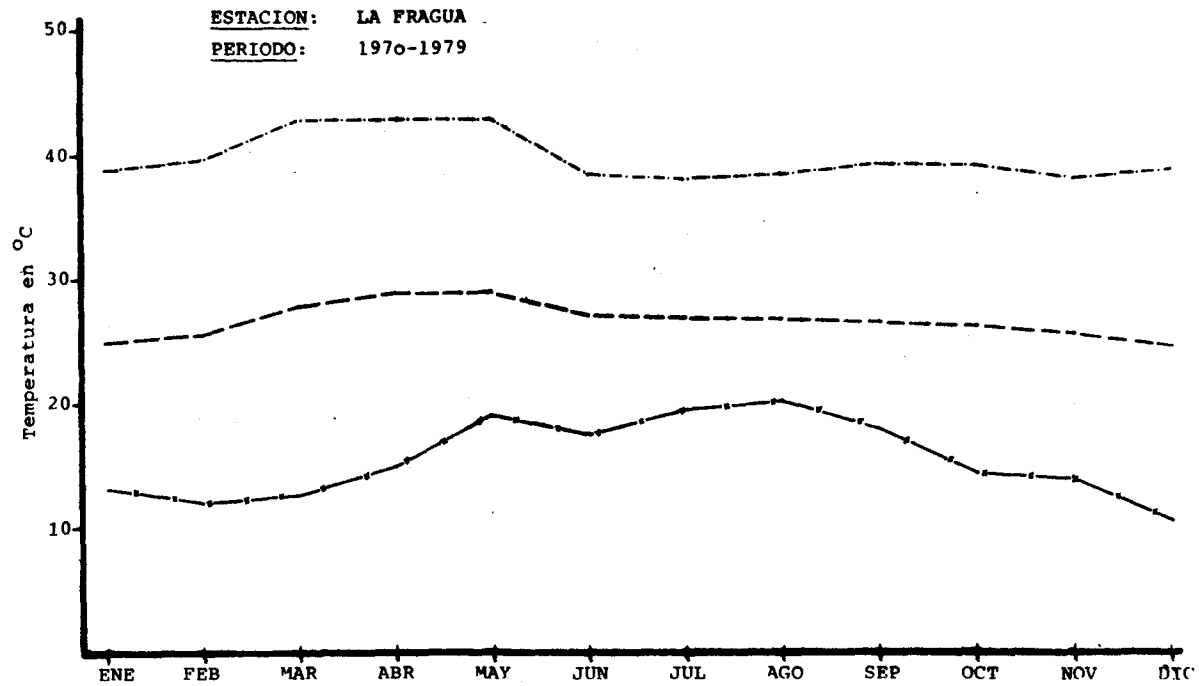
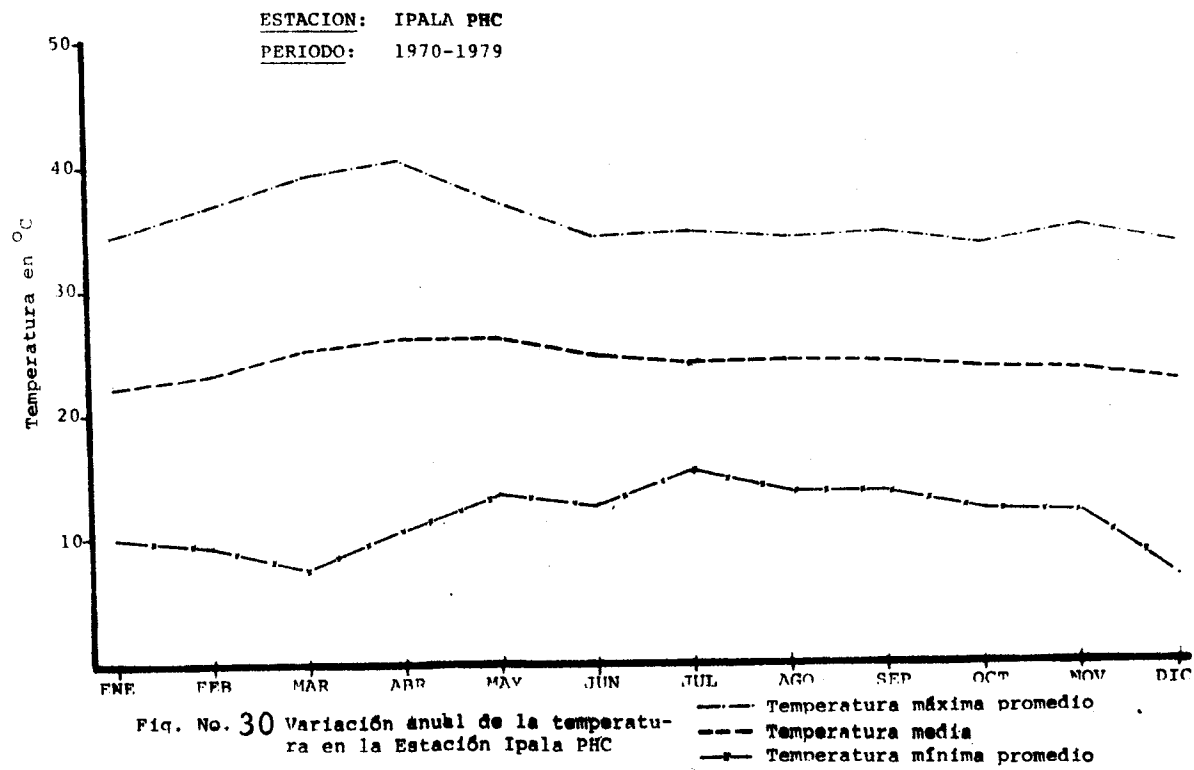


Fig. No. 29 Variación anual de la temperatura en la estación La Fragua.

----- Temperatura máxima promedio
 - - - - - Temperatura media
 - - - - - Temperatura mínima promedio



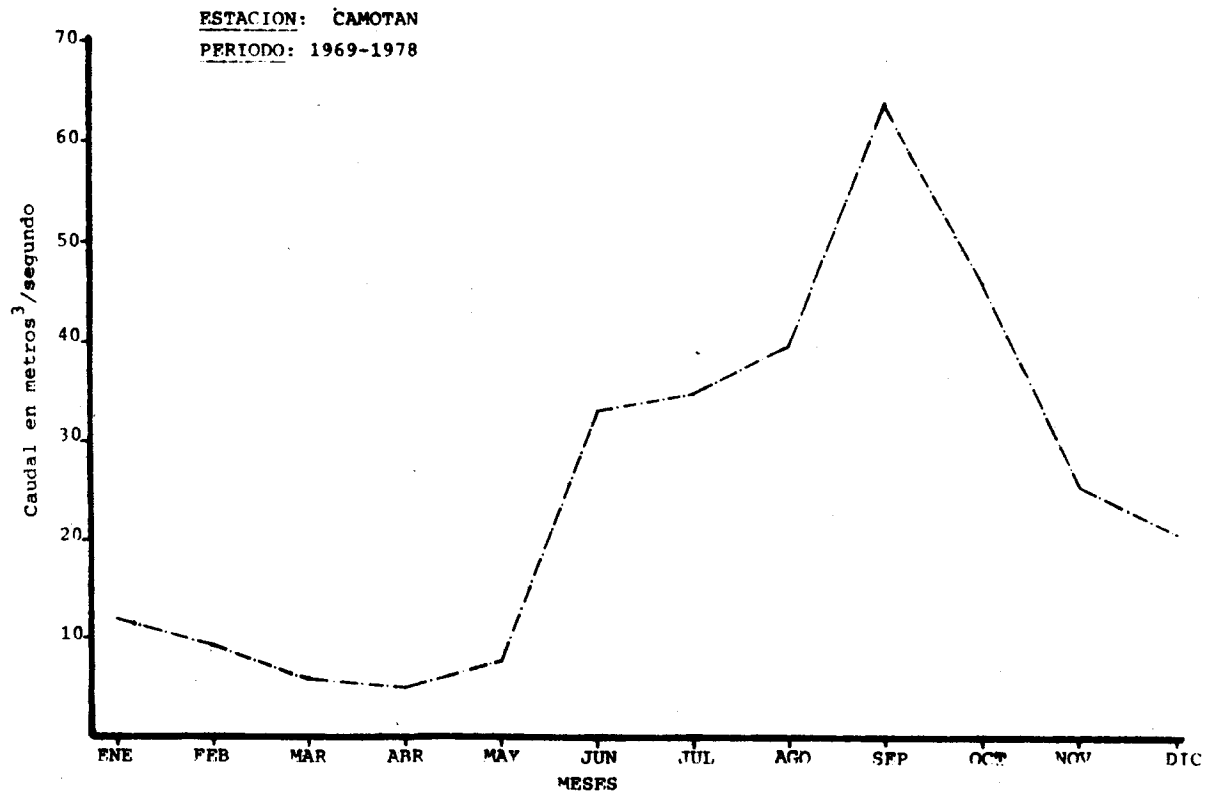


Fig. No. 31 Hidrógrafo de caudales medios mensuales hasta la estación hidrométrica Camotán.

— CAUDALES MEDIOS MENSUALES

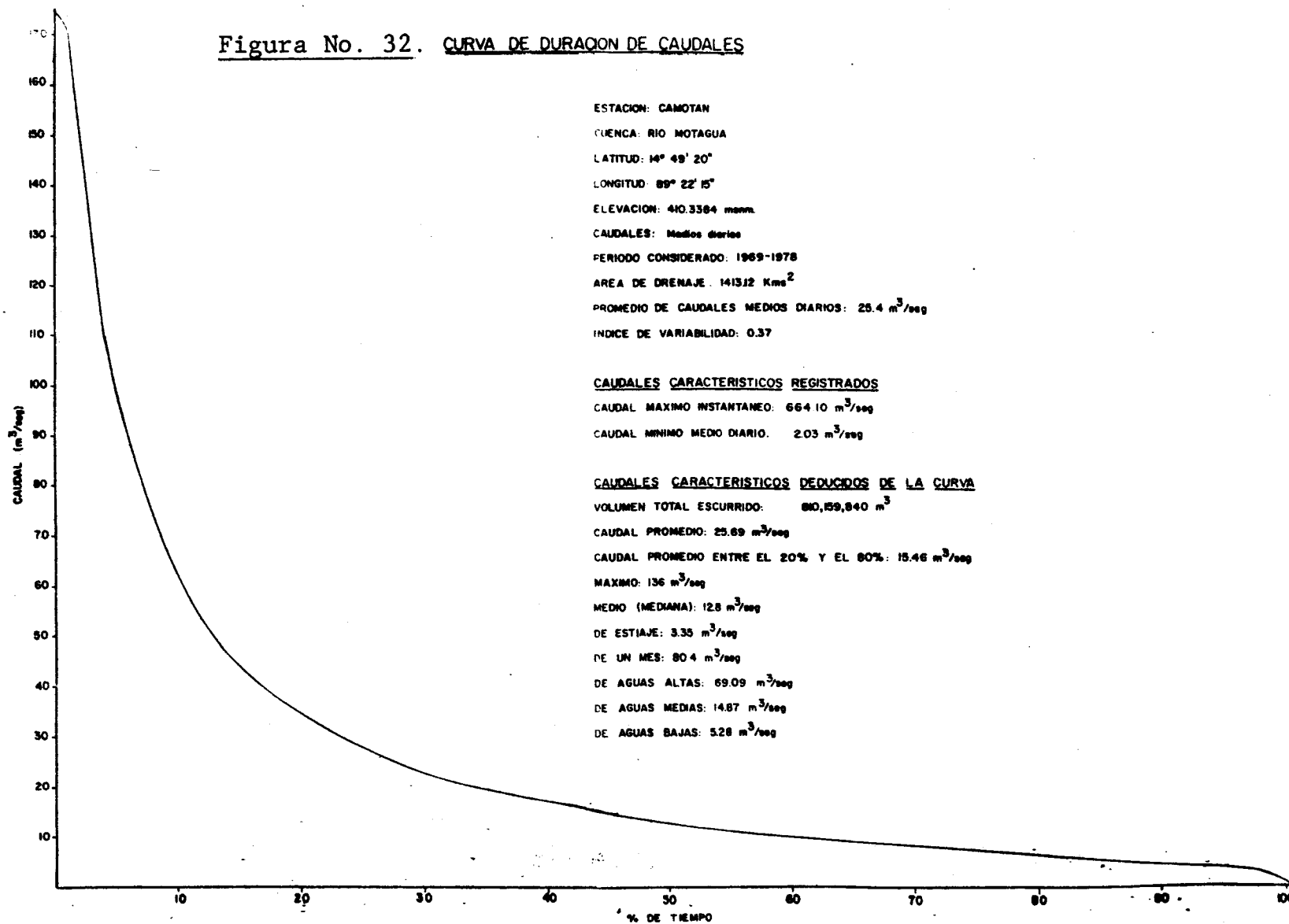
zar valores muy bajos ($5 \text{ m}^3/\text{seg.}$) en los meses de marzo y abril.

La curva de duración de caudales medios diarios (Figura No. 32) fue elaborada en base a los registros mencionados al principio de esta sección. En esta curva se anotan todos los parámetros que se han deducido de ella, pero es importante resaltar que el caudal promedio escurrido durante todo el año fue del orden de $25.69 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y el volumen total escurrido de $810.159,840 \text{ m}^3$ por año con un índice de variabilidad de 0.37.

La pendiente general de la curva es grande al principio, lo que indica una corriente de régimen variable, con poco almacenamiento en su cauce y cuyos caudales provienen en su mayor parte de escorrentía superficial. La pendiente en el extremo superior es pronunciada y ello indica poco almacenamiento en la zona de crecidas, siendo por consiguiente, en lo que se refiere a crecidas, tan variable como la lluvia misma, existiendo crecidas relámpago.

En el extremo inferior de una curva de duración de caudales se reflejan las características del río en cuanto a aportes de agua subterránea que recibe. La curva de duración de caudales de la Estación Camotán, presenta una pendiente casi plana, lo que indica un almacenamiento considerable de agua subterránea (Pellecer Meza, 1968).

Figura No. 32. CURVA DE DURACION DE CAUDALES



Con respecto al Índice de Variabilidad, se observa que es un valor alto que indica también una variabilidad grande en los caudales.

VI. CONCLUSIONES.

1. El agua pluvial de la Cuenca del Río Grande de Zacapa, mantuvo una calidad tal que la hace - apta, sin restricciones para uso en agricultura. En los aspectos cuantitativos, los valores mayores se observaron en el área sur-este de la cuenca y los menores en el área de Zacapa y Chiquimula (parte baja).
2. La evapotranspiración potencial es en general - alta; comparada con la cantidad de agua precipitada, alcanzando valores hasta de 700 mm en las zonas bajas de Zacapa (La Fragua) y de 1000 mm en la zona montañosa de Camotán.
3. La calidad química del agua subterránea para - riego en la parte de Zacapa y Chiquimula, así como en el área montañosa de Jocotán y Camotán es de clase C_2S_1 y C_3S_1 respectivamente, por lo que su uso con fines agrícolas debe darse con - limitaciones. Su calidad bacteriológica es excelente por lo que no existen restricciones para su consumo.
4. El agua superficial de la cuenca, es en general apta para riego; únicamente en época seca es necesario tomar medidas de control para evitar salinización de los suelos irrigados. Su calidad bacteriológica hace restrictivo su uso para consumo humano, a menos que se apliquen los tratamientos necesarios.

VII. RECOMENDACIONES.

1. Continuar con el estudio de calidad del agua superficial durante los meses que no se cubrieron en este trabajo, con el objeto de conocer su comportamiento a lo largo de un año.
2. Ejercer un control de la calidad de las aguas destinadas para riego provenientes de los ríos de esta cuenca, principalmente en los meses en los que el caudal disminuye, con el objeto de evitar salinización de los suelos irrigados.
3. Hacer un estudio sobre cantidad de agua subterránea de la cuenca, estableciendo una red de pozos de observación.
4. Efectuar un estudio de calidad del agua subterránea tomando como base que se destinará para consumo humano.
5. Establecer una red de estaciones meteorológicas e hidrológicas en la cuenca con el objeto de - cuantificar el recurso agua de una manera más exacta y al mismo tiempo efectuar convenios con el Gobierno de Honduras, para que proporcione a Guatemala la información meteorológica e hidrológica que dispone.

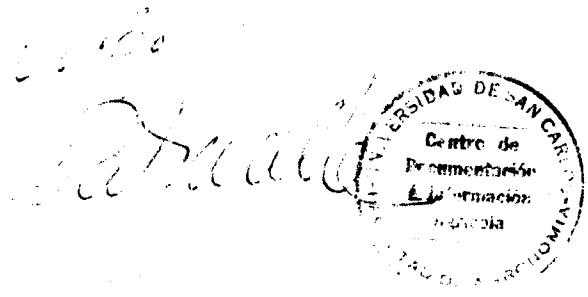
VIII. BIBLIOGRAFIA.

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. ALVARADO ARRIAGA, D.H. Análisis hidrológico de la cuenca del Río Madre Vieja hasta la estación Palmira. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979. 128 p.
4. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASOCIATION et al. Métodos estandar para el examen de agua y aguas de desecho. Traducción de Pedro J. Caballero. 2 ed. México, Interamericana, 1962. - 450 p.
5. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Agua, su calidad y tratamiento. Traducción de Jack M. Verrey. México, UTEHA, 1968. 564 p.
6. AMISIAL, R. Disponibilidad de agua 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. CRUZ LOPEZ, E.J. Estudio hidrológico del Río Motagua hasta la estación Concuá. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1975. 65 p.

9. ERALES COBAR, R.A. Derivación del hidrograma unitario para una cuenca de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1968. 46 p.
10. 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.
11. EU. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. LABORATORIO DE SALINIDAD. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editada por L.A. Richards. 6 ed. México, Limusa, 1977. - 172 p.
12. _____ DEPARTAMENTO DE SALUD. Manual de - tratamiento de aguas negras. Traducción de César Falco. México, Limusa-Wiley, 1964. 203 p.
13. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. - Atlas nacional de Guatemala. Guatemala, 1972. 52 p.
14. _____ . Estudio de reconocimiento de las cuencas del Río Grande de Zacapa y Olopa. Guatemala, 1971. 60 p.
15. _____ . INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Calidad del agua del Río María Linda y características físico-químicas del agua de mar. - Guatemala, 1976. 50 p.
16. HERRERA CHACON, P.A. Elaboración de las estadísticas hidrológicas en corrientes superficiales. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1968. 197 p.
17. LEE, R. Forest Hydrology. New York, Columbia University Press, 1980. 349 p.

18. LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULIS, J. Hidrología para ingenieros. Traducido por Alejandro Deeb, Jaime Iván Ordoñez y Flavio Castellón. 2 ed. Colombia, McGraw-Hill, 1977. 386 p.
19. McCARTY, P. Lecciones sobre calidad del agua y control de su contaminación. Traducción de Hilda de Grassi. Venezuela, CIDIAT, 1979. 90 p.
20. MENDOZA RODRIGUEZ, E. Estudio de reconocimiento de la cuenca del Río Shutagué. Tesis - Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1980. 88 p.
21. MINERA BARILLAS, A.A. Comparación de métodos para pronosticar evapotranspiración en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 88 p.
22. NEGRETE CASTANEDA, E. Relaciones precipitación-escurrecimiento. México, Universidad Autónoma Chapingo. Boletín Técnico no. 19. 1980. - 71 p.
23. 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.
24. PEÑA, I. DE LA. Calidad de las aguas de riego. Guatemala, DIGESA-DIRENARE. Memorandum Técnico no. 2. 1976. 32 p.
25. PINEDA JUAREZ, E.E. Caracterización preliminar de la cuenca del Río Grande de Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1983. - 93 p.

26. REMENIERAS, G. Tratado de hidrología aplicada. 2. ed. Barcelona, España, Editores Técnicos Asociados, 1974. 515 p.
27. RODRIGUEZ TORIZ, F. Elementos del escurrimiento superficial. México, Universidad Autónoma Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura, 1981. 225 p.
28. ROJAS, R. Hidrología de tierras agrícolas. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1979. 113 p.
29. SOLORZANO, A. Apuntes de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1971. 103 p.
30. 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.
31. 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.



IX. ANEXO.

TABLA PARA EL CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA Y VOLUMEN TOTAL PRECIPITADO EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA.

ISOYETA	AREA NETA	ISOYETA PROMEDIO	ISOYETA PROMEDIO X AREA NETA
700	100.50	663	66631.5
800	340.23	750	255172.5
900	544.16	850	462536.0
1000	428.49	950	407065.5
1100	269.26	1050	282723
1200	184.31	1150	211956.5
1300	125.69	1250	157112.5
1400	75.13	1350	101425.5
1500	279.39	1450	405115.5
1600	171.84	1525	262056

$$\text{Precipitación promedio} = \frac{\sum (\text{isoyeta promedio} \times \text{área neta})}{\text{área total}}$$

$$= \frac{2611794.5}{2519} = 1,036.84 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen precipitado} = \frac{1036.84 \text{ mm}}{1000} \times 3600 \times 24 \times 365 \times (1000)^2$$

$$= 2,611,799,960 \text{ m}^3$$

TABLA DE DATOS PARA EL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION MEDIA Y VOLUMEN TOTAL EVAPOTRANSPIRADO EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA.

ISOPLETA	AREA NETA	ISOPLETA PROMEDIO	AREA NETA ISOPLETA PROMEDIO
700	179.35	662	118729.70
800	610.90	750	458175.00
900	941.30	850	800105.00
1000	560.04	950	532038.00
			<u>2147828.20</u>

$$\begin{aligned} \text{Evapotranspiración} \\ \text{media} &= \frac{\sum (\text{área neta} \times \text{isopleta media})}{\text{área total}} = \frac{2147828.20}{2519.00} \end{aligned}$$

$$= 852.65 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen Evapotranspirado} = \frac{852.65 \text{ mm}}{1000} \times 3600 \times 24 \times 365 \times$$

$$(1000)^2 = 2,147,825,350.00 \text{ m}^3$$

TABLA PARA EL CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE ZACAPA.

ISOTERMA	AREA NETA	ISOTERMA X AREA NETA
26°C	281.14	7309.64
25°C	429.24	10731.00
24°C	567.62	13622.88
23°C	661.64	15217.72
22°C	232.70	5119.40
21°C	94.97	1994.37
20°C	251.69	5033.8

$$\begin{aligned} \text{Temperatura media} &= \frac{\sum (\text{isoterma} \times \text{área neta})}{\text{Area neta}} = \frac{59028.81}{2519} \\ &= 23.40^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

DATOS METEOROLOGICOS USADOS PARA LA ELABORACION DE MAPAS DE ISOTERMAS, ISOYETAS, E ISOPLETAS CORRESPONDIENTES AL PERIODO 1972-1979.

ESTACION	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (m)	EVAPOTRANS- PIRACION MEDIA ANUAL (mm)
22.7.1			
Pasabien.	26.9	743.5	727
22.3.2			
La Fragua.	26.8	625.8	624.3
22.6.2 P			
La Unión.	21.5	1437.2	1001.3
22.1.1			
Zacapa-Fegua.	----	654.35	-----
4.2.1			
Camotan	25.9	891.8	834.84
4.1. 1a			
Chiquimula.	26.1	771	743.5
4 5.4			
Ipala PHC	24°	966.2	857.8
4.4.2			
Esquipulas.	21.1	1452	989.59
9.3.3			
La Ceibita.	22.1	930	801.5
10.3.1			
Asunción Mita.	25.8	1160	1012.1
10.2.1			
Agua Planca.	----	1013.8	-----

TABLA DE DATOS PARA LA ELABORACION DE LA CURVA DE DURACION DE CAUDALES PARA LA ESTACION HIDROMETRICA CAMOTAN. (PERIODO 1969-1978).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA TOTAL	FRECUENCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ACUMULADA INVERSA (%)
1-3.9	176	4.86	100
4-6.9	687	18.80	95.14
7-9.9	568	15.54	76.34
10-12.9	392	10.73	60.30
13-15.9	283	7.95	50.07
16-20.9	336	9.20	42.32
21-25.9	236	6.46	33.12
26-30.9	156	4.27	26.66
31-35.9	116	3.18	22.39
36-40.9	110	3.01	19.21
41-45.9	77	2.11	16.20
46-50.9	51	1.40	14.09
51-65.9	121	3.31	12.69
66-80.9	90	2.46	9.38
81-95.9	61	1.07	6.92
96-110.9	46	1.26	5.25
111-170.9	109	2.98	3.99
171-350.9	37	1.01	1.01
	<hr/> 3652		

TABLA DE DATOS PARA EL CALCULO DEL INDICE DE VARIABILIDAD DE LA CURVA DE DURACION DE CAUDALES DE LA ESTACION HIDROMETRICA CAMOTAN.

%	CAUDAL (Q)	Log. de Q (d)	d- \bar{Q}	(d- \bar{Q}) ²
5	101	2.0043	0.8342	0.6959
10	62	1.7924	0.6223	0.3873
15	44.5	1.6484	0.4783	0.2288
20	34.75	1.5410	0.3709	0.1376
25	27.5	1.4393	0.2692	0.0725
30	23.0	1.3617	0.1916	0.0367
35	19.75	1.2956	0.1255	0.0158
40	17.25	1.2368	0.0667	0.0044
45	15.00	1.1761	0.0060	0.0000
50	12.8	1.1072	-0.0629	0.0040
55	11.25	1.0512	-0.1189	0.0141
60	10.0	1.0000	-0.1701	0.0289
65	9.25	0.9661	-0.2040	0.0416
70	8.25	0.9165	-0.2536	0.0643
75	7.25	0.8603	-0.3098	0.0960
80	4.50	0.8129	-0.3572	0.1276
85	5.60	0.7482	-0.4219	0.1780
90	5.00	0.6990	-0.4711	0.2219
95	3.75	0.5740	0.5961	0.3553

$$\bar{Q} = \frac{\log Q}{N} = \frac{22.2310}{20} = 1.1701$$

$$IV = \frac{(d-\bar{Q})^2}{N} = \frac{2.9395}{20} = 0.37$$